



CAMILLA BORELLI SILVA

**COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DE
TRANSPORTE DE UMIDADE, CAPILARIDADE,
PERMEABILIDADE AO VAPOR E PERMEABILIDADE
AO AR EM TECIDOS PLANOS DE POLIÉSTER**

CAMPINAS

2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

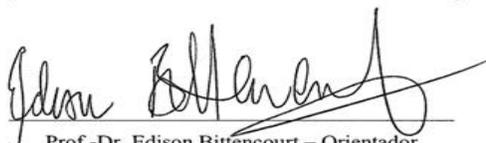
CAMILLA BORELLI SILVA

**COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DE
TRANSPORTE DE UMIDADE, CAPILARIDADE,
PERMEABILIDADE AO VAPOR E PERMEABILIDADE
AO AR EM TECIDOS PLANOS DE POLIÉSTER**

Orientador: Prof. Dr. Edison Bittencourt

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutora em Engenharia Química.

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



Prof.-Dr. Edison Bittencourt – Orientador

CAMPINAS

2013

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

B644c Borelli, Camilla, 1978-
Comparativo das propriedades de transporte de umidade, capilaridade, permeabilidade ao vapor e permeabilidade ao ar em tecidos planos de poliéster / Camilla Borelli Silva. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Edison Bittencourt.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Conforto humano. 2. Umidade. 3. Capilaridade. 4. Permeabilidade. 5. Tecidos. I. Bittencourt, Edison, 1941-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Comparative properties of moisture transport, capillarity, vapor permeability and air permeability in polyester woven fabrics

Palavras-chave em inglês:

Human comfort

Moisture

Capillarity

Permeability

Fabrics

Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Materiais

Titulação: Doutora em Engenharia Química

Banca examinadora:

Edison Bittencourt [Orientador]

Fernando Gasi

Jabra Haber

Zaida Jova Aguila

Maurício de Campos Araújo

Data de defesa: 26-07-2013

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Química

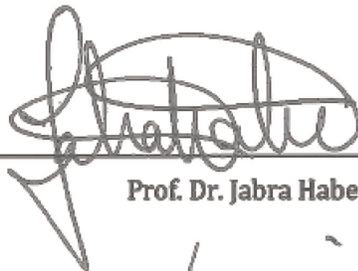
Tese de Doutorado defendida por Camilla Borelli e aprovada no dia 26 de julho de 2013 pela banca examinadora composta pelos doutores:



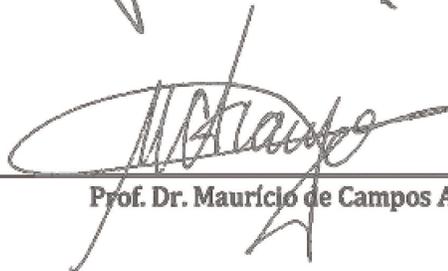
Prof. Dr. Edison Bittencourt – orientador



Prof. Dr. Fernando Gasi



Prof. Dr. Jabra Haber



Prof. Dr. Maurício de Campos Araújo



Profa. Dra. Zaida Jova Águila

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sua constante presença em minha vida.

Aos meus pais Claudia e Edgard pelo incentivo e amor incondicional.

Ao Prof. Dr. Edison Bittencourt pela orientação, competência e profissionalismo.

Aos professores e funcionários do Centro Universitário da FEI que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, principalmente a Prof^a. Toshiko Watanabe, Prof. Fernando Barros de Vasconcelos e o instrutor Sérgio Luiz Pereira.

Ao Prof. Fernando Gasi e Prof. Jabra Haber, pelas ricas contribuições.

À minha família, pelo amor, paciência e compreensão nas minhas ausências.

RESUMO

O crescente interesse pelo conforto no vestuário, utilizado em atividades profissionais, práticas esportivas e até mesmo roupas casuais, impulsionou uma demanda pelo conhecimento das propriedades e funcionalidades que se almeja em relação à interação com o usuário. O transporte de umidade é um dos principais parâmetros relacionados ao conforto têxtil. A capacidade de um tecido transportar a transpiração da pele ao ambiente influencia diretamente na percepção de conforto. A medida de transporte de umidade configura-se como uma ferramenta valiosa na avaliação do desempenho e desenvolvimento de novos produtos têxteis, principalmente pela escassez de estudos envolvendo os tecidos planos produzidos com fios de poliéster.

Com o objetivo de avaliar o conforto de artigos têxteis, através do transporte de umidade multidimensional, transporte de umidade por capilaridade, permeabilidade ao vapor e permeabilidade ao ar, foram comparados tecidos planos de poliéster produzidos com diferentes ligamentos e diferentes títulos de filamentos. Os resultados mostraram que a presença de filamentos mais finos (microfibras), aliada ao ligamento tela, favorece o transporte da umidade por capilaridade e a permeabilidade ao ar, enquanto que os parâmetros de transporte da umidade multidimensional e permeabilidade ao vapor não sofreram influência dos títulos dos filamentos e dos diferentes ligamentos, sendo unicamente influenciados pelas propriedades da matéria-prima.

Palavras-chave: Conforto de materiais têxteis, Transporte de umidade multidimensional, Transporte de umidade por capilaridade, Permeabilidade ao vapor, Permeabilidade ao ar, Tecidos planos de poliéster.

ABSTRACT

The growing interest in clothing's comfort, used in professional activities, sports and even casual clothes, created a demand for knowledge of the properties and features desirable regarding interaction with the user. The moisture transport is one of the main parameters related to comfort. The ability to transport perspiration to environment, of a fabric, influences directly the perception of comfort. The measurement of the moisture transport is a valuable tool in assessing the performance and development of new textile products, mainly because there are not many studies on polyester woven fabrics.

In order to evaluate the behavior of textile's comfort, by moisture multidimensional transport, moisture transport by capillarity (wicking), vapor permeability and air permeability, polyester woven fabrics produced with different weaves and filament's yarn count number were compared. The results showed that the presence of finer filaments (microfiber), coupled with twill weave, facilitates capillarity moisture transport and air permeability, while the multidimensional moisture transport and vapor permeability parameters are not influenced by different filament's yarn count number and weaves, only influenced by the properties of the raw material.

Keywords: Comfort of textiles materials, Moisture multidimensional transport, Moisture transport by capillarity (wicking), Vapor permeability, Air permeability, Polyester woven fabrics.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT	xi
SUMÁRIO	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE TABELAS.....	xvii
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	2
CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.2 INTRODUÇÃO	3
2.1 Fibra sintética.....	3
2.2 Poliéster	5
2.3 Título do Fio	7
2.4 Fios de multifilamentos de poliéster.....	8
2.5 Microfibra	9
2.6 Texturização.....	11
2.7 Tecido plano	12
2.8 Conforto	20
2.9 Moisture Management Tester	47
CAPÍTULO 3. MATERIAS E MÉTODOS.....	66
3.1 Introdução	66
3.2 Materiais	66
3.3 Métodos	74

CAPÍTULO 4. RESULTADOS e discussões	84
4.1 Transporte de umidade multidimensional.....	84
4.2 Transporte de umidade por capilaridade.....	100
4.3 Permeabilidade ao vapor.....	104
4.4 Permeabilidade ao ar.....	108
CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES.....	114
CAPÍTULO 6. SUGESTOES PARA TRABALHOS FUTUROS	117
CAPÍTULO 7. REFERÊNCIAS	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classificação das fibras químicas.....	4
Figura 2. Porcentagem de <i>regain</i> das principais fibras.....	7
Figura 3. Comparativo entre microfibra e filamento normal.....	9
Figura 4. Comparativo entre os diâmetros e títulos em dtex.....	10
Figura 5. Representação gráfica do tecido plano.....	12
Figura 6. Representação do ligamento tela.....	13
Figura 7. Representação do ligamento Sarja.....	14
Figura 8. Corte de trama dos ligamentos tela e sarja.....	15
Figura 9. Representação de uma célula de tecido.....	16
Figura 10. Sistema térmico: Homem-vestuário-ambiente.....	23
Figura 11. Sistema de transmissão da umidade - microclima.....	24
Figura 12. Relação entre a resistência térmica e espessura dos tecidos.....	27
Figura 13. Gota em contato com sólido.....	29
Figura 14. Representação do transporte de umidade.....	30
Figura 15. Capilar.....	34
Figura 16. Ensaio de capilaridade em fios.....	37
Figura 17. Macroporos em um tecido plano.....	39
Figura 18. Capilaridade entre fios.....	40
Figura 19. Capilaridade entre filamentos.....	42
Figura 20. Estrutura de um tecido plano.....	45
Figura 21. Corte transversal da estrutura de um tecido.....	45
Figura 22. Aparelho MMT.....	47
Figura 23. Esquema do MMT.....	48
Figura 24. Forma de funcionamento do MMT.....	49
Figura 25. Modelo simplificado do método de teste.....	50
Figura 26. Gráfico de absorção x tempo.....	55
Figura 27. Gráfico de distribuição do líquido.....	56
Figura 28. Tecido à prova d'água.....	57
Figura 29. Tecido repelente à água.....	58
Figura 30. Tecido com absorção lenta e difusão lenta.....	59
Figura 31. Tecido com absorção rápida e difusão lenta.....	60
Figura 32. Tecido com absorção rápida e difusão rápida.....	61
Figura 33. Tecido com penetração de líquido.....	62
Figura 34. . Tecido com gestão da umidade.....	63
Figura 35. Diagrama a partir da classificação dos resultados de teste no aparelho MMT.....	65
Figura 36. Microscopia tela – dpf = 0,58.....	71
Figura 37. Microscopia tela – dpf = 1,16.....	71
Figura 38. Microscopia tela – dpf = 1,74.....	72
Figura 39. Microscopia sarja – dpf = 0,58.....	72
Figura 40. Microscopia Sarja – dpf = 1,16.....	73
Figura 41. Microscopia sarja – dpf = 1,74.....	73
Figura 42. Execução do ensaio no MMT.....	76

Figura 43. Dispositivo para execução do ensaio de capilaridade.	78
Figura 44. Equipamento para teste de permeabilidade ao vapor	80
Figura 45. Equipamento para teste de permeabilidade ao ar	81
Figura 46. Análise dos resultados através das barras de intervalos	83
Figura 47. Tempo de molhamento para o ligamento tela	86
Figura 48. Tempo de molhamento para o ligamento sarja	87
Figura 49. Tempo de molhamento comparativo entre tela e sarja.....	88
Figura 50. Conteúdo de água por anel	91
Figura 51. Absorção de líquido em relação ao tempo	92
Figura 52. Capacidade de transporte em um único sentido - ligamento tela.....	95
Figura 53. Capacidade de transporte em um único sentido - ligamento sarja	96
Figura 54. Comparativo da capacidade de transporte em um único sentido	97
Figura 55. Capacidade de transporte em um único sentido - grau de comportamento.....	98
Figura 56. Tecido à prova d'água.	99
Figura 57. Tecido à prova d'água.	99
Figura 58. Capilaridade - ligamento tela	101
Figura 59. Capilaridade - ligamento sarja.....	102
Figura 60. Capilaridade - ligamentos tela e sarja.....	103
Figura 61. Permeabilidade ao vapor ligamento tela	105
Figura 62. Permeabilidade ao vapor ligamento sarja.....	106
Figura 63. Permeabilidade ao vapor - ligamentos tela e sarja	107
Figura 64. Permeabilidade ao ar para o ligamento tela	109
Figura 65. Permeabilidade ao ar para o ligamento sarja.....	111
Figura 66. Permeabilidade ao ar - ligamentos tela e sarja	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Referências para o calor gerado pelo corpo	26
Tabela 2.	Índices do MMT.....	52
Tabela 3.	Avaliação dos valores obtidos no MMT	64
Tabela 4.	Especificações do tear	69
Tabela 5.	Caracterização dos tecidos	70
Tabela 6.	Principais etapas do ensaio no MMT	75
Tabela 7.	Tempo de molhamento – Ligamento tela.....	85
Tabela 8.	Tempo de molhamento - ligamento sarja.....	87
Tabela 9.	Máximo raio molhado - Ligamento tela.....	90
Tabela 10.	Máximo raio molhado – Ligamento sarja	90
Tabela 11.	Máximo raio molhado – grau de comportamento da tela	93
Tabela 12.	Máximo raio molhado – grau de comportamento da sarja.....	93
Tabela 13.	Capacidade de transporte em um único sentido - tela.....	94
Tabela 14.	Capacidade de transporte em um único sentido - sarja	96
Tabela 15.	Capilaridade ligamento tela.....	100
Tabela 16.	Capilaridade ligamento sarja.....	102
Tabela 17.	Permeabilidade ao vapor para o ligamento tela	104
Tabela 18.	Permeabilidade ao vapor para o ligamento sarja.....	106
Tabela 19.	Permeabilidade ao ar – Ligamento Tela.....	109
Tabela 20.	Permeabilidade ao ar – Ligamento Sarja	110
Tabela 21.	Resumo da influência dos parâmetros:	115

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

O tecido plano, produzido por uma das principais tecnologias têxteis, constitui-se pelo entrelaçamento de dois conjuntos de fios perpendiculares entre si e caracteriza-se por apresentar uma superfície plana, relativamente flexível e resistente. Sua aplicação abrange a utilização em artigos esportivos, têxteis técnicos como artigos de proteção e têxteis convencionais para utilização em vestuário.

Para cada aplicação exigem-se funcionalidades diversas, porém há um consenso quando esta se relaciona ao conforto, mesmo sendo um parâmetro subjetivo e passível de avaliação individual. Este consenso é traduzido pela expectativa de que o conforto deve existir não somente quando se realiza uma atividade física, mas em qualquer atividade em que haja transpiração, que em sua primeira fase é gerada pelo corpo na forma de vapor, e em uma segunda fase condensando-se em forma de líquido.

Portanto, evidencia-se a necessidade de utilizar tecidos que ofereçam aos usuários um bom transporte de umidade, que em aplicações no vestuário é uma das propriedades mais relevantes na avaliação da sensação de conforto e em aplicações técnicas, relaciona-se as funcionalidades exigidas para a performance do artigo.

Juntamente com o transporte de umidade multidimensional, a capilaridade, as permeabilidades ao vapor e ao ar são as propriedades que influenciam na sensação de conforto as quais serão abordadas neste trabalho.

As características dos fios que compõem o tecido plano, como matéria-prima, tipo de fio, título e número de filamentos, densidade ou contextura, assim como as diferentes estruturas ou padronagens determinadas pelos ligamentos, influenciam diretamente as propriedades desejadas para o bom desempenho do artigo.

O objeto deste estudo é um tecido plano, composto por fios de poliéster com mesmo título (dtex) e diferentes quantidades de filamentos, entrelaçados nos ligamentos tela e sarja.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem como principal objetivo analisar a influência dos ligamentos e dos títulos dos filamentos nas propriedades relacionadas ao conforto e funcionalidade de tecidos planos de poliéster, destacando o transporte de umidade multidimensional, transporte de umidade por capilaridade, permeabilidade ao vapor e permeabilidade ao ar.

O método de avaliação do transporte de umidade multidimensional recebeu uma atenção especial em virtude da recente invenção do equipamento Moisture Management Tester (MMT), que dimensiona a distribuição da umidade (líquido) nas duas faces do tecido, além da capacidade de transporte de uma face para outra, com a amostra em estado plano e visa permitir a avaliação dos tecidos em peças de vestuário, tal como seriam expostos à umidade líquida presentes na superfície da pele humana.

CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO

Os artigos têxteis, na atualidade, desempenham funções além da simples finalidade de cobrir o corpo. Quando utilizados em vestuário para práticas esportivas, o conforto se destaca como um dos atributos mais valorizados, além de influenciar de maneira significativa o desempenho de seus usuários.

Comumente, os tecidos planos empregados no segmento esportivo, são apropriados para modalidades de aventura, em práticas ao ar livre e modalidades de inverno, portanto, a avaliação dos parâmetros pertinentes ao conforto termofisiológico engloba o estudo das propriedades de transporte de umidade multidimensional, capilaridade, permeabilidade ao vapor e ao ar que os tecidos planos apresentam.

Este capítulo aborda as características das fibras, fios e estruturas dos tecidos planos, assim como o conforto e suas funcionalidades relacionadas a estes componentes têxteis.

2.2 FIBRA SINTÉTICA

Fibra têxtil ou filamento têxtil é toda matéria natural, de origem vegetal, animal ou mineral, assim como toda matéria artificial ou sintética, que por sua alta relação entre seu comprimento e seu diâmetro, e ainda, por suas características de flexibilidade, suavidade, elasticidade, resistência, tenacidade e finura está apta às aplicações têxteis. (CONMETRO, 2008).

Pertencentes ao grupo das fibras químicas ou manufaturadas, as fibras sintéticas são obtidas através de polímeros sintetizados quimicamente, à base de petróleo e começaram a ser produzidas em escala industrial nos meados da década de 1940. O fluxo de classificação das fibras têxteis químicas está representado na Figura 1, destacando-se as fibras provenientes de polímeros sintéticos, ou simplesmente fibras sintéticas.

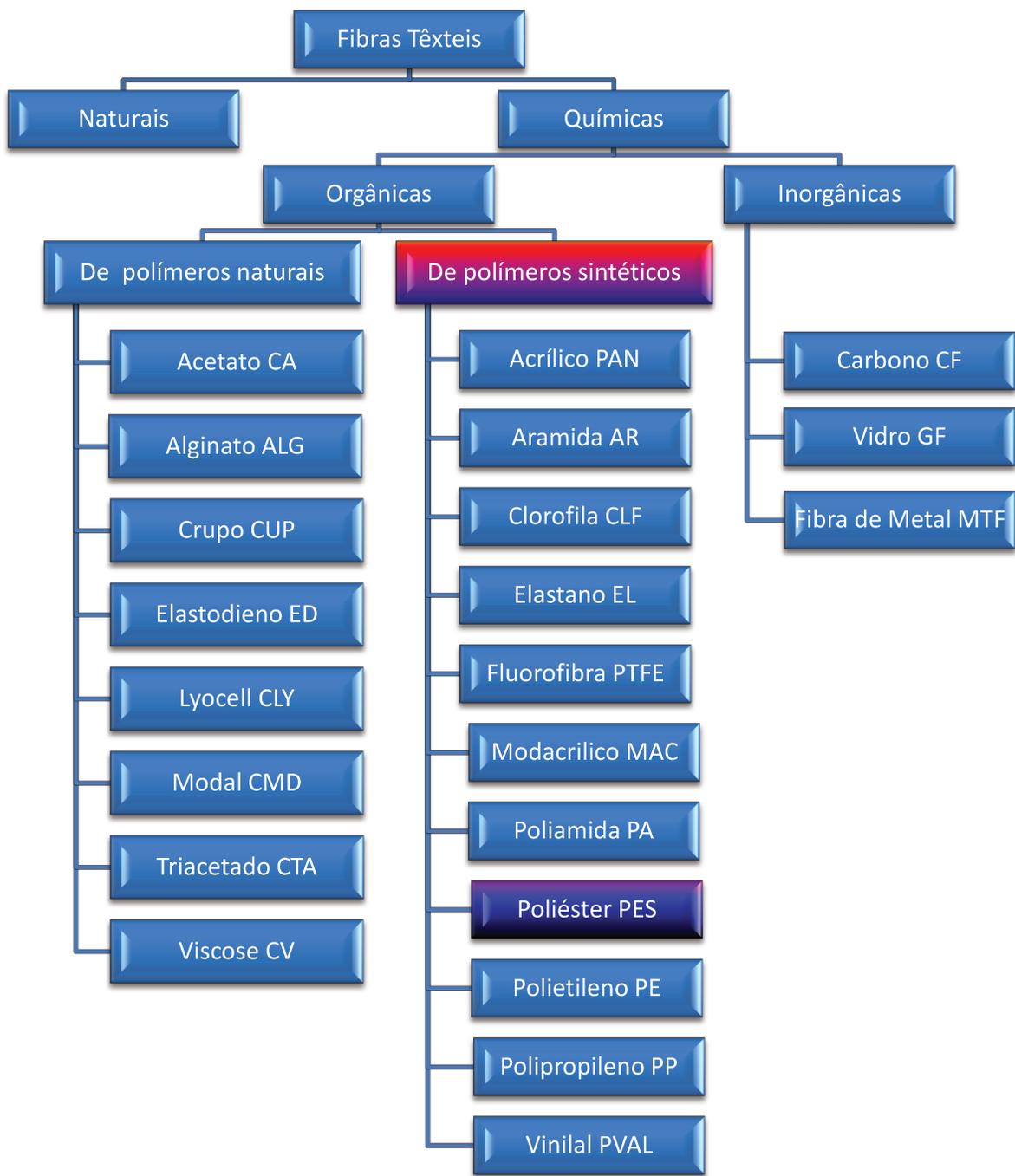


Figura 1. Classificação das fibras químicas
 Fonte: autor, adaptado de ANDREOLI; FRETI (2004).

Seu sucesso deve-se às suas características particulares, à versatilidade nos diversos setores de aplicação e aos baixos custos da matéria-prima e de produção (ANDREOLI; FRETI,

2004). Entre as principais características, destacam-se a reduzida absorção de umidade, secagem rápida, alta resistência à ruptura, estabilidade dimensional, durabilidade e facilidade de manutenção. Além disto, não dependem de uma cultura agrícola ou pecuária, como as fibras naturais.

Entre as fibras sintéticas, o poliéster se destaca como a fibra mais importante, com o maior consumo no setor têxtil, tanto no segmento de vestuário, quanto em aplicações técnicas.

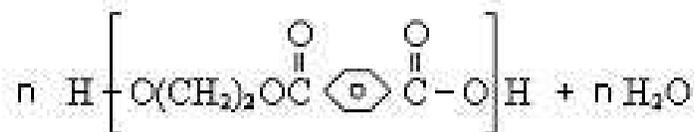
2.3 POLIÉSTER

A resolução do CONMETRO nº 02 de 2008, define poliéster como uma fibra sintética formada de macromoléculas lineares que apresentam em sua cadeia um éster de um diol ácido tereftálico, pelo menos, em 85% em massa (CONMETRO, 2008). A abreviatura ou sigla para esta fibra é PES.

O grupo funcional éster na cadeia principal define esta categoria de polímeros, porém o termo substantivo “poliéster” refere-se ao polietileno tereftalato (PET) cujas matérias-primas são: o ácido tereftálico e o seu derivado metilado (metil tereftalato) e o etileno glicol, todos com alto grau de pureza.

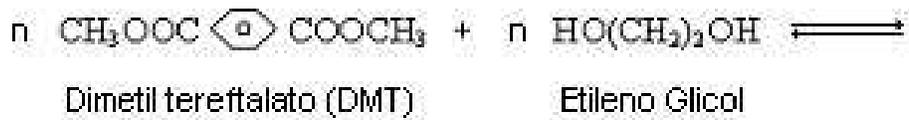
As duas principais maneiras de obtenção estão esquematizadas nas reações de esterificação e policondensação:

1ª condensação – esterificação:

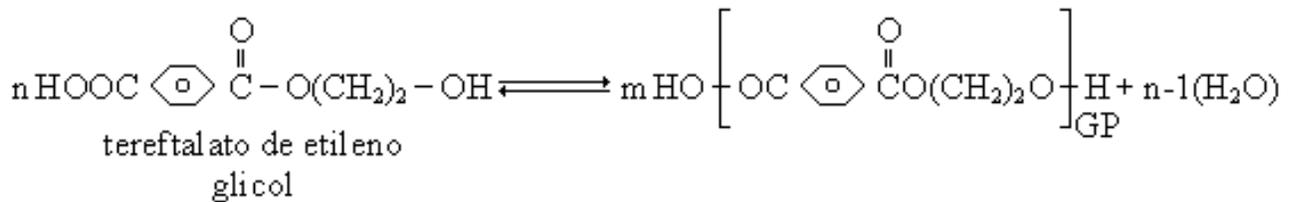


Tereftalato de etileno glicol

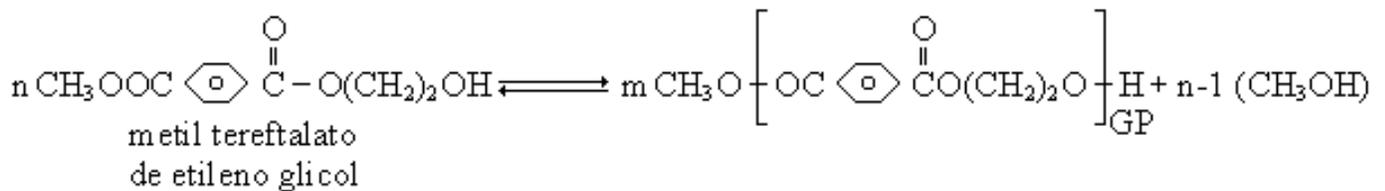
Ou



2ª policondensação:



Ou



As fibras de poliéster apresentam uma estrutura molecular micelar e um teor de cristalinidade em torno de 50 % e alto grau de orientação molecular nas zonas amorfas. Sua massa específica é de 1,38g/cm³ e ponto de fusão entre 250 - 260°C, além de boa estabilidade a luz. Sua estrutura deriva das características moleculares, ou seja, molécula curta, molécula semirrígidas e regular, dotada de grupos capazes de formar ligações intermoleculares (FOURNÉ, 1998).

Quimicamente, a fibra possui alta resistência aos microorganismos (mofos, traças, entre outros), boa resistência aos ácidos diluídos e aos concentrados a frio, resiste aos álcalis fracos, moderadamente aos álcalis fortes a temperatura ambiente e com aumento da temperatura se

hidrolisa. Apresenta resistência aos oxidantes e redutores. É solúvel no nitrobenzeno, fenol e metacresol a quente. É insolúvel na maioria dos álcalis, em benzeno, dioxano, dimetilformamida e nos solventes orgânicos empregados a lavagens a seco.

Entre suas propriedades, destaca-se sua baixa absorção de umidade, ou regain, igual a 0,4%. O regain expressa a porcentagem de umidade de determinado material têxtil, calculada em função do peso seco da amostra.

A Figura 2 mostra o regain, em porcentagem, das principais fibras têxteis.

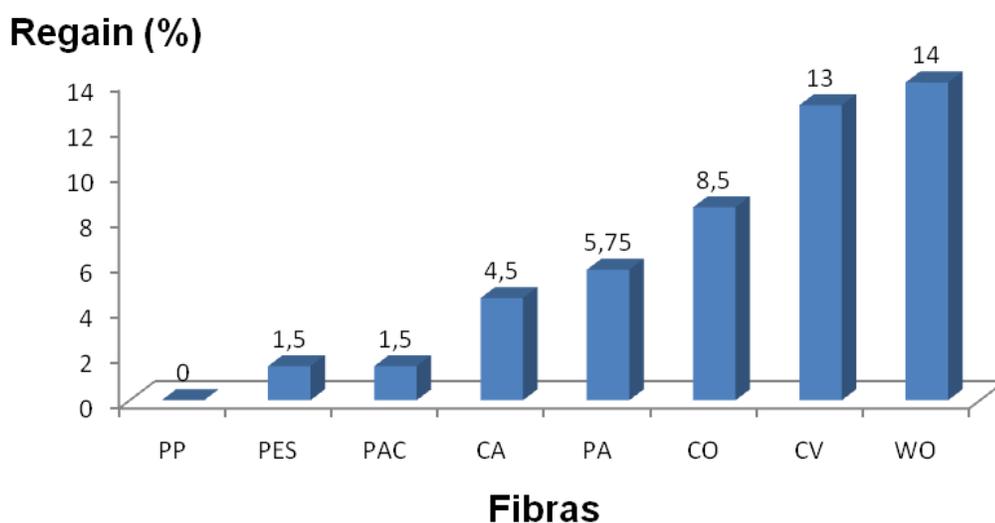


Figura 2. Porcentagem de *regain* das principais fibras
Fonte: adaptado de FOURT e HOLLIES (1970).

2.4 TÍTULO DO FIO

O título de um fio expressa a relação entre sua massa e seu comprimento, ou sua densidade linear.

O sistema de titulação divide-se em:

- Título direto: quando se mede a massa em função do comprimento.
- Título indireto: quando se mede o comprimento em função da massa.

Para título direto, a unidade no sistema internacional é o Tex, que se define pela massa em grama contida em 1000 m.

Entre os submúltiplos deste sistema de titulação, destaca-se o dtex, que se refere à massa em grama contida em 1000 m.

em 10.000 m.

Os títulos indiretos mais comuns são: Título inglês, identificado pela sigla Ne (1 Ne = 840 jardas/libra), e o sistema métrico Nm (Comprimento em metro por massa de fio, neste caso, em um grama de fio).

Detalhado na norma da ABNT NBR 8427:1984, o uso do sistema Tex para expressar títulos têxteis, incluindo sua principal variante, o dtex, é mais utilizado para titulação de fibras sintéticas.

Neste trabalho, estudou-se o fio 167 dtex, considerado um dos mais comuns e utilizados pelo mercado. Sua titulação indica que há 167 g em 10.000 m de fio. Complementando a identificação do fio, o número de filamentos é indicado após seu título total e a letra "f" que no caso de um fio 167f288 dtex, indica que existem 288 filamentos compondo um título de 167 dtex.

2.5 FIOS DE MULTIFILAMENTOS DE POLIÉSTER

O processo de obtenção de fios de multifilamentos sintéticos de poliéster consiste na extrusão da massa polimérica por fieiras, que determinarão sua secção transversal e resultarão em um feixe de multifilamentos contínuos e paralelos em relação ao eixo do fio.

As propriedades físicas são influenciadas pela orientação e organização das cadeias poliméricas, ou macromoléculas, em suas regiões cristalinas e amorfas, e a relação destas regiões entre si. Características estruturais como regularidade do polímero, forma e capacidade de interação do polímero, no que diz respeito ao contato próximo entre macromoléculas de forma a permitir a formação de ligações intermoleculares fortes, tamanho do monômero e a flexibilidade da cadeia molecular, são, de acordo com Demir e Behery (1997), primordiais para que os polímeros cristalizem e se transformem em fibras.

2.6 MICROFIBRA

Microfibras são fibras ou filamentos ultrafinos, a qual a sua densidade linear é de um dtex ou menos, massa em grama para 10.000 metros de fio (GUILLÉN, 1996).

O poliéster é a fibra mais usada na produção de microfibras. Para efeito de comparação, a lã mais fina possui 17 microns, o algodão mais fino possui 13 microns e a seda mais fina possui 12 microns (MINUTTI, 2009).

O número de filamentos que compõem um fio é proporcionalmente maior à medida que os títulos destes filamentos individuais são menores. Com multifilamentos de diâmetros reduzidos é possível fabricar fios mais finos, mais regulares e com um melhor comportamento na fiação. Quanto mais finos os filamentos, melhores são suas propriedades físicas, entre elas, as de transporte de umidade e capilaridade. A Figura 3 mostra esta proporção.

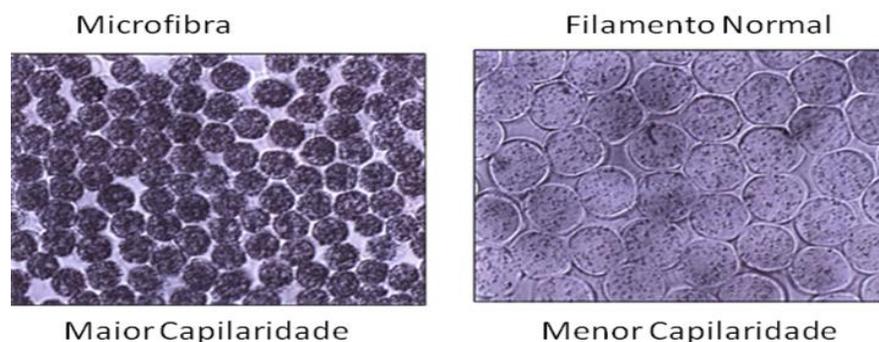


Figura 3. Comparativo entre microfibra e filamento normal
Fonte: GASI (2010).

Nas últimas décadas, houve uma melhoria da qualidade de polímeros, novas tecnologias de extrusão foram aprimoradas, novos processos de fiação, estiragem e texturização e assim, a fabricação de fibras de títulos inferior a um dtex foi viabilizada.

O comparativo entre os diâmetros e os títulos em dtex de várias fibras é demonstrado na Figura 4.

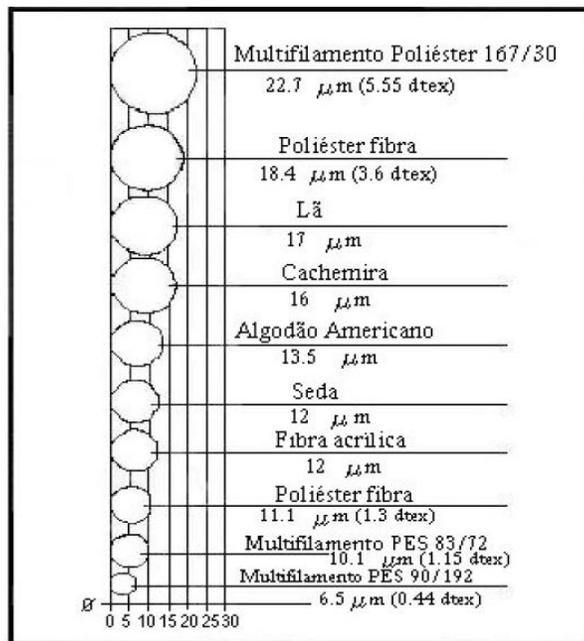


Figura 4. Comparativo entre os diâmetros e títulos em dtex.
Fonte: GUILLÉN (1996)

Em relação às propriedades laterais, os filamentos individuais de microfibras rompem com uma maior facilidade devido a sua pouca resistência ao atrito comparado aos filamentos normais, podendo causar maior quantidade de *pilling*. O aumento da flexibilidade da fibra causa um maior amarrotamento, mas o menor diâmetro do filamento favorece, em muito, um melhor toque e caimento.

Sob o ponto de vista da aplicação de tecidos, os artigos com maior filamentagem apresentam maior porosidade, permitindo um transporte maior e mais rápido de umidade, um maior isolamento térmico, uma maior permeabilidade à água e ao ar.

Dentro das principais aplicações, destacam-se os uniformes esportivos, pois favorecem o transporte da umidade da transpiração.

2.7 TEXTURIZAÇÃO

Texturização é um processo de transformação de fios contínuos, sintéticos ou artificiais, que consiste em aumentar seu volume e/ou elasticidade, utilizando-se geralmente da termoplasticidade desses fios.

De acordo com a definição homologada pela Associação Francesa de Normalização (AFNOR, 2006): “Fio texturizado é um fio de filamentos contínuos, com ou sem elasticidade, com ou sem torção, apresentando um aspecto volumoso que resulta em ondulações ou em frisagem dos filamentos”.

Segundo Denton (1987), os processos de texturização criam distorções permanentes nos fios de filamentos, em forma de frisos, hélices, alças e loops introduzidos nos filamentos lisos originais de fibras químicas sem eliminar a continuidade destes.

Os fios texturizados apresentam:

- Elasticidade (dentro de certos limites, de acordo com o desejado);
- Aumento do poder de transporte de umidade;
- Maior poder de isolamento térmico;
- Maior conforto ao uso;
- Melhor toque;
- Maior resistência ao amarrotamento (resiliência);
- Menor brilho, assemelhando-se às fibras naturais;
- Resistência ao desgaste;
- Diminuição da massa específica aumentando seu volume e poder de cobertura.

Fios de filamentos de poliéster texturizados possuem tenacidade entre 40 - 60 cN/tex, alongamento a ruptura de 20 - 30 % e módulo de elasticidade entre 2,5 – 4,0 cN/tex. Destaca-se como uma das principais características sua baixa absorção à umidade, entre 0,3 - 0,4 % e sua retenção de água após centrifugação por 5 minutos é de 3,0 – 5,0 % (AGUIAR NETO, 1996).

2.8 TECIDO PLANO

Os tecidos planos são produzidos pelo entrelaçamento de dois conjuntos de fios perpendiculares entre si e caracterizam-se por apresentarem uma superfície plana, relativamente flexível e resistente. Sua utilização em artigos têxteis confeccionados abrange desde o vestuário comum até vestuário de proteção e aplicações técnicas. A Figura 5 mostra a representação gráfica do tecido plano.

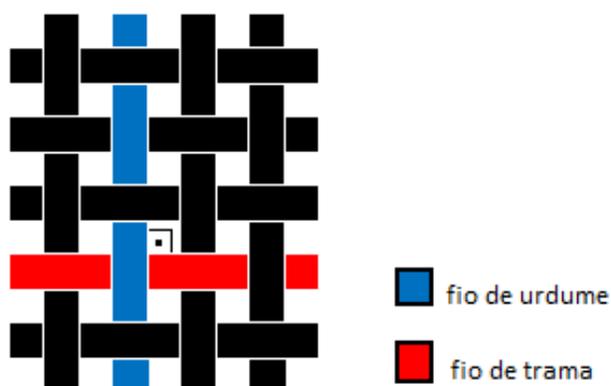


Figura 5. Representação gráfica do tecido plano
Fonte: autor

Este entrelaçamento de estruturas lineares pode ser mais ou menos complexo ou limitar-se a um simples cruzamento de fios perpendiculares entre si (BRUNO, 1992).

As diferentes configurações de um tecido plano são obtidas pelos ligamentos, que podem ser definidos pela sequência de evoluções que os fios de urdume efetuam em relação aos fios de trama, formando entrelaçamento entre os mesmos, tendo influência não apenas no aspecto visual, como também nas características físicas do tecido, como flexibilidade, toque, resistência ao esgarçamento e à abrasão, corte (cisalhamento), caimento entre outras. (JUNKER, 1988).

O *raport* é um dos parâmetros de caracterização do ligamento e define-se como o menor número de fios de urdume e de trama que representa o ligamento e que forma a unidade mínima

de repetição do mesmo, a qual é reproduzida por toda a dimensão do tecido. Este número é também denominado de “curso” de um ligamento.

A intersecção entre os fios de urdume e trama podem ocorrer de duas formas distintas. Quando o fio de urdume está disposto sobre o fio de trama, denomina-se “ponto tomado”, quando o fio de trama passa sobre o fio de urdume, denomina-se “ponto deixado”.

Outro parâmetro de caracterização do ligamento é o efeito, que se define em função do sistema de fios que fica em evidência no lado considerado como direito do tecido, um ligamento é definido como de efeito de urdume ou de trama. Se no lado direito há maior quantidade de pontos tomados, ou seja, maior evidência de fios de urdume, considera-se que o tecido apresenta efeito de urdume.

Os ligamentos tela e sarja são classificados como ligamentos fundamentais, por apresentarem estruturas simples, quadradas e terem um ponto de ligamento em cada urdume ou trama.

2.7.1. Ligamento Tela

A estrutura denominada tela, apresentada na Figura 6, caracteriza-se por apresentar aspecto homogêneo, sem traços característicos aparentes, formada pela alternância nas duas direções de pontos tomados e deixados na razão de 1\1.

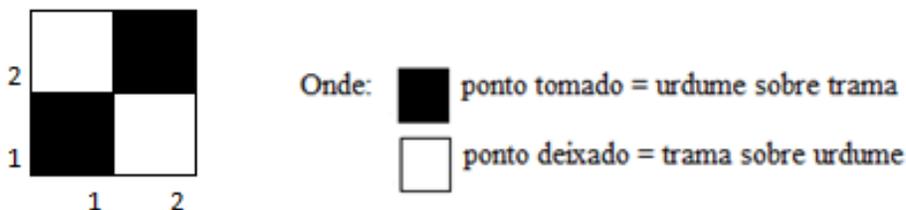


Figura 6. Representação do ligamento tela
Fonte: autor

A tela tem como principal característica apresentar o máximo número de pontos de ligações possíveis, responsável pela elevada estabilidade do tecido e o menor *raport*, constituído apenas de dois fios de urdume e de trama, que proporciona assim ao tecido uma boa resistência à

costura, a abrasão e ao *pillling*. A tela possui faces idênticas e é o ligamento mais simples e o mais utilizado na produção de tecidos de aspecto liso, sem revelar qualquer relevo ou direção marcante. Dentre todos os ligamentos, a tela possui um alto grau de exigência do urdume em relação à resistência. Com esse ligamento são produzidos, normalmente, tecidos mais leves do que com os demais ligamentos, no caso específico de aplicação em vestuário.

2.7.2. Ligamento Sarja

No ligamento sarja, a evolução dos fios de urdume se dá a cada duas ou mais inserções de trama, havendo, portanto uma redução do número de pontos de ligação em relação à tela. O resultado é um tecido com maior flexibilidade, apresentando como característica a formação de uma diagonal bem definida, formada pelos fios flutuantes do ligamento.

A sarja é identificada pelo número do *raport*, pela relação de fios tomados e deixados e pelo sentido da diagonal. O sentido da diagonal pode ser representado por uma seta ou por uma letra:

- Diagonal direita (Z) 
- Diagonal esquerda (S) 

A Figura 7 ilustra um ligamento sarja de curso 4 , ou sarja $\frac{3}{1}$ 

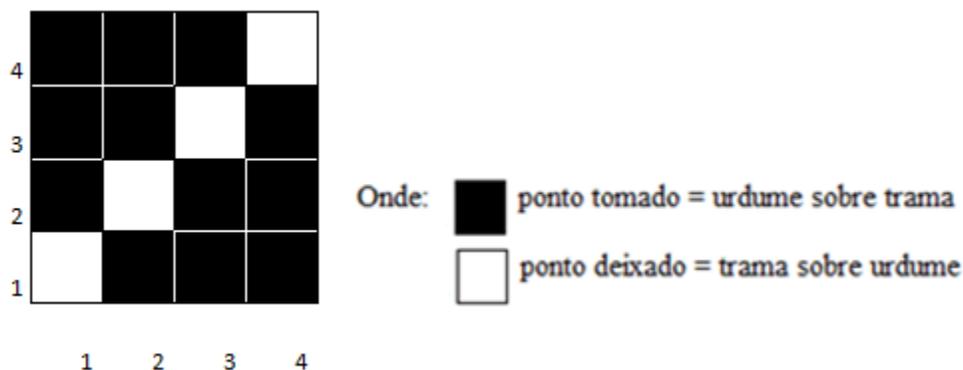


Figura 7. Representação do ligamento Sarja
 Fonte: autor

A sarja ilustrada na figura 7 indica que há três pontos tomados e um ponto deixado na evolução de cada fio de urdume.

Os fios flutuantes são fios que possuem grandes comprimentos entre dois pontos de ligamento. Estes comprimentos variam de acordo com a densidade de fios no tecido e são resultado da evolução dos fios em virtude da diminuição dos pontos de ligação em um ligamento. A Figura 8 mostra a vista em corte de trama dos ligamentos tela e sarja, representados nas Figuras 6 e 7.

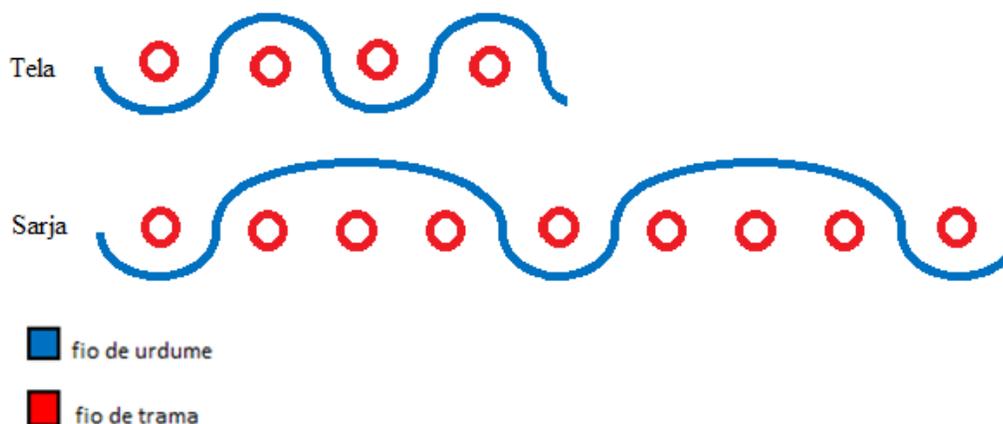


Figura 8. Corte de trama dos ligamentos tela e sarja
Fonte: autor

As diferentes estruturas e características dos ligamentos influenciam diretamente nas propriedades dos tecidos planos, enfatizando-se o transporte de umidade em virtude dos espaçamentos entre os fios, que são determinantes na capacidade de transportar a água.

2.7.3. Cobertura de tecidos planos

“A cobertura de um tecido é definida como a relação existente entre as áreas da superfície do tecido e a correspondente coberta pelos fios de urdume e trama” (MEDEIROS, 2006).

Portanto, a cobertura aliada às características dos fios e ao ligamento, é um fator de significativa influência nas propriedades dos tecidos, sendo um parâmetro utilizado na definição

da estrutura de um tecido, visando obter as características desejadas com um mínimo de experimentos e ensaios.

Pode ser classificada como cobertura relativa fracionária e fator de cobertura.

2.7.3.1. Cobertura Relativa Fracionária

Sabe-se que entre os fios de urdume ou os fios de trama deve, de maneira geral, haver um espaço para que o outro conjunto de fios possa entrelaçar-se (CANTERI, A. et al). A cobertura relativa fracionária representa a fração da área total do tecido coberta tanto pelo urdume quanto pela trama.

Como pode se observar na Figura 9, uma célula de tecido pode ser coberta tanto por fios de urdume, relacionada ao índice 1, quanto por fios de trama, relacionada ao índice 2. A parte hachurada indica o cruzamento dos fios e esses cruzamentos ocorrem, evidentemente, por toda a extensão do tecido.

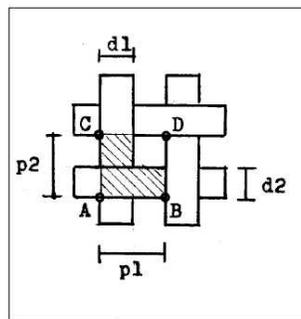


Figura 9. Representação de uma célula de tecido
Fonte: Medeiros (2006)

Conforme ilustrado:

p_1 e p_2 = Distância entre dois fios consecutivos de urdume e de trama respectivamente, em mm.

d_1 e d_2 = Diâmetros dos fios, em mm.

Para a determinação da cobertura fracionária do tecido deve-se subtrair da soma das coberturas da área ocupada pelo entrelaçamento.

A relação da área total do tecido e da área parcial do mesmo tecido é definida como a cobertura relativa total de um tecido (CR Tecido), cujo valor dessa equação é a fração da área do tecido que é coberta pelos fios e sendo normalmente representada pela seguinte equação:

$$CR \text{ Tecido} = \frac{d1}{p1} + \frac{d2}{p2} - \frac{d1 \cdot d2}{p1 \cdot p2} \quad (1)$$

Os componentes da cobertura relativa são divididos para urdume e para a trama, ou seja:

$$CR \text{ Urdume} = \frac{d1}{p1} \quad (2)$$

$$CR \text{ Trama} = \frac{d2}{p2} \quad (3)$$

As dimensões de p1 e p2 correspondem à distância entre dois fios consecutivos de urdume e trama respectivamente, sendo, portanto, o inverso da densidade ou contextura, ou seja:

$$P1 = \frac{1}{\text{fios/cm}} \quad (4)$$

$$P2 = \frac{1}{\text{bat/cm}} \quad (5)$$

Adotando-se a seguinte nomenclatura:

fios/cm = n1 e bat/cm. = n2, tem-se:

$$P1 = \frac{1}{n1} \quad (6)$$

$$P2 = \frac{1}{n2} \quad (7)$$

Como normalmente (n) é expresso em fios ou bat./ cm e (d) em mm, as relações (2) e (3) transformam-se em:

$$CR \text{ Urdume} = \frac{n1 \cdot d1}{10} \quad (8)$$

$$CR \text{ Trama} = \frac{n2 \cdot d2}{10} \quad (9)$$

Onde:

CR Urdume= cobertura relativa do urdume;

CR Trama= cobertura relativa da trama;

n1=fios/cm;

n2=bat./cm;

d1=diâmetro do fio de urdume em mm;

d2= diâmetro do fio de trama em mm.

2.7.3.2. Fator de Cobertura

A cobertura aliada às características dos fios e ao ligamento é um fator de significativa influência nas propriedades do tecido, sendo um parâmetro utilizado na definição da estrutura do mesmo, visando obter as características desejadas com um mínimo de experimentos e ensaios.

O fator de cobertura indica um baixo espaçamento entre os fios, obtendo baixa permeabilidade ao ar e conseqüentemente uma menor penetração da água.

“O fator de cobertura do tecido, ao contrário do que ocorre com os fatores de cobertura da trama e do urdume, não é utilizado com frequência” (CANTERI, 2000).

Alguns estudiosos consideram o fator de cobertura do tecido (Kt) como sendo a soma do fator de cobertura do urdume (K1) e do fator de cobertura da trama (K2).

Para urdume:

$$K1 = n1 \cdot \sqrt{Tt1} \cdot 10^{-1} \quad (10)$$

Onde:

k1=fator de cobertura de urdume;

n1= quantidade de batidas por cm;

Tt1= densidade linear do fio de trama, em tex.

Para trama:

$$K_2 = n_2 \cdot \sqrt{T_{t2}} \cdot 10^{-1} \quad (11)$$

Onde:

k_2 = fator de cobertura de trama;

n_2 = quantidade de batidas por cm;

T_{t2} = densidade linear do fio de trama, em tex.

Esse fator é o utilizado como índice de capacidade de carga de tecimento de teares, entretanto, apesar de poder ser utilizado como um índice comparativo, não considera a cobertura que ocorre duplamente nas áreas de cruzamento entre os fios de urdume como os de trama. Para apresentar um resultado mais preciso considera-se como mais apropriada à fórmula:

$$K_t = K_1 + K_2 \quad (12)$$

Onde:

k_t = fator de cobertura do tecido;

k_1 = fator de cobertura do urdume;

k_2 = fator de cobertura de trama.

2.9 CONFORTO

2.8.1. Introdução

Segundo Slater (1986) o conforto é um estado agradável de harmonia fisiológica, psicológica e física entre o ser humano e o ambiente, sendo uma necessidade universal e fundamental para o homem, pois neste contexto o vestuário assume um papel principal, portanto uma das funcionalidades mais valorizadas nos artigos têxteis relaciona-se a sensação de conforto que eles podem proporcionar, ou baseado na ausência de qualquer sensação de incômodo.

De acordo com Li (2001), a interação do corpo com a roupa, tanto térmica quanto mecânica, tem um papel importante na determinação do estado de conforto do usuário e o ambiente externo (físico, social e cultural) tem grande impacto no status do conforto.

Em relação ao uso de um vestuário, o conforto é definido pelos aspectos físico, fisiológico e psicológico (HIGGINS, 2003).

a) Aspecto Físico

O aspecto físico, também denominado de aspecto sensorial, está relacionado às sensações provocadas pelo contato do tecido com a pele e do ajuste da confecção ao corpo e os seus movimentos.

Os tecidos são estruturas complexas, anisotrópicas, altamente deformáveis e que respondem de forma não linear às solicitações mecânicas a que são submetidas. As principais características (físico-mecânicas) mensuráveis de um tecido e relacionadas aos aspectos físicos do conforto são a massa, espessura, elasticidade, flexibilidade e as características de superfície (SLATER, 1985).

Segundo Broega (2010), o conceito de “toque” vinculado às características de superfície, englobam as propriedades da matéria-prima, estrutura do tecido e acabamentos finais, mesmo sabendo-se que a avaliação manual de um tecido é subjetiva e individual.

Cada matéria-prima apresenta propriedades superficiais que resultam em uma superfície do tecido mais lisa ou áspera, dependendo da pilosidade da fibra e tipo de fio. Os ligamentos são responsáveis pelas diferentes estruturas de entrelaçamento dos fios e influenciam a flexibilidade e caimento dos tecidos planos.

Para confeccionar o vestuário, os cortes, as costuras e a forma de modelagem tem peso significativo no conforto físico-sensorial.

b) Aspecto Psicológico

O aspecto psicológico baseia-se em fatores relacionados à estética, aparência, moda, situação, meio social e cultural.

Slater (1986) afirma que os vestuários que estão na “última moda” oferecem ao usuário um conforto psicológico, pois os inserem no contexto de sociedade à que pertencem. Entre as propriedades têxteis relevantes para o conforto psicológico são considerados os elementos estéticos básicos para o vestuário, podendo incluir cor, caimento, textura e design dos tecidos. Esses elementos se interligam e se combinam ao estilo pessoal de cada usuário e as formas de avaliar aspecto de conforto estão relacionadas à proposta de uso do produto.

c) Aspecto Fisiológico

O aspecto fisiológico está ligado à interferência do vestuário, considerada uma barreira térmica entre o corpo humano e o ambiente exterior, nos mecanismos do metabolismo do corpo, em especial o termorregulador.

As razões pelas quais os indivíduos manifestam a percepção de conforto ou desconforto térmico dependem de suas sensações de calor, frio e satisfação térmica, porém também se configura como avaliação individual, complexa e subjetiva.

O conforto fisiológico deve existir não somente quando estamos realizando alguma atividade física intensa, mas em qualquer atividade em que haja geração de suor, o que torna evidente a necessidade de utilizar tecidos que ofereçam aos usuários uma boa gestão de umidade,

ou seja, tecidos que protejam do frio ou calor e simultaneamente permitam o transporte da umidade ao ambiente.

Os fatores relevantes no conforto fisiológico, segundo Broega (2010), são: transferência de calor (condução, convecção, radiação e condensação), isolamento térmico a seco, o transporte de umidade e de vapor de água através do vestuário e penetração do ar (através do tecido, abertura e vento).

As propriedades térmicas dos artigos têxteis, como resistência térmica, condutividade térmica e absorção térmica, são influenciadas pelas propriedades dos tecidos, como sua estrutura, composição, densidade, umidade, assim como as propriedades das fibras, os tratamentos de superfície, temperatura e outros fatores (BAJZIK, 2012).

2.8.2. Transferência de Calor

O calor gerado pelo corpo humano pode ser transferido ao ambiente por três processos: condução, convecção ou radiação (HES, 1986).

Quando há contato direto entre corpos sólidos, a transferência de calor se dá por condução. O processo de condução é influenciado pela condutividade térmica das fibras/filamentos, do ar e pela espessura do tecido.

No caso da convecção, a transferência de calor ocorre por um ambiente móvel, podendo ser pelo ar ou água, enquanto que o processo de radiação se caracteriza pela transferência de calor por absorção e emissão de raios infravermelhos.

Quando os mecanismos de transferência de temperatura acima citados não forem capazes de manter a temperatura da pele nos níveis normais, a transpiração é o mecanismo mais eficaz do corpo para eliminação do calor e pode ser:

- Transpiração insensível - decorre devido à natureza úmida do nosso corpo. Representa 0,25 W/ 1kg da massa corporal do resfriamento constante;

- Transpiração por respiração - o seu nível geralmente apresenta 0,12 W de arrefecimento por 1 kg da massa corporal;
- Transpiração por ação das glândulas de transpiração - Divide-se em dois tipos: reguladas pelo sistema nervoso ligado ao cérebro (glândulas nos pés e palmas) e acionadas pelo nível elevado de adrenalina no sangue.

Estes processos estão ilustrados na Figura 10.

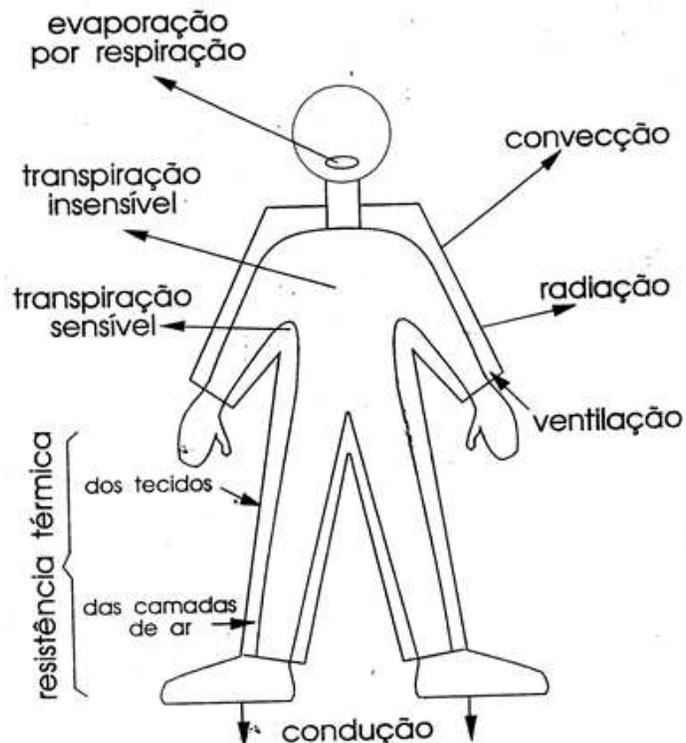


Figura 10. Sistema térmico: Homem-vestuário-ambiente
Fonte: HES (1996)

Segundo Hong. et al (1988), a camada de ar entre a pele e o tecido, também denominada de “microclima” (Figura 11) , interfere na capacidade de evaporação do suor e nas propriedades térmicas dos artigos têxteis.

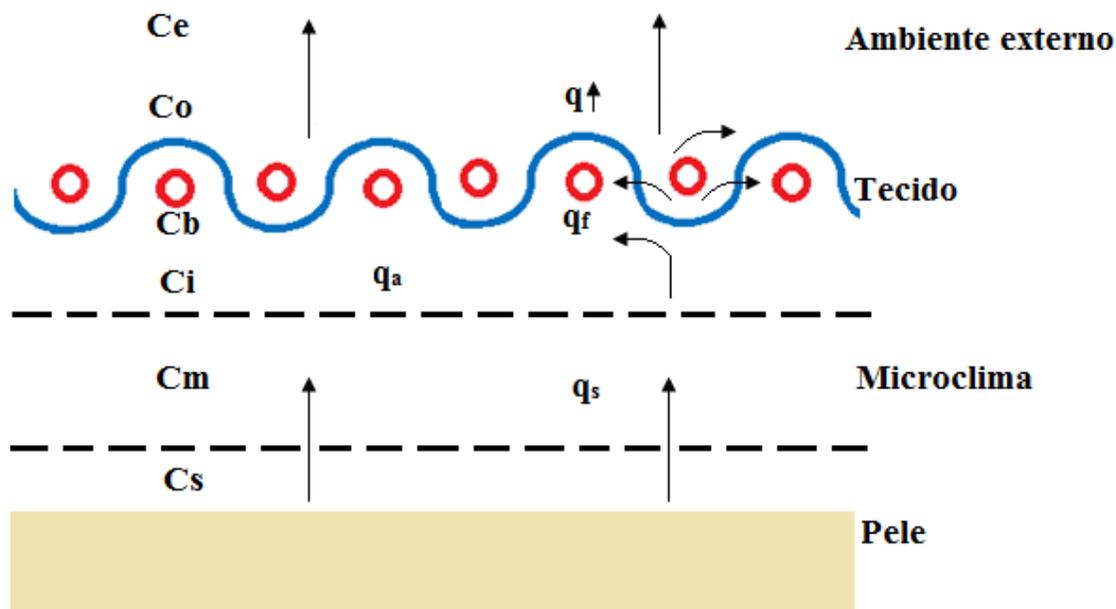


Figura 11. Sistema de transmissão da umidade - microclima
 Fonte: Adaptado de HONG (1988)

Onde:

C = Concentração de umidade

- Cs = Na camada de ar próxima à superfície da pele
- Cm = No microclima
- Ci = Na camada próxima à superfície interna do tecido
- Cb = Na camada de ar dos espaços internos do tecido
- Co = Na camada próxima à superfície externa do tecido
- Ce = Umidade do meio ambiente

q = Taxa de transmissão de umidade (fase de vapor)

- q_s = Fluxo de transpiração da pele
- q_a = Fluxo pelos espaços abertos (maiores) do tecido.
- q_f = Fluxo pelos espaços entre as fibras ou filamentos
- $q \uparrow$ = Fluxo para o meio ambiente

A evaporação da umidade deve ocorrer de forma rápida e contínua, pois a condensação da mesma em fase líquida sobre a pele causa sensação de desconforto.

Há diferentes concentrações de umidade no microclima, nas superfícies interna e externa do tecido e eventualmente no ambiente, portanto, a resistência oferecida pelo tecido à passagem do vapor de água deve ser a menor possível, em qualquer situação de atividade física ou condição de meio ambiente.

2.8.3. Isolamento Térmico

O vestuário interfere no balanço entre o calor gerado e o dissipado principalmente pela formação do microclima. A resistência térmica desta camada de ar é o fator de maior influência na capacidade de isolamento térmico do vestuário (LI, 2001).

Nos climas temperados e frios, a temperatura do corpo sendo mais alta que a do meio ambiente, o vestuário deve controlar a transferência de calor para impedir o resfriamento do corpo e a consequente sensação de desconforto, nas diferentes condições de atividade física e de ambiente.

A tabela 1 apresenta valores de referência para o calor gerado pelo corpo em diferentes situações. A unidade de metabolismo met, expressa na tabela, tem a seguinte equivalência no estado de repouso: $1 \text{ met} = 58 \text{ W/m}^2 = 50 \text{ kcal}/(\text{h.m}^2)$.

Tabela 1. Referências para o calor gerado pelo corpo

Situação	W/m ²	kcal/(h.m ²)	Unidade de Metabolismo (met)
Dormindo	40 a 45	34 a 39	0,7 a 0,8
Deitado acordado	45 a 55	39 a 47	0,8 a 0,9
Sentado - atividade mental	55 a 70	47 a 60	0,9 a 1,2
De pé-imóvel	58 a 81	50 a 70	1,0 a 1,4
Andando (3,5 km/h)	105 a 116	90 a 100	1,4 a 2,0
Andando acelerado (5 km/h)	122 a 174	105 a 150	2,1 a 3,0
Correndo (10km/h)	230 a 464	200 a 400	4,0 a 8,0
Ginástica leve	130 a 220	112 a 190	2,0 a 3,8
Andando de bicicleta	162 a 278	140 a 240	2,8 a 4,8
Subindo escada	174 a 290	150 a 250	3,0 a 5,0

Fonte: adaptado de FOURT (1970)

O “calafrio” ou “arrepio” é uma reação do corpo à uma sensação de frio, que pelo efeito da contração muscular gera calor (200 - 250 W/m²).

A capacidade de isolamento térmico de um vestuário, avaliada com a utilização de manequins com sensores térmicos, tem como unidade a denominada de “clo” (clothing resistance), definida como o isolamento térmico de um vestuário necessário para manter em estado de conforto uma pessoa em repouso (taxa de geração de calor = 58W/m²), com temperatura da pele = 33°C, num ambiente a 21°C, umidade relativa = 50% e velocidade do ar = 0,1 m/s (ASTM D 1518-90).

O isolamento térmico de um vestuário é influenciado pelo modelo da confecção, ajuste ao corpo, aberturas (ventilação) e pela resistência térmica do tecido.

2.8.4. Resistência Térmica de Tecidos

A resistência térmica de um tecido é determinada principalmente por sua densidade e espessura, admitindo-se a existência de uma relação linear entre a espessura e a resistência térmica do tecido.

Quanto maior a densidade de um tecido, maior será a influência do mecanismo de transporte de calor por condução, por outro lado, quanto menor sua densidade, o tecido estará mais suscetível ao transporte de calor por radiação.

A Figura 12 representa resistência térmica de um tecido em relação à sua espessura.

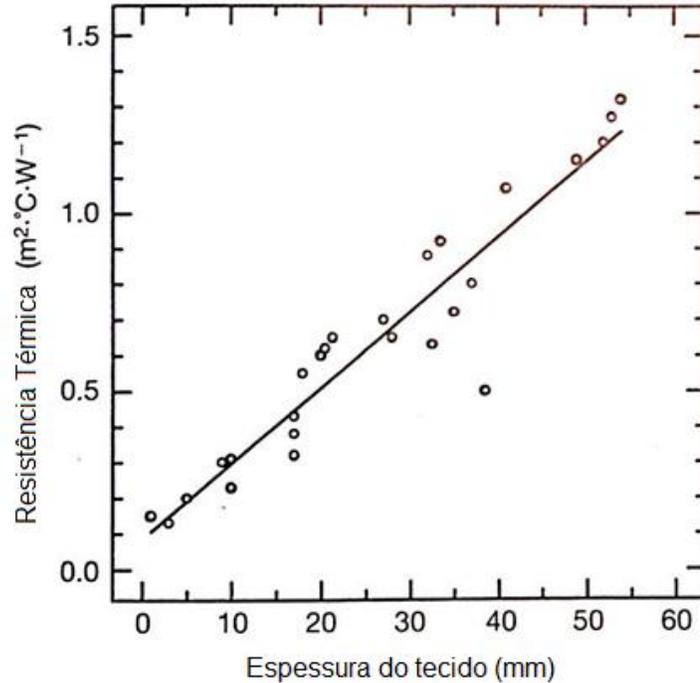


Figura 12. Relação entre a resistência térmica e espessura dos tecidos
Fonte: HAVENITH (2003)

Outros fatores que tem influência determinante na resistência térmica de um tecido são o título, a torção e pilosidade dos fios, finura, crimp e secção dos filamentos.

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 estas faces.

Unidade sistema SI: $^{\circ}\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$

2.8.5. Absorção Térmica

Uma propriedade importante de um tecido quanto à característica térmica é a sensação de “frio” ou “quente” ao toque. Esta característica é significativamente influenciada pela estrutura da superfície do tecido.

No instante de se vestir um artigo, normalmente a temperatura do tecido é inferior à do corpo, havendo, portanto, uma transferência momentânea de calor, até que as temperaturas das superfícies em contato se equilibrem. Quanto mais rápido for este processo maior a sensação instantânea de frio.

Denominada de “absorção térmica”, esta propriedade é definida como a quantidade de calor absorvida pelo tecido, num determinado decurso de tempo, quando sua superfície entra em contato com outra de temperatura mais elevada.

Unidade SI: $b = \text{W} \cdot (\text{s})^{1/2} \cdot (\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K})^{-1}$

2.8.6. Propriedades de transporte de umidade

Os fenômenos mais frequentes no processamento e uso de materiais fibrosos, envolvendo o contato e transporte líquidos, são capilaridade e molhamento.

Compreender melhor estes mecanismos de transporte de líquidos traz inúmeras vantagens na concepção de tecidos (NYONI, 2005).

Segundo Pan (2006), o termo "molhamento" é utilizado para descrever o deslocamento de uma interface sólido-ar com uma interface sólido-líquido. Dois regimes distintos de equilíbrio podem ser encontrados quando uma gota de líquido entra em contato com uma superfície sólida e

plana: umedecimento parcial, com um ângulo de contato finito θ , ou molhamento completo, com um ângulo de contato igual a zero. A Figura 13 demonstra o contato de uma gota com a superfície sólida.

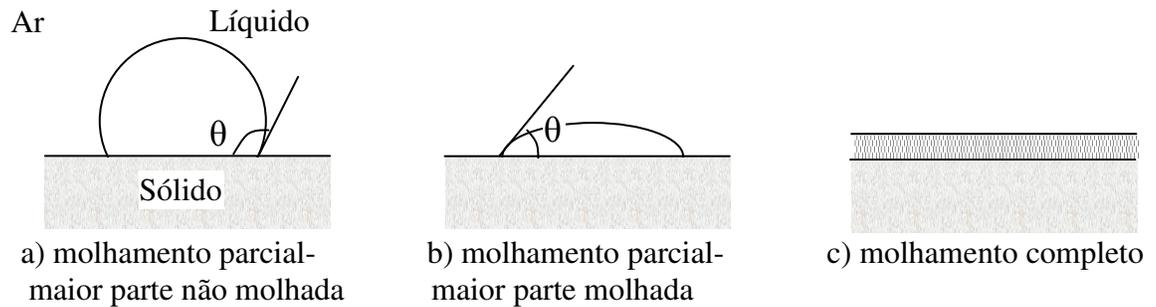


Figura 13. Gota em contato com sólido
Fonte: adaptado de PAN (2006)

Resultado das interações intramoleculares entre o líquido e a superfície sólida, o molhamento, inversamente proporcional ao ângulo de contato, é determinado pelo equilíbrio entre as forças de adesão e coesão, que também são responsáveis por outros efeitos relacionados, incluindo os chamados efeitos capilares.

O transporte de umidade é um dos principais parâmetros que influenciam o conforto e define-se como a capacidade de um tecido absorver a umidade proveniente da pele e transportá-la para superfície externa, liberando-a para o meio ambiente (MARTIN, 2010). A Figura 14 ilustra o transporte do suor, no formato de umidade, passando pelo tecido e sendo liberada no ambiente.

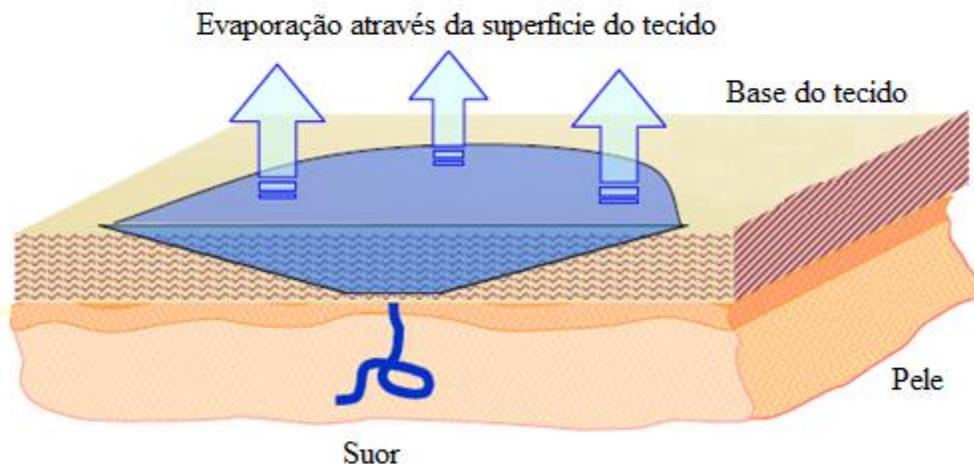


Figura 14. Representação do transporte de umidade
Fonte: Apresentação Moisture Tester (2010)

Depende de propriedades dos artigos têxteis como resistência à água, repelência à água, absorção da água, capilaridade das fibras e fios, assim como a geometria do tecido e a estrutura interna dos materiais constituintes (NANLIGOZ, 2010).

A umidade gerada pelo corpo, mais conhecida como transpiração, é a maneira mais eficaz de controlar o aumento da temperatura corporal gerada por uma atividade física ou por condições externas e influencia significativamente nas percepções humanas de conforto térmico.

Na primeira fase da transpiração o corpo gera umidade na forma de vapor, condensando-se, em uma segunda fase, em forma de líquido (DAS, 2007). O líquido gerado na superfície do corpo (suor) terá de ser eliminado de forma rápida e eficaz para que seja possível alcançar um bom nível de conforto.

Evidencia-se a relação entre temperatura externa e o calor gerado pela atividade física na seleção e projeto de artigos têxteis, devido às funcionalidades exigidas em seu desempenho.

No caso de baixos níveis de atividade física, mesmo que a temperatura externa esteja alta, o transporte de umidade não se configura como uma funcionalidade preponderante, pois a formação de suor permanece, na maioria dos casos, na forma de vapor.

Em altos níveis de atividade física e temperaturas externas altas, quando há intensa geração e liberação de suor, a situação torna-se crítica, pois os artigos têxteis devem apresentar funcionalidades complementares como alto índice de transporte de umidade, boa permeabilidade ao vapor de água e rápida taxa de secagem.

Tecidos projetados para se manterem frescos e secos, eliminando a sensação de estar “pegajoso” após o término da atividade física, baseados na rápida absorção de umidade e na evaporação como fenômeno para gerar o resfriamento, são indicados para o verão. Já os tecidos projetados para mover a umidade para longe da pele, mantendo-a seca e regulando a temperatura proveniente do ambiente frio, além de serem impermeáveis à chuva e relativamente impermeáveis ao vento, são indicados para o inverno.

De maneira geral, um vestuário indicado para o uso comum, deve ser projetado sob o princípio geral de transportar o suor para longe da pele, para evitar a sensação incômoda de se sentir suado.

Esse processo deve ser favorecido pelo uso de um tecido produzido com fibras, fios, construção e acabamentos apropriados, conforme descrição:

a) Tipo de Fibra

O comportamento das fibras em relação à umidade é, geralmente, função da estrutura química, tanto em âmbito micro como macromolecular, podendo a modificação desse comportamento ser atribuído a numerosos fatores. (FANGUEIRO, 2010)

As fibras naturais são hidrófilas, absorvem umidade e as drenam rapidamente. São conhecidas por reter a umidade e por secarem lentamente, sendo assim, possuem pobre transporte de umidade, causando sensação de desconforto por permanecerem molhadas por mais tempo.

As fibras sintéticas, como o poliéster, são hidrófobas e absorvem pouca umidade, porém não permanecem molhadas e são eficazes no seu transporte para o ambiente, principalmente por capilaridade.

Nem as fibras naturais, nem as sintéticas tem boa performance em ambas as situações de absorção e liberação da água ao mesmo tempo (NANLIGOZ, 2010).

Hsieh (1992) demonstrou em seus estudos, que a molhabilidade de qualquer tecido composto por um único tipo de fibra, terá as mesmas propriedades as suas fibras individuais constituintes.

b) Tipo de Fio

O processo de fiação, responsável pela produção de fios, varia de acordo com as características da fibra utilizada e do tipo de fio que se almeja obter. No caso do poliéster, os fios podem ser compostos por fibras cortadas ou por multifilamentos contínuos, sendo este o objeto de estudo neste trabalho.

Para um título resultante fixo, o número de filamentos que compõem um fio é proporcionalmente maior à medida que os títulos individuais destes filamentos diminuem. A maior densidade de multifilamentos na seção do fio, principalmente quando se apresentam como microfibras, resulta no aumento do número de espaços vazios formados entre estas microfibras, também denominada de microporosidade.

As fibras mais finas e as microfibras de poliéster, criam através da microporosidade dos fios no artigo um efeito capilar, que transfere o suor para o externo de maneira mais rápida, reduzindo consideravelmente a sensação de desconforto (SCOTT, 2010). Além do transporte maior e mais rápido de umidade, a microporosidade permite um maior isolamento térmico, uma maior permeabilidade à água e ao ar.

c) Estrutura do tecido

Um tecido plano é formado por fios distribuídos horizontal e verticalmente e dependendo do fator de cobertura, estes fios ficam mais ou menos espaçados.

Estes espaços interferem na energia superficial do tecido. Quanto maiores ou mais frequentes os espaços, haverá uma tendência de o líquido mover-se através deles. A energia superficial depende, em grande parte, da estrutura química das fibras, aumentando no caso das fibras hidrófilas e diminuindo no caso das hidrófobas.

Em um de seus trabalhos, Hollies et al (1970), comparou o comportamento de algumas estruturas de tecido em relação à repelência à água e observou que a sarja bem fechada e o panamá foram os mais repelentes do grupo e também mantiveram relativamente menor quantidade de água em sua estrutura.

d) Acabamento químico

Os acabamentos químicos podem ampliar ou reduzir as propriedades de transporte de umidade de acordo com a funcionalidade desejada.

A performance geral de transporte de umidade de um tecido depende de propriedades complexas incluindo sua capacidade de absorver, taxa de absorção e evaporação (NANLIGOZ, 2010).

A retenção de umidade demonstra a facilidade ou dificuldade de secagem do material têxtil e também está relacionada ao conforto. Se o esforço físico ou a temperatura ambiente forem elevados, o artigo molha e se sua secagem for demorada, há um desconforto pela sensação de molhado e frio. Os nervos sensoriais detectam esta retenção de umidade e produz a rigidez da roupa no inverno e o tato pegajoso no verão e ambos causam desconforto (MARTIN, 2010).

Observa-se que, ao contrário do que se assume, a evaporação da umidade não se relaciona exclusivamente às propriedades intrínsecas das fibras, mas também à área de superfície dos fios, do tecido e também de sua gramatura, pois terá mais espaço no qual a umidade poderá ser retida antes de ser evaporada.

Portanto, a gestão desta umidade gerada e dispersada em várias dimensões configura-se uma ferramenta importante na definição dos principais parâmetros relacionado ao conforto de artigos têxteis.

2.8.7. Capilaridade

Capilaridade ou **ação capilar** é a propriedade física que os fluidos têm de subirem ou descerem em tubos extremamente finos. O líquido, em contato com a superfície do tubo capilar, estará sujeito às forças de adesão (atração entre as moléculas) e coesão (atração intermolecular). A combinação de tensão superficial, causada pela coesão entre as moléculas do líquido, com a adesão do líquido à superfície desse material, pode fazê-lo subir por ele.

No caso mais simples de capilaridade, em tubo capilar, se forma um menisco, conforme Figura 15.

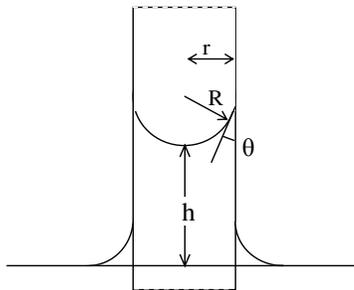


Figura 15. Capilar
Fonte: PAN (2006)

A tensão superficial do líquido causa diferença de pressão através da interface curva do líquido e o ar. O valor da diferença de pressão de uma superfície esférica pode ser calculado pela chamada equação de Young-Laplace:

$$\Delta P = \gamma_{LV} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (13)$$

Os raios da curva de interface R_1 e R_2 são iguais para capilar com secção transversal circular. Então:

$$\Delta P = 2\gamma_{LV} / R \quad (14)$$

Onde:

$$R = r/\cos \theta \quad (15)$$

Sendo r= raio capilar.

Especificamente no contexto de processamento têxtil, capilaridade é o fluxo espontâneo de um líquido em um substrato poroso, impulsionado por forças capilares. As forças de capilaridade são causadas pelo molhamento, ou seja, resultam de um molhamento espontâneo num sistema capilar (PAN,2006).

O efeito de capilaridade em um tecido, de acordo com Patnaik (2010), é obtido em função das características superficiais da matéria-prima (tipo de fibra), dos microporos ou espaços vazios intrafios (distância entre os filamentos no fio) e macroporos ou interfios (distância entre os fios no tecido).

a) Capilaridade nas fibras

Com base na extensão da interação com as fibras, os processos de capilaridade podem ser divididos em quatro categorias:

- (i) Capilaridade de um líquido, sem qualquer difusão significativa na superfície da fibra, a penetração capilar é o único processo envolvido;
- (ii) Capilaridade acompanhada por difusão do líquido em fibras ou em um acabamento na fibra. Dois processos simultâneos operam - penetração e difusão capilar do líquido para dentro das fibras;
- (iii) Capilaridade acompanhada por adsorção sobre as fibras. Vários processos estão ocorrendo simultaneamente - penetração capilar do líquido, difusão do agente tensoativo no líquido e a adsorção do tensoativo nas fibras;
- (iv) Capilaridade envolvendo a adsorção e difusão em fibras. Envolvendo simultaneamente os

processos - penetração capilar, a difusão do líquido para dentro das fibras, a difusão do agente tensoativo no líquido, e de adsorção do surfactante sobre as fibras.

b) Capilaridade em fios

Segundo Zhuang (2002), o estudo da capilaridade em função do tempo para uma estrutura têxtil, obedece à seguinte relação:

$$h = ct^k \quad (16)$$

Onde “h” é a altura atingida pelo líquido num tempo “t”, “c” é a constante que depende da viscosidade do líquido.

O principal método que determina as propriedades de capilaridade em fios, observado na Figura 16, consiste em manter o fio esticado, com sua parte inferior imersa no líquido. O transporte espontâneo ocorre devido à penetração por capilaridade, a altura de adsorção é registrada em função do tempo e a taxa de absorção é calculada.

A Figura 16 mostra um sistema de medição da capilaridade em fios, desenvolvida por Nyoni (2005), onde o fio ensaiado é tensionado e submerso em um reservatório de água. A régua fixa serve para medir a altura máxima da subida do líquido.

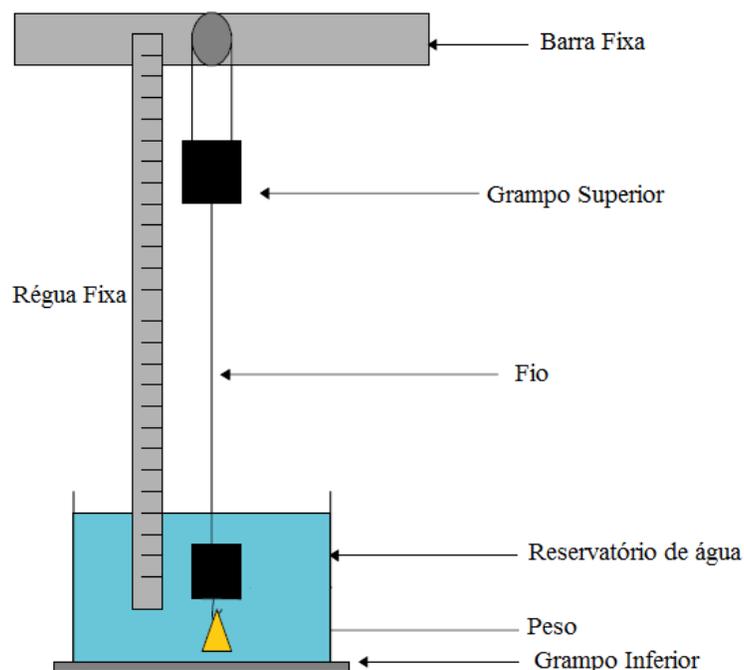


Figura 16. Ensaio de capilaridade em fios
 Fonte: NYONI (2005)

Para Nyoni (2005), a tendência de investigação tem-se centrado sobre o comportamento de tecidos, com menção superficial da influência dos fios e de suas características de construção, tais como fios de torção e diâmetro, porém Harnett e Mehta (1984) enfatizam que os processos de fabricação de fios têm aumentado a importância do estudo da cinemática e cinética dos líquidos em fios.

Nos fios, a maneira em que os filamentos individuais se encaixam, determina a quantidade de espaços vazios entre os filamentos. O aumento do número de filamentos, a tensão e torção do fio tem efeito significativo no desempenho do fio em relação a capilaridade.

A heterogeneidade de tamanho dos poros, forma e orientação, afetam a penetração do líquido na estrutura do fio e, portanto, as suas propriedades de retenção de líquidos.

c) Capilaridade em tecidos

Capilaridade ocorre quando um tecido é completa ou parcialmente imerso num líquido ou em contacto com uma quantidade limitada de líquido, tal como uma gota colocada sobre o tecido. As propriedades relacionadas à capilaridade influenciam a habilidade de absorção dos tecidos. Penetração capilar de um líquido, por conseguinte, pode ocorrer a partir de um reservatório limitado ou ilimitado. Processos de absorção a partir de um reservatório de imersão ilimitada são absorção transplanar e absorção longitudinal. Absorção a partir de um reservatório limitado é exemplificada por uma gota colocada sobre a superfície do tecido.

Hsieh et al. (1996) relataram que, no caso dos tecidos, espera-se uma distribuição de tamanhos de poros ao longo de qualquer direção planar. Tanto as dimensões destes poros, quanto sua distribuição influenciam a taxa de capilaridade e o transporte do líquido. Seguindo o princípio da capilaridade, à medida que os poros menores são completamente preenchidos, o líquido move-se então para os poros de maiores dimensões.

Os tamanhos e formas das fibras, bem como o seu alinhamento, influenciarão as configurações geométricas e a topologia dos poros ou espaços interfibra e, conseqüentemente, as taxas de capilaridade.

Tanto a quantidade de água transportada pelo tecido, quanto a distância que se desloca na unidade de tempo são consideravelmente influenciadas pela aleatoriedade da disposição das fibras nos fios. O mesmo fator controla a facilidade de molhamento da superfície dos tecidos.

d) Capilaridade no macroporo

Os espaços interfios, denominados de macroporos, referem-se à distância entre os fios no tecido. A Figura 17 mostra os macroporos na estrutura de um tecido plano.

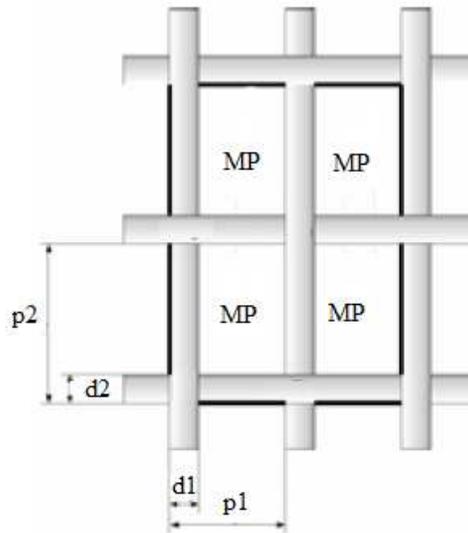


Figura 17. Macroporos em um tecido plano
 Fonte: Adaptado de DUBROVSKI (2011)

A área de secção transversal (A) do macroporo (MP) depende dos diâmetros dos fios de urdume e trama (d , em mm), do espaçamento entre os fios de urdume e trama (P , em mm) e das densidades do tecido (n , em fios/cm).

Os índices 1 e 2, referem-se, respectivamente, aos fios de urdume e trama.

A equação 17 mostra esta relação:

$$A = (p1 - d1) \cdot (p2 - d2) = \left(\frac{10}{n1} - d1 \right) \cdot \left(\frac{10}{n2} - d2 \right) \quad (17)$$

De acordo com Dubrovski (2011), o modelo preditivo para o cálculo da área da seção transversal do macroporo, tem base na análise de três fatores principais: finura do fio ou densidade linear do fio, do fator de tecimento e do fator de aperto no tecido, ou cobertura relativa.

$$A = \frac{215 \cdot 10^6 \cdot T^2}{V^{3,99} \cdot t^{5,23}} \quad (18)$$

Onde:

A= área da seção transversal, em 10^{-3} mm^2

T= densidade linear do fio, em tex

V= fator de tecimento

t= cobertura relativa, em %

Os fatores de tecimento estão relacionados ao ligamento. No caso da tela, o fator de tecimento é 0,904 e no caso da sarja, 1,188.

Existem diferenças entre os macroporos em tecidos feitos a partir de fios fiados ou fios de multifilamentos. Com fios de multifilamentos os macroporos são mais uniformes e com fios fiados são heterogeneos.

A progressão capilar entre os fios em um tecido compara-se a um fluxo entre duas placas paralelas em uma distância capilar (Figura 18).

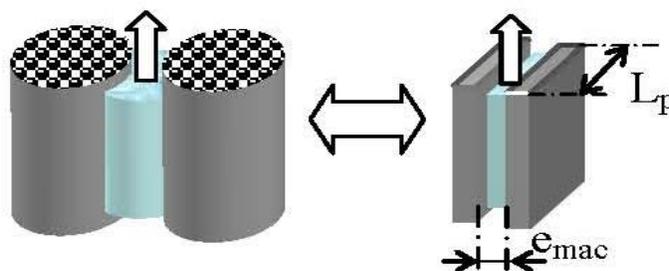


Figura 18. Capilaridade entre fios
Fonte: BENLTOUFA (2008)

Capilaridade entre fios pode ser expressada por:

$$h_{\text{mac}} = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos\theta}{e_{\text{mac}} \cdot \rho \cdot g} \quad (\text{mm}) \quad (19)$$

Em que:

H_{mac}= a capilaridade do macroporo

γ = tensão superficial,

ρ = densidade do líquido

g= aceleração da gravidade

e_{mac} = distância capilar

θ = ângulo de contato

a) Capilaridade no microporo

Os espaços intrafios, conhecidos como microporo, dependem da distância entre os filamentos que compõem o fio.

$$\xi_{\text{micro}} = 1 - \frac{4n(d)^2}{L^2} \quad (\%) \quad (20)$$

Onde:

ξ_{micro} = capilaridade no microporo;

n= número de filamentos do fio;

d= diâmetro da fibra (mm);

L= espessura do tecido (mm).

Segundo Bentoulfa (2008), a capilaridade intrafios, ou seja, a capilaridade do líquido entre os filamentos, é dada pela equação da lei de Washburn:

$$h_{mic} = \frac{2\gamma \cdot \cos\theta}{R_{mi} \cdot \rho \cdot g} \quad (mm) \quad (21)$$

Na qual:

H_{mic} = capilaridade do microporo

γ = tensão superficial

ρ = densidade do líquido

g = aceleração da gravidade

R_{mi} = raio do microcapilares

θ = ângulo de contato.

Na escala de fios, entre filamentos (Figura 19), a capilaridade pode ser analisada como o fluxo em um tubo capilar de raio R_{mi} , cuja relação se expressa:

$$R_{mi} = \sqrt{\frac{L^2}{32 \cdot n} - \frac{d_{fib}^2}{8}} \quad (mm) \quad (22)$$

Onde:

d_{fib}^2 = diâmetro da fibra (mm)

n = número de filamentos do fio

L = espessura do tecido (mm).

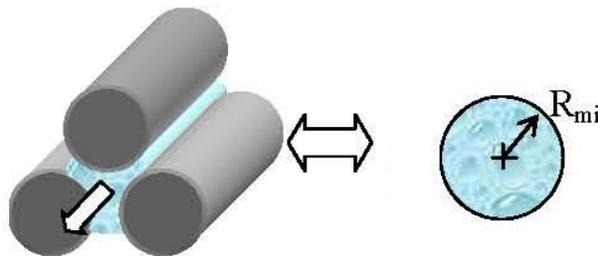


Figura 19. Capilaridade entre filamentos
Fonte: BENLTOUFA (2008)

2.8.8. Permeabilidade ao vapor de água

O transporte de vapor de água tem um papel significativo na determinação do conforto térmico de um tecido uma vez que representa a capacidade de transferir a transpiração do corpo.

Em ambientes quentes, em que a produção e a evaporação de suor são os principais mecanismos de resfriamento do corpo humano para manter o conforto térmico. Em ambientes frios, a livre circulação do vapor de água para a superfície do tecido é essencial para evitar seu molhamento pela transpiração.

Os mecanismos de transmissão de vapor de água através de tecidos porosos envolvem difusão de vapor de água através das porosidades do tecido e das fibras individuais.

A difusão de vapor de água através dos espaços vazios é controlada pelo gradiente de pressão do vapor d'água entre os dois lados do tecido. Os poros em tecidos planos podem ser entre os fios e interfibras e, assim, a taxa de difusão é governada pela estrutura do fio e do tecido, incluindo o tamanho e concentração destes poros e da espessura do tecido (LEE, 2012).

O fator chave para materiais utilizados no vestuário relaciona a resistência ao vapor de água à camada de ar entre a pele e o tecido. De fato, por conveniência, a resistência à difusão é muitas vezes expressa em termos de uma espessura equivalente de ar. Tal como com a transmissão térmica, é conveniente expressar a impedância da roupa ao vapor de água em unidades de resistência, permitindo que a soma das camadas componentes da roupa atinjam a resistência total do conjunto da roupa.

Em termos de conforto, Fourn (1970) afirma que é importante fazer a distinção entre as propriedades de transmissão de vapor de água e de permeabilidade ao ar ou dos efeitos do vento sobre a roupa, pois são parâmetros bastante diferentes.

2.8.9. Permeabilidade ao ar

A permeabilidade ao ar é um parâmetro muito importante para o desempenho de alguns materiais têxteis, especialmente para tecidos técnicos, ou utilizados em práticas esportivas de alta

performance. Caracteriza-se pelo volume de ar que passa pelo tecido sob um diferencial de pressão.

Durante o transporte do ar através dos poros do tecido, parte da energia do ar é usada para vencer o atrito do fluido sobre o tecido e o restante para ultrapassar as forças de inércia. Quando o tamanho dos poros diminui, o atrito do fluido no tecido aumenta.

As propriedades dos tecidos que mais influenciam a permeabilidade ao ar são a massa do tecido, relacionado à gramatura, e a espessura e sua construção, relacionada ao ligamento e à porosidade (quantidade de fios/cm e fator de cobertura).

Estruturalmente, os tecidos planos apresentam espaços vazios entre os fios de urdume e trama que o compõem. A permeabilidade ao ar de um tecido plano, proporcional ao volume destes espaços vazios, é determinada pela taxa de fluxo de ar que passa por meio de um material sob uma pressão diferencial entre as duas superfícies de tecido.

Ogulata (2006) desenvolveu um modelo matemático com o objetivo de estudar teoricamente a permeabilidade ao ar, através dos principais fatores relacionados aos poros em um tecido plano:

- Área transversal do poro;
- Profundidade de cada poro ou espessura do tecido;
- Número de poros por unidade de área ou número de fios de urdume e trama por unidade de área.

As Figuras 20 e 21 mostram a estrutura de um tecido plano em seu corte transversal.

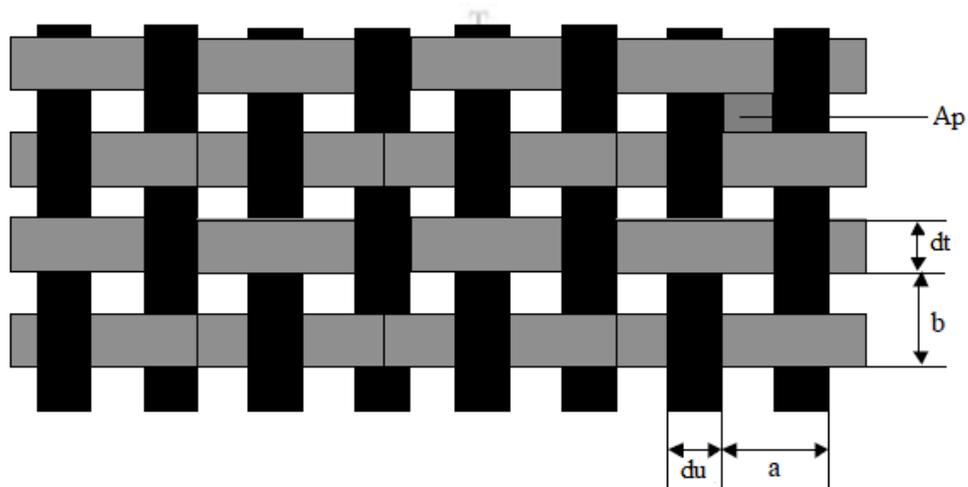


Figura 20. Estrutura de um tecido plano
Fonte: Ogulata (2006)

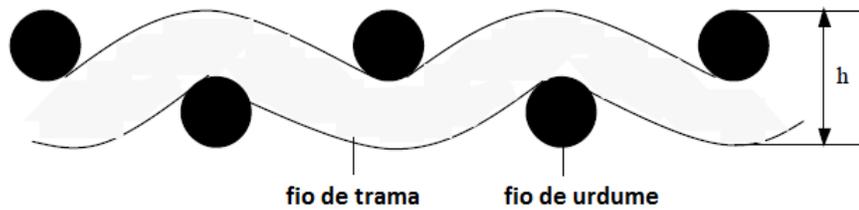


Figura 21. Corte transversal da estrutura de um tecido
Fonte: Ogulata (2006)

Os índices das Figuras 20 e 21, significam:

A_p = área transversal do poro

D_u = diâmetro do fio de urdume

D_t = diâmetro do fio de trama

h = altura incluindo os fios de urdume e trama

Para Ogulata (2006), porosidade de um tecido é definida como a relação entre os espaços vazios em um determinado volume de tecido. Pode ser escrito como:

$$e = n \cdot A_c \cdot A_f \quad (23)$$

Onde:

A_c = seção transversal do poro, em m^2 ;

A_f = área de superfície do tecido, em m^2

n = número de poros por unidade de tecido, dependendo da desidade de urdume e trama.

$$n = n_1 \cdot n_2 \quad (24)$$

Sendo:

n_1 = número de fios de urdume por unidade de medida, em fios/cm;

n_2 = número de fios de trama por unidade de medida, em fios/cm;

O tecido plano é uma estrutura porosa e a velocidade do ar nos poros deve ser levada em consideração. A relação é dada pela equação:

$$U = \frac{U_m}{e} \quad (25)$$

U = velocidade do fluxo de ar, em m/s;

U_m = velocidade do ar pelos poros, em m/s

e = taxa de área vazia

Em relação ao conforto, tanto o isolamento térmico como a transferência de umidade, são propriedades influenciadas pela maior ou menor permeabilidade ao ar que um tecido oferece, além de interferir no comportamento de secagem dos tecidos.

O intercâmbio de umidade entre a fibra e o ar é um processo complexo, dependendo se a umidade está presente na forma líquida sobre a superfície da fibra, ou na forma de vapor armazenados internamente.

O processo de secagem de materiais têxteis foi detalhado por Lyons (1971) em três fases distintas. Na primeira etapa, um tecido molhado ajusta a sua temperatura e umidade, com os fluxos do seu ambiente circundante. A segunda etapa é um período de "taxa de secagem constante", em que a velocidade de secagem permanece constante à medida que as taxas de transferência de calor e evaporação alcançam o equilíbrio. A umidade líquida se move para o interior do tecido para manter uma condição de saturação na superfície. A terceira fase é a "diminuição da taxa de secagem", durante a qual o fluxo de umidade da superfície é insuficiente para manter a saturação e o plano de movimentos de evaporação se move para o interior do tecido. As fibras começam a deixar de adsorver a umidade até que o equilíbrio seja atingido entre o tecido e o ambiente.

2.10 GESTÃO DO TRANSPORTE DE UMIDADE (MOISTURE MANAGEMENT TESTER)

Para caracterizar objetivamente a difusão da umidade e as propriedades de transporte de umidade em uma superfície ou entre as superfícies de artigos têxteis, sejam de malha, tecido plano ou não tecido, foi desenvolvido um equipamento denominado Moisture Management Tester – MMT, do fabricante SDL Atlas, identificado na Figura 22.



Figura 22. Aparelho MMT
Fonte: Manual do Moisture Management Tester (2010)

Os resultados obtidos com este método de teste estão focados nas características de absorção de água da estrutura de tecido, incluindo a estrutura geométrica e interna do tecido e as características de transporte da umidade por capilaridade de suas fibras e fios.

2.9.1. Princípio de funcionamento

O instrumento consiste em dois conjuntos de sensores com sete pinos concêntricos distribuídos na parte superior e inferior do posicionamento da amostra que será testada (Figura 23).

A superfície superior do tecido (top surface) está posicionada na direção do sensor superior e simula o comportamento do lado do tecido em contato com a pele. A superfície inferior está posicionada na direção do sensor inferior e simula o comportamento do lado externo do tecido em contato com o ambiente (Figura 24).

Uma quantidade pré-determinada de solução de água destilada e cloreto de sódio será utilizada para simular o suor. O cloreto de sódio tem a finalidade de auxiliar a medição da variação de condutividade elétrica.

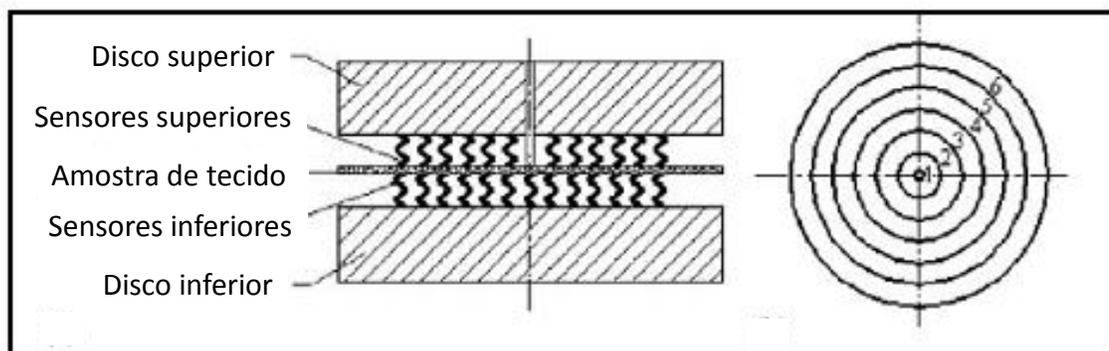


Figura 23. Esquema do MMT
Fonte: Adaptado Manual do aparelho MMT

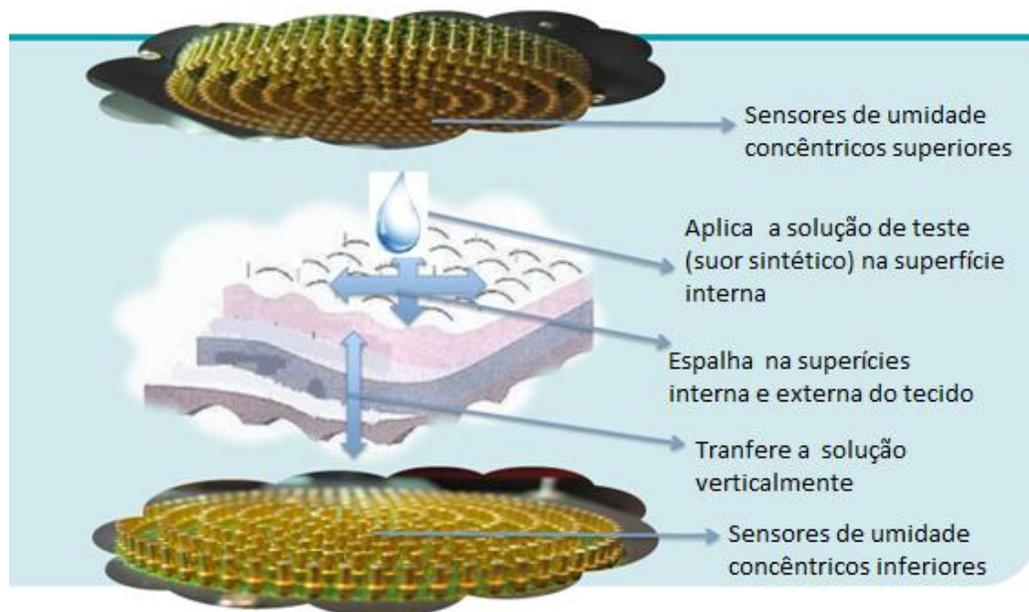


Figura 24. Princípio de funcionamento do MMT
 Fonte: Adaptado de RAVICHANDRAN (2011)

- Durante o ensaio, esta solução estará livre para se movimentar em três dimensões:
- Dispersando-se de forma radial na superfície superior,
- Movimentando-se da superfície superior para a inferior e
- Dispersando-se de forma radial na superfície inferior do tecido.

As alterações na resistência elétrica da amostra (função da quantidade de solução) são medidas e registradas para quantificar o comportamento dinâmico do transporte de umidade nas muitas direções do espécime.

O funcionamento do aparelho baseia-se no princípio físico de que a resistência elétrica da superfície de contato do tecido muda quando contém uma solução líquida com base de água próxima à superfície. O valor da resistência depende de dois fatores: a condutividade elétrica do líquido e o teor de água no tecido. No MMT, a influência específica dos componentes da água é fixada, portanto a resistência elétrica medida está somente baseada no teor de água contida no tecido (HU, 2003).

A resistência elétrica de um tecido seco testado em um circuito fechado é muito maior uma vez que não se detecta corrente elétrica e a voltagem do resistor de referência de 1,0 MΩ é quase zero. Entretanto, quando se trata de um tecido molhado, ou com certa quantidade de umidade, o resistor é reduzido ao nível de centenas de KΩ. Portanto, a mudança de voltagem pode ser medida pelo resistor de referência (HU et al, 2005).

O modelo simplificado do método do teste é demonstrado na Figura 25.

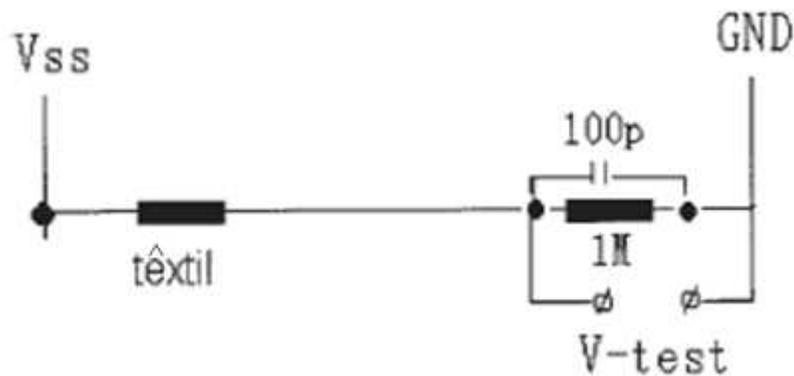


Figura 25. Modelo simplificado do método de teste
Fonte: HU (2005)

Onde:

V_0 é a tensão elétrica entre Vss e GND,

R_f é a resistência do tecido e

R_c é a resistência do resistor ,

Então V-test (V_1) é:

$$V_1 = \frac{V_0 - R_c}{R_c + R_f} \quad (26)$$

e

$$\frac{R_f}{R_c} = \frac{V_0}{V_1} - 1 \quad (27)$$

Onde R_f é uma função conhecida do teor de umidade (M)

$$M = \frac{I}{R_f} \quad (28)$$

Portanto M pode ser expresso como:

$$M = \frac{I}{R_c} \frac{V_l}{V_0 - V_l} \quad (29)$$

A água contida na área entre cada conjunto de anel de metal na superfície superior (M_{ti}) e superfície inferior (M_{bi}) permite calcular o conteúdo total de água tanto na superfície superior (U_t) quanto na superfície inferior (U_b) do tecido através das equações:

$$U_t = \sum_{i=0}^5 M_{ti} \quad (30)$$

$$U_b = \sum_{i=0}^5 M_{bi} \quad (31)$$

2.9.2. Parâmetros de avaliação

Os principais parâmetros de avaliação fornecidos pelo equipamento são expressos pelos índices mostrados na tabela 2.

Tabela 2. Índices do MMT

ÍNDICE				UNIDADE
Wetting Time	Tempo de Molhamento	Superfície superior	Wtt	s
		Superfície inferior	Wtb	
Absortion Rate	Taxa de Absorção	Superfície superior	Art	%/s
		Superfície inferior	Arb	
Maximum Wetted Radius	Máximo Raio Molhado	Superfície superior	Mwrt	mm
		Superfície inferior	Mwtb	
Spreading Speed	Velocidade de Difusão	Superfície superior	Sst	mm/s
		Superfície inferior	Ssb	
Accumulative One-way Transport Capability		Capacidade de transporte em um único sentido	R	%
Overall Moisture Management Capability		Capacidade Global de Gestão da Umidade	OMMC	---

Fonte: adaptado de YAO (2008)

- **Tempo de molhamento (wetting time), WTt e WTb:** Os índices WTt (superfície superior) e WTb (superfície inferior), mostram os tempos (segundos) necessários para que as superfícies inferior e superior do tecido comecem a ficar molhadas após o início do teste. Essa medida pode ser comparada com medida do tempo de absorção da gota no teste especificado pela norma AATCC 79.

- **Taxa de absorção (absorption rate) ARt e ARb:** As taxas ARt (superfície superior) e ARb (superfície inferior) indicam a capacidade média de absorção de umidade (%/s) das superfícies do tecido no tempo do bombeamento da solução de teste.

- **Máximo raio molhado (maximum wetted radius) MWRt e MWRb:** Os valores de MWRt (superfície superior) e MWRb (superfície inferior) representam os raios máximos de difusão do líquido, em mm, nas duas superfícies da amostra e são determinados por um conjunto de anéis concêntricos nas superfícies superior e inferior respectivamente quando a inclinação do teor total de água tornar-se maior que $\tan 15^\circ$.

- **Velocidade de difusão (Spreading Speed) SSt e SSb:** as medidas de SSt (superfície superior) e SSb (superfície inferior) representam a velocidade de propagação da umidade acumulada nas duas superfícies da amostra em mm/s, a partir do centro até o máximo raio umedecido.

- **Capacidade de transporte em um único sentido (accumulative one-way transport capacity) R:** é a diferença da umidade acumulada entre as duas superfícies do tecido considerando um único sentido de transporte (da superfície superior para a inferior), expresso em % e determinado de acordo com a relação:

$$R = U_b - U_t \quad (32)$$

Onde:

Ut: % de líquido absorvido na superfície superior durante o tempo total do teste

Ub: % de líquido absorvido na superfície inferior durante o tempo total do teste

- **Capacidade global de gestão da umidade (Overall moisture management capability) OMMC:** é um índice para indicar a capacidade do tecido para gerenciar a umidade e considera três aspectos de performance:

- Taxa de absorção na superfície inferior: **ARb**
- Índice de transporte de líquido em um único sentido: **R**
- Velocidade de difusão na superfície inferior: **SSb**

A capacidade geral de gestão de umidade (OMMC) é definida por:

$$OMMC = C_1 * ARb + C_2 * R + C_3 * SSb \quad (33)$$

Onde C1, C2 e C3 são os pesos adimensionais para ARb, R e SSb, respectivamente. Os valores de C1, C2, e C3 podem ser ajustados de acordo com a importância relativa dos mesmos baseados nos tipos de tecido e o uso final do produto. Os pesos adotados no desenvolvimento do MMT são:

$$C1 = 0,25$$

$$C2 = 0,50$$

$$C3 = 0,25$$

Esses valores foram escolhidos baseando-se no estudo das percepções humanas, e considerando que a capacidade de transporte transversal tem o dobro de importância comparada à capacidade de absorção e velocidade de difusão (HU, 2013).

2.9.3. Preparação dos tecidos (corpos de prova)

Os corpos de prova devem ser cortados na transversal do tecido com dimensões de 8,0 x 8,0 cm. Estes deverão ser lavados por 5 (cinco) minutos no Ultrasonic Cleaner com água destilada a fim de retirar pequenas impurezas existentes nos corpos de prova.

Para cada matéria prima testada, devem ser cortados 5 (cinco) corpos de prova para que os valores sejam avaliados através das médias.

2.9.4. Apresentação dos Resultados

O MMT deve ser conectado a um computador onde esteja instalado o software responsável pelos cálculos dos resultados e pela apresentação de gráficos que ilustram as medições feitas pelo aparelho.

Além dos resultados dos parâmetros de avaliação descritos no item 2.9.2, o software do aparelho ainda fornece as representações gráficas:

- **Absorção de líquido x tempo:** Esses gráficos são obtidos através de medições do MMT sendo que a curva UT (verde) mostra a medida do sensor superior, portanto a medição da superfície do tecido que fica em contato com a pele e UB (azul), refere-se ao sensor inferior, portanto à superfície externa do tecido.

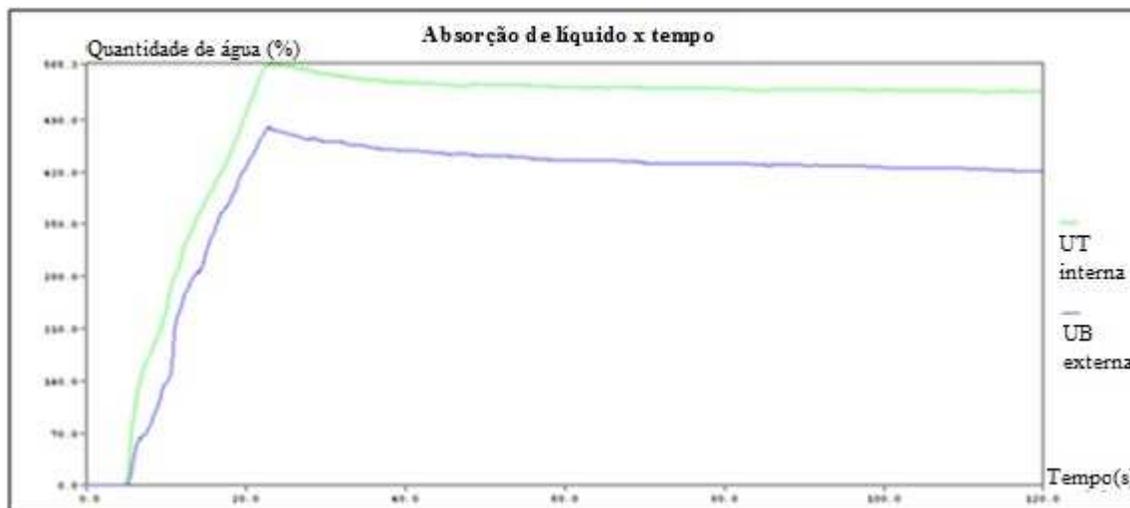


Figura 26. Gráfico de absorção x tempo.
Fonte: Software do aparelho MMT.

- **Distribuição de líquido:** Esses gráficos permitem uma rápida e fácil visualização da forma como se distribui o líquido nas duas faces do tecido no tempo total do teste. Nesse gráfico, tonalidade azul mais escura significa menos líquido absorvido, enquanto azul mais claro significa maior concentração de líquido.

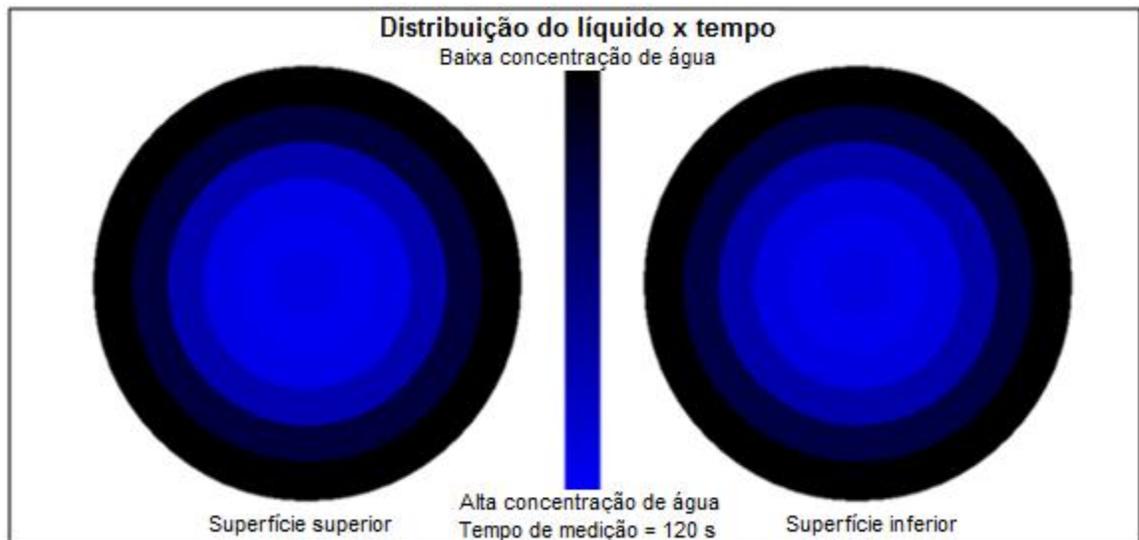


Figura 27. Gráfico de distribuição do líquido.
Fonte: Software do aparelho MMT.

2.9.5. Análise dos Resultados

O MMT pode distinguir sete diferentes tipos de performance do tecido, analisando o comportamento médio dos cinco corpos de prova utilizados no ensaio. Essas performances são:

- **Tecido à prova d'água:** Sem transporte transversal de líquido, apresentando absorção e difusão muito lenta na superfície superior.

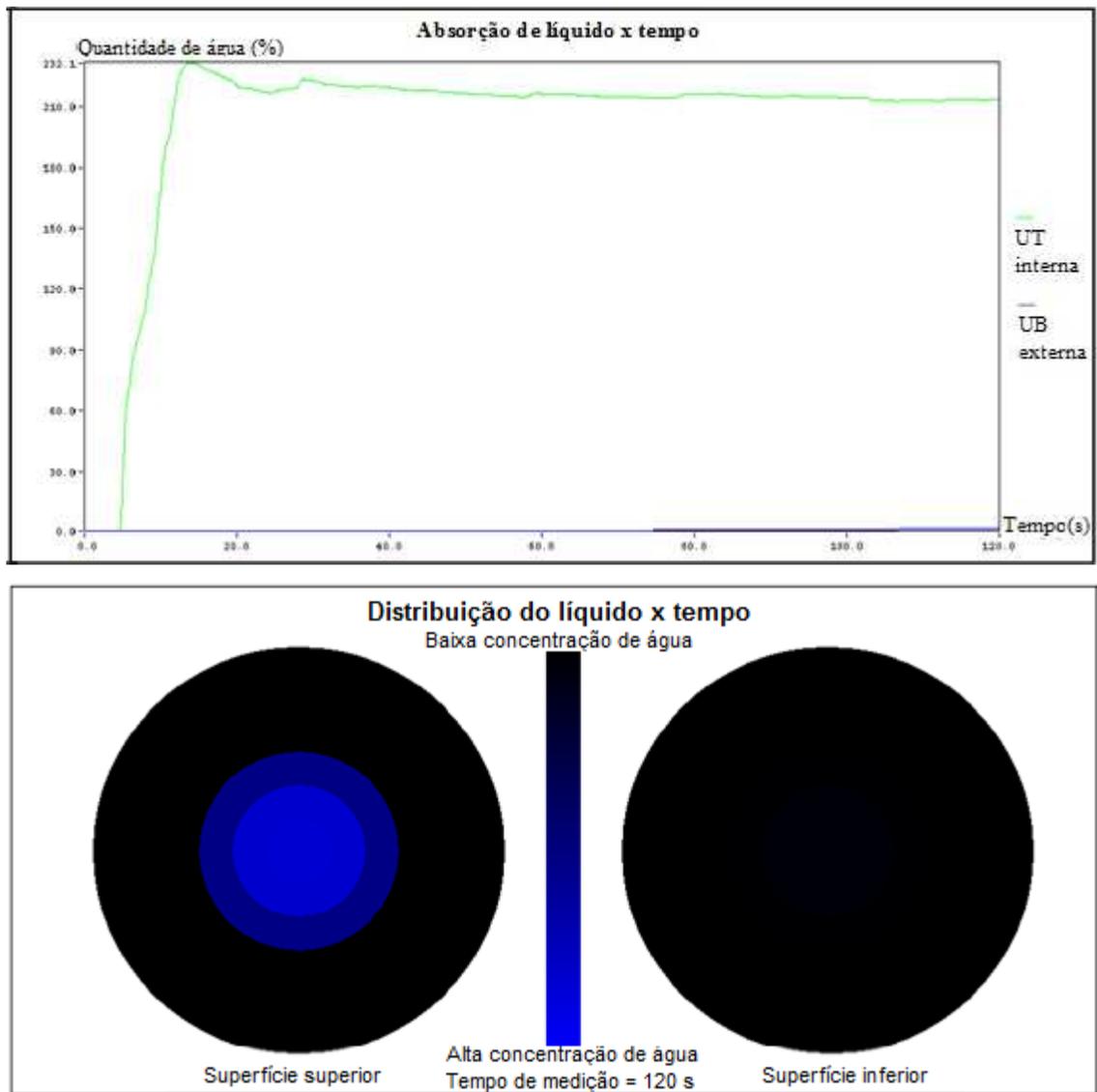


Figura 28. Tecido à prova d'água.
 Fonte: Manual do aparelho MMT

- **Tecido repelente à água:** Não há absorção nem difusão na superfície do tecido, porém pode apresentar um pequeno transporte de líquido na transversal.

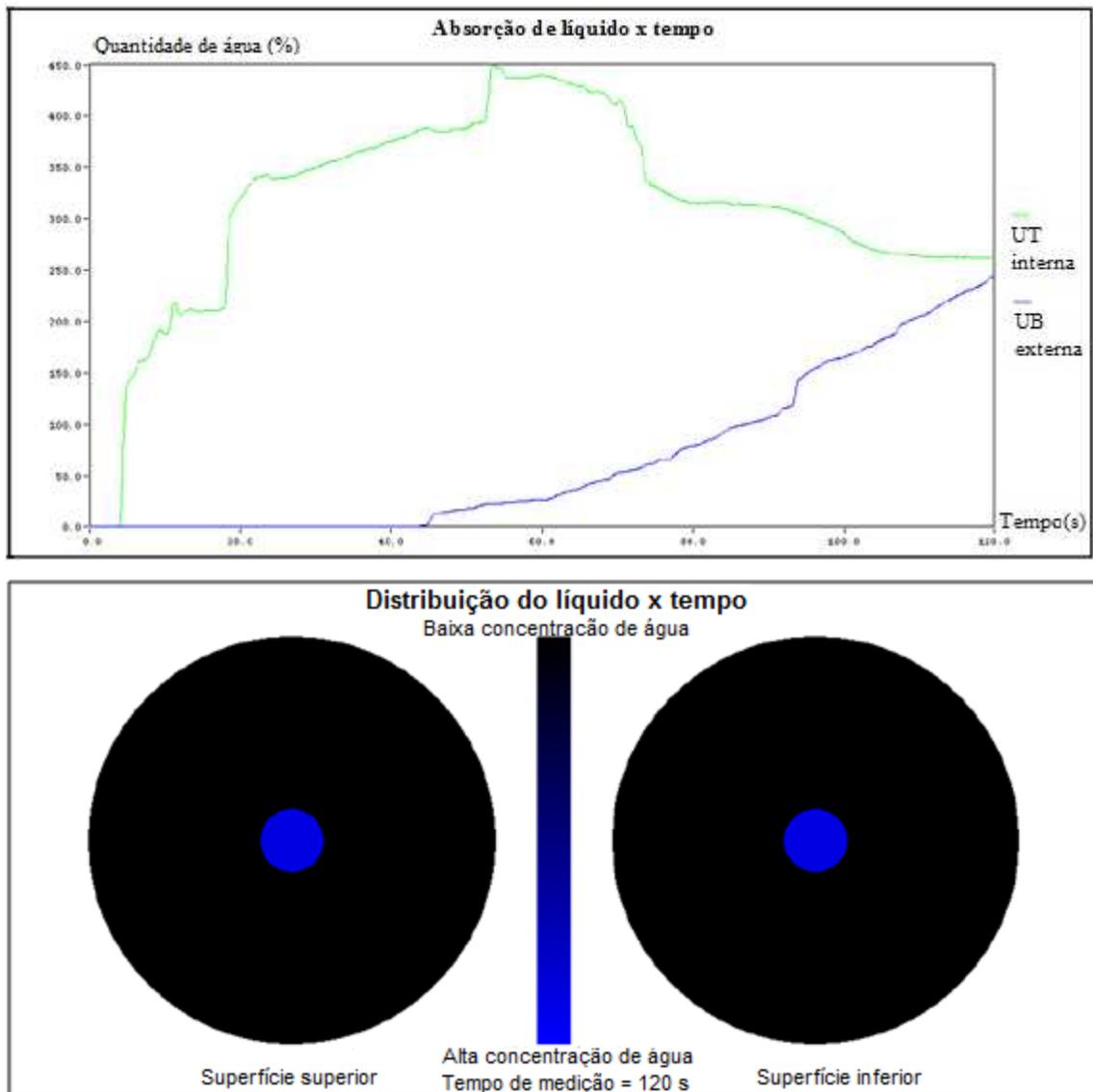


Figura 29. Tecido repelente à água.
 Fonte: Manual do aparelho MMT

- **Tecido com absorção lenta e difusão lenta:** Há absorção e difusão lenta, além de um pequeno transporte de líquido da superfície superior para a inferior do tecido. (transporte transversal de líquido).

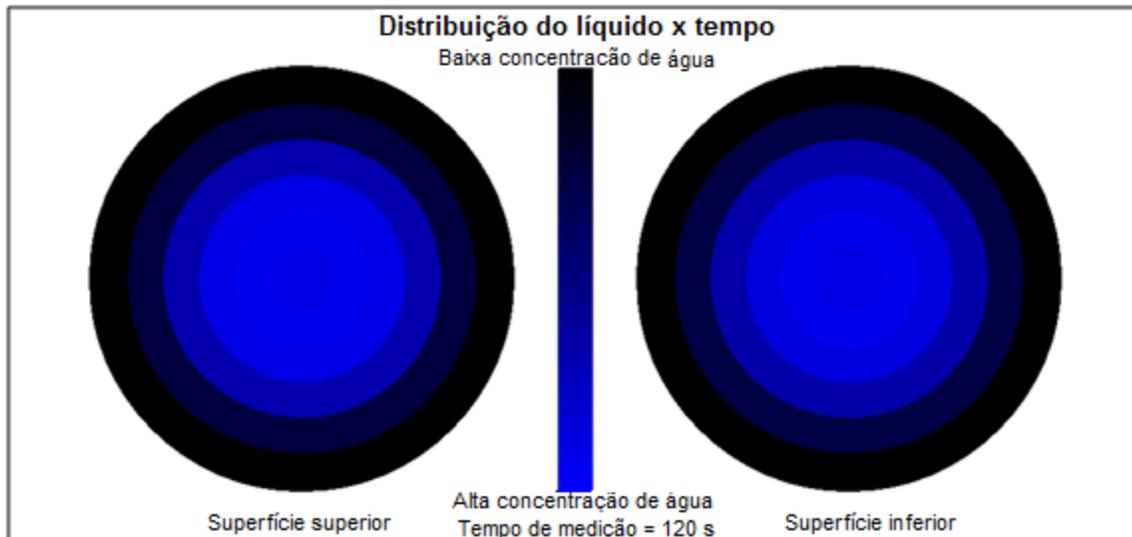
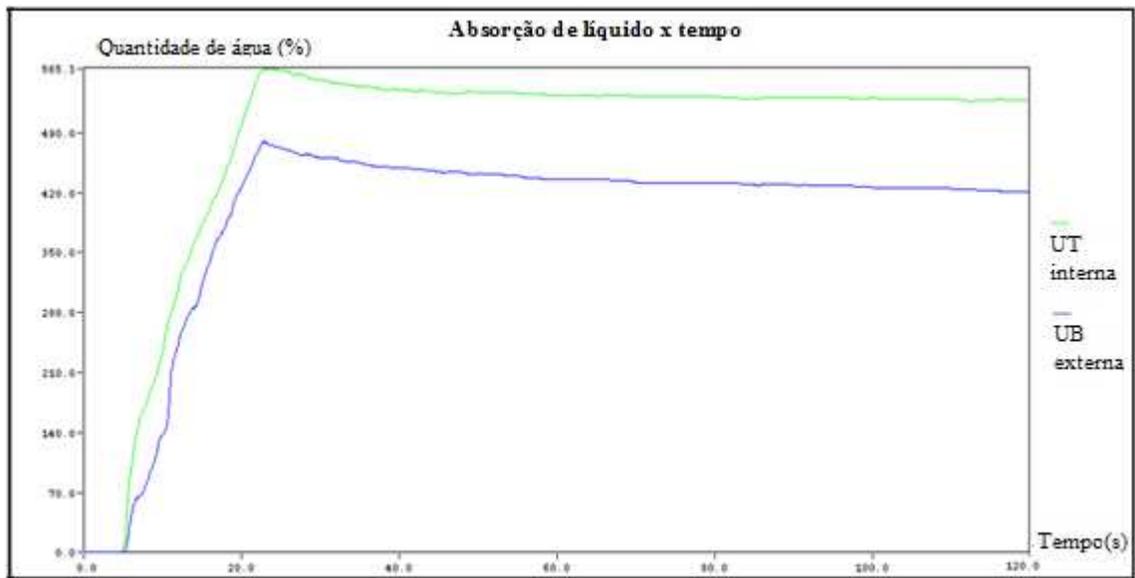


Figura 30. Tecido com absorção lenta e difusão lenta.
 Fonte: Manual do aparelho MMT

- **Tecido com absorção rápida e difusão lenta:** Média a rápida absorção, difusão lenta em uma pequena área, além de um pequeno transporte de líquido da superfície superior para a superfície inferior do tecido. (transporte transversal de líquido).

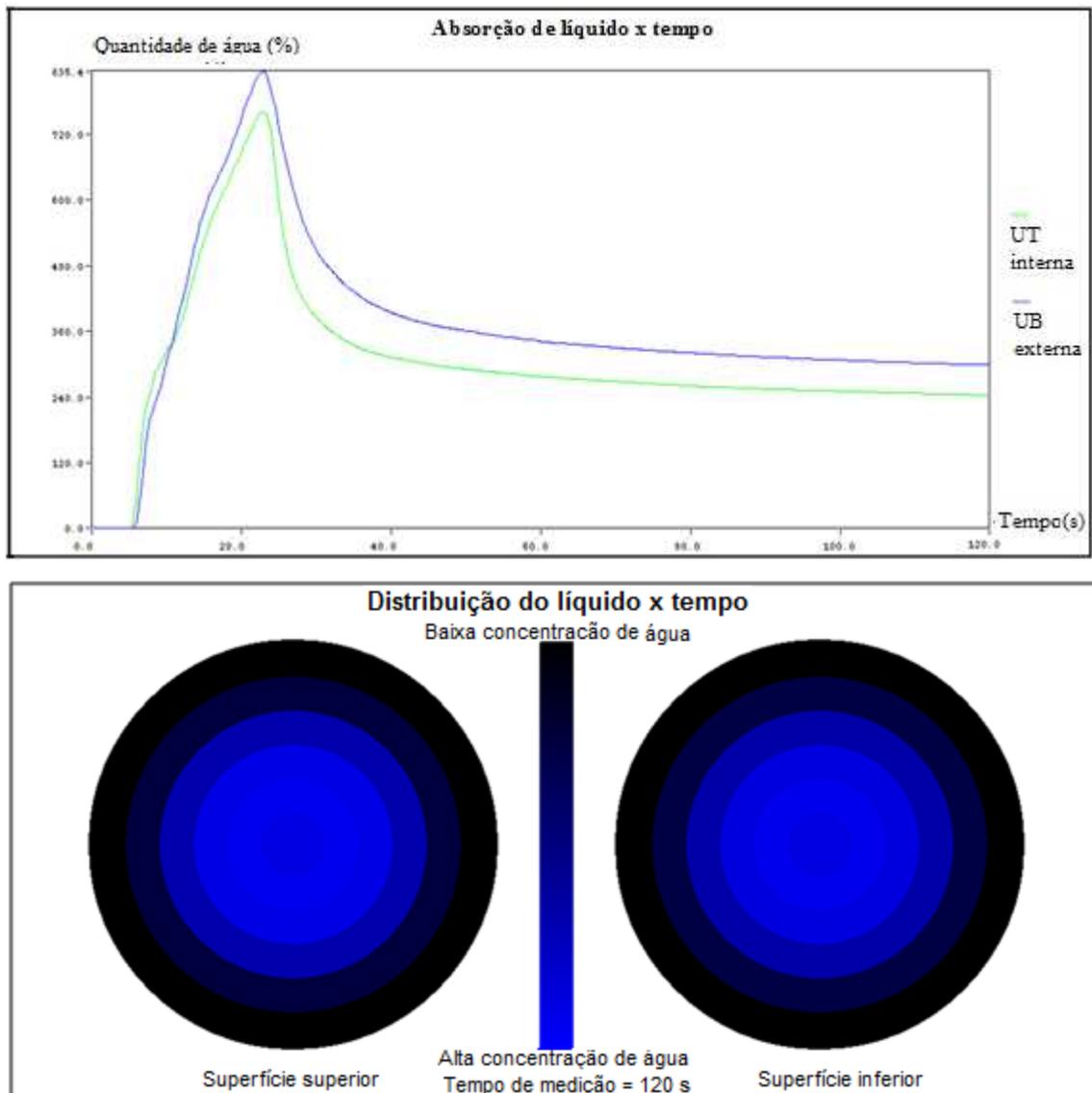


Figura 31. Tecido com absorção rápida e difusão lenta
 Fonte: Manual do aparelho MMT

- **Tecido com absorção rápida e difusão rápida:** Média a rápida absorção, difusão rápida em uma grande área. Transporte de líquido da superfície superior para a superfície inferior do tecido (transporte transversal de líquido).

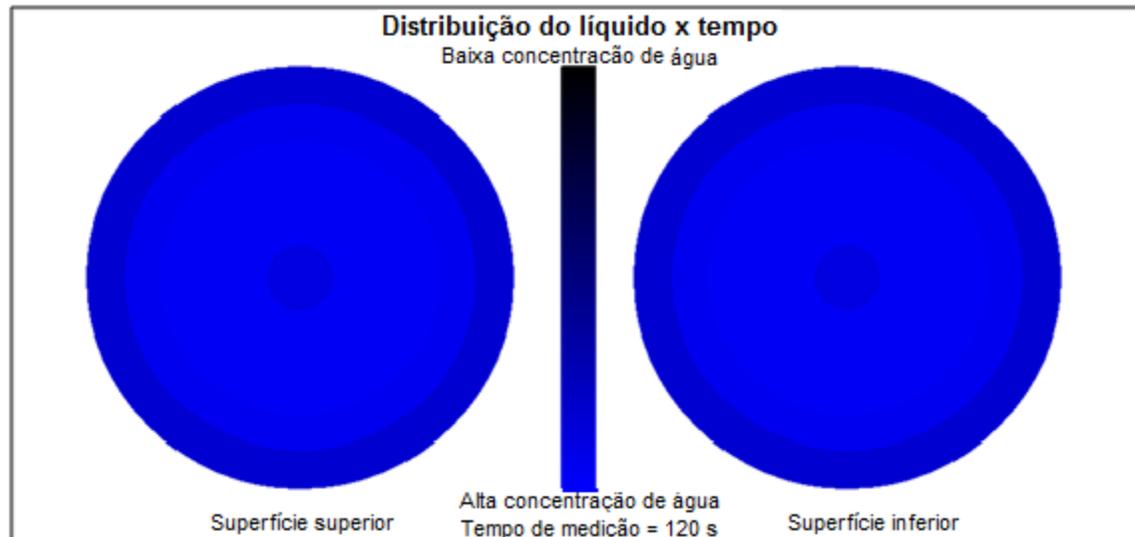


Figura 32. Tecido com absorção rápida e difusão rápida
 Fonte: Manual do aparelho MMT

- **Tecido com penetração de líquido:** Pequena difusão, excelente transporte de líquido da superfície superior para a superfície inferior do tecido (transporte transversal).

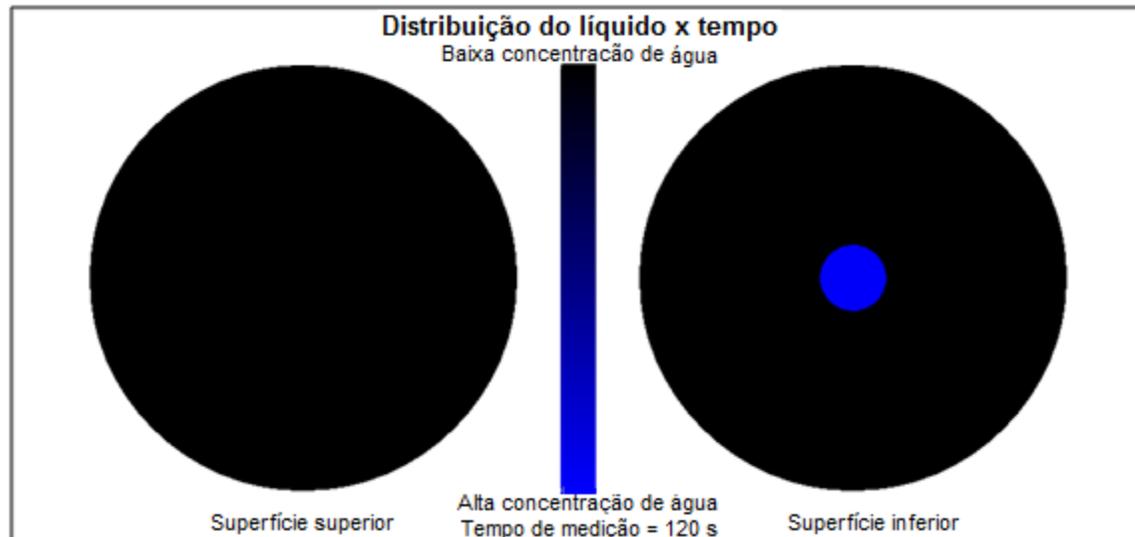
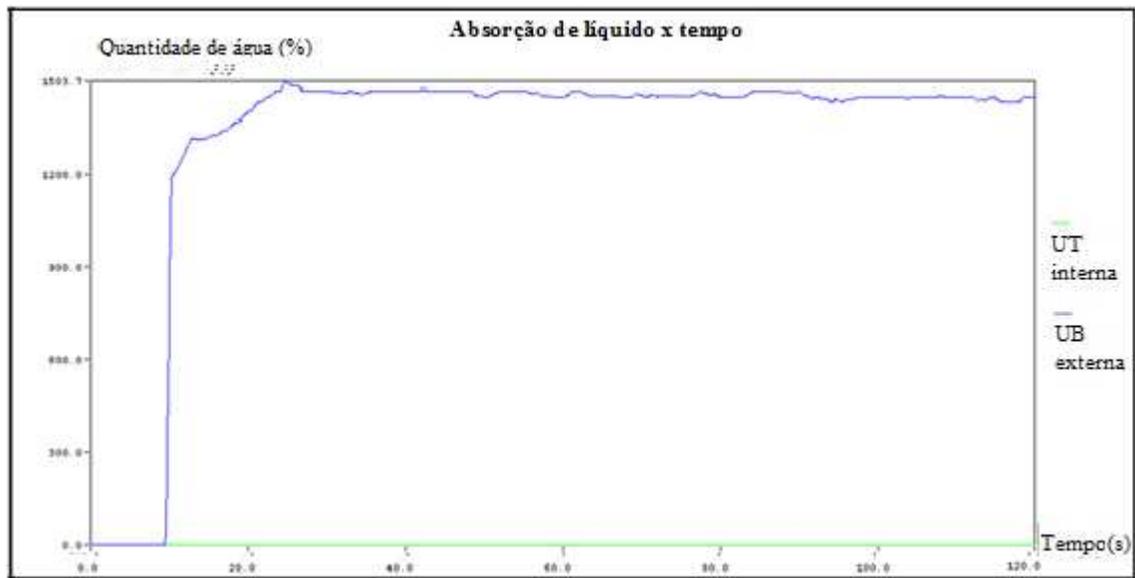


Figura 33. Tecido com penetração de líquido
 Fonte: Manual do aparelho MMT

- **Tecido com gestão da umidade:** Nesse último comportamento nota-se que o tecido teve rápida e média absorção, difusão rápida em uma grande área na superfície interior. Ótimo transporte de líquido na superfície inferior do tecido

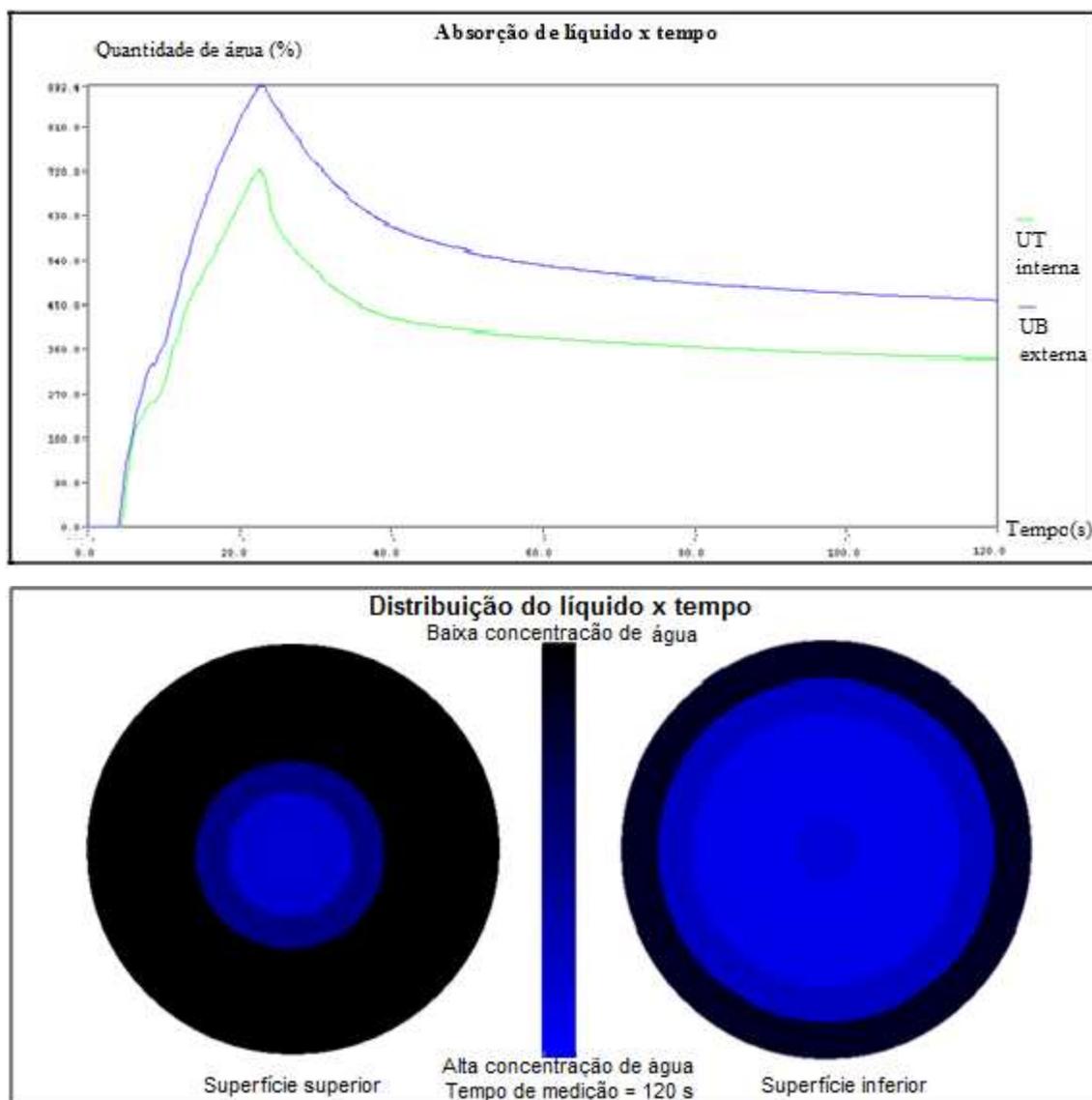


Figura 34. Tecido com gestão da umidade
 Fonte: Manual do aparelho MMT

Além disso, a partir dos valores fornecidos pelo aparelho é possível obter uma classificação com graus distribuídos entre 1 a 5 (5 é melhor) para os índices de comportamento fornecidos pelo aparelho conforme mostrado na tabela 3.

Tabela 3. Avaliação dos valores obtidos no MMT

ÍNDICE		GRAU	1	2	3	4	5
Tempo de molhamento (s)	Superfície superior	Wtt	>=120 Não molha	20 ~ 119 Lento	5 ~ 19 Médio	3 ~ 5 Rápido	< 3 Muito rápido
	Superfície Inferior	Wtb					
Taxa de absorção (%/s)	Superfície superior	Art	0 ~ 10 Muito lento	10 ~ 30 Lento	30 ~ 50 Médio	50 ~ 100 Rápido	> 100 Muito rápido
	Superfície Inferior	Arb					
Máximo raio molhado (mm)	Superfície superior	Mwrt	0 ~ 7 Não molha	7 ~ 12 Pequeno	12 ~ 17 Médio	17 ~ 22 Rápido	> 22 Muito rápido
	Superfície Inferior	Mwtb					
Velocidade de difusão (mm/s)	Superfície superior	Sst	0 ~ 1 Muito lento	1 ~ 2 Lento	2 ~ 3 Médio	3 ~ 4 Rápido	> 4 Muito rápido
	Superfície Inferior	Ssb					
Capacidade de transporte em um único sentido (%)		R	< - 50 Muito pobre	-50 ~ 100 Pobre	100 ~ 200 Bom	200 ~ 400 Muito bom	> 400 Excelente
Capacidade global de gestão da umidade		OMMC	0 ~ 0,2 Muito pobre	0,2 ~ 0,4 Pobre	0,4 ~ 0,6 Bom	0,6 ~ 0,8 Muito bom	> 0,8 Excelente

Fonte: Adaptado do manual do aparelho MMT

Baseado nessas notas é fornecido um diagrama mostrando a classificação dos vários índices avaliados, conforme mostrado na Figura 35. Este diagrama também fornece a classificação da performance do tecido dentre os tipos que o MMT distingue. A partir das notas atribuídas aos comportamentos avaliados, o tecido exemplificado teve sua performance classificada como “tecido com gestão de umidade”.

IMPRESSÃO DIGITAL DAS PROPRIEDADES DE GESTÃO DE UMIDADE

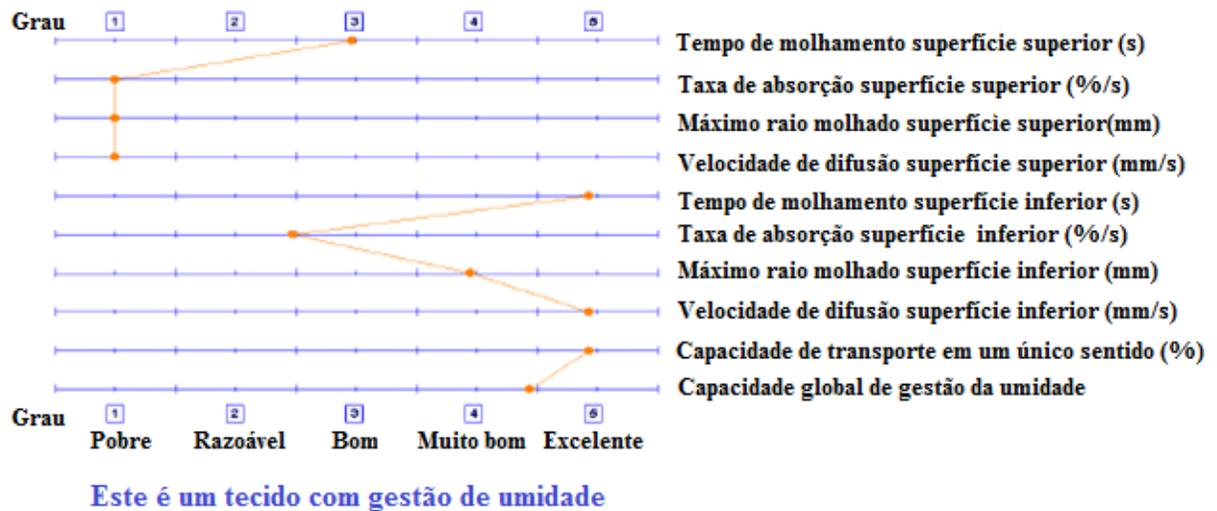


Figura 35. Diagrama a partir da classificação dos resultados de teste no aparelho MMT.
 Fonte: Software do aparelho MMT.

O método de teste MMT foca a distribuição da umidade (líquido) nas duas faces do tecido, além da capacidade de transporte de uma face para outra, com a amostra em estado plano e visa permitir a avaliação dos tecidos em peças de vestuário, tal como seriam expostos a umidade líquida presentes na superfície da pele humana. Ele não mede as propriedades de transporte de umidade na forma de vapor nem o tempo de secagem do material, que também influenciam a percepção humana de conforto. Por isso, dependendo do tipo de aplicação a ser avaliada, necessita ser complementado através de outras avaliações, pois este método de teste, por si só, não oferece uma classificação geral do conforto de uma peça ou produto têxtil.

CAPÍTULO 3. MATERIAS E MÉTODOS

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são descritos os materiais e a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho.

Os tópicos resumem-se em:

- Especificação dos fios utilizados;
- Característica do tear plano onde os tecidos foram produzidos;
- Caracterização dos tecidos planos;
- Métodos dos ensaios de avaliação dos tecidos: transporte de umidade, capilaridade, permeabilidade ao vapor e permeabilidade à água.

3.2 MATERIAIS

Neste estudo, os itens levados em consideração para avaliação das propriedades exigidas restringem-se à estrutura do tecido e ao fio, comparando-se filamentos contínuos e microfibras.

Foram produzidos tecidos com a mesma configuração no urdume e variações nos ligamentos e no título dos filamentos dos fios de trama.

3.2.1. Fios utilizados

Para a produção dos tecidos, foram selecionados os fios:

Fios de urdume:

100% PES 167f48//2 dtex

Fios de trama:

- 100% PES 167f96 dtex
- 100% PES 167f144 dtex
- 100% PES 167f 288 dtex

Visando facilitar a interpretação dos resultados, ao invés do título do fio, onde se expressa a quantidade de filamentos que ele contém, serão utilizados os títulos dos filamentos em dtex. Como o título dtex pertence ao sistema direto, quanto menor o valor em dtex, menor será seu diâmetro, portanto mais fino será o filamento.

Para o cálculo do título do filamento, dividir o título do fio pela quantidades de filamentos que o compõe, conforme demonstrado na equação 34:

$$\text{Título do filamento (dtex)} = \frac{\text{título do fio (dtex)}}{\text{número de filamentos}} \quad (34)$$

Simplificando ainda mais a maneira de expressar este título, pode-se utilizar a sigla Dpf, que significa “dtex por filamento”, ou seja, o título dos filamentos em dtex, calculado pela mesma relação da equação 35:

$$Dpf = \frac{\text{título do fio (dtex)}}{\text{número de filamentos}} \quad (35)$$

Para o fio 100% PES 167f96 dtex, o dpf será:

$$Dpf = \frac{167 \text{ dtex}}{96} = 1,74 \text{ dtex} \quad (36)$$

Para o fio 100% PES 167f144 dtex, o dpf será:

$$D_{pf} = \frac{167 \text{ dtex}}{144} = 1,16 \text{ dtex} \quad (37)$$

Para o fio 100% PES 167f 288 dtex, dpf será:

$$D_{pf} = \frac{167 \text{ dtex}}{288} = 0,58 \text{ dtex} \quad (38)$$

3.2.2. Ligamentos utilizados

Os tecidos foram fabricados em dois tipos de ligamentos:

- Tela
- Sarja 3/1

As especificações listadas na tabela 4 , referem-se ao tear de lançadeira no qual foram produzidos os tecidos.

Tabela 4. Especificações do tear

Dados do Tear	
Marca / Modelo	Ribeiro / RCS-4
Tipo de Inserção de trama	Lançadeira
Número de quadros	4
Fios / quadro	569
Fios de urdume	2276
Número do pente	9
Fios / pua	2
Tipo de passamento	Seguido
Largura útil	163 cm
Largura em pente	146,5 cm

Fonte: autor

3.2.3. Caracterização do tecido

A caracterização dos tecidos planos tem importância da avaliação dos parâmetros estudados neste trabalho. Aferiu-se a espessura e a gramatura de cada tecido plano de acordo com os procedimentos das normas:

- Espessura

Norma: ASTM D 1777 - *Thickness of textile materials*.

Pressão utilizada: 100 cN/cm²

- Gramatura

Norma: ASTM D 3776 - *Mass per unit area (weight) of woven fabric materials*.

- Densidade dos fios

Norma: ASTM D 3775 - *Fabric Count of Woven Fabric*.

A Tabela 5 mostra os parâmetros de caracterização do tecido. Os resultados demonstram que os tecidos possuem características semelhantes, permitindo a comparação dos resultados nos parâmetros avaliativos.

Tabela 5. Caracterização dos tecidos

Ligamento	Título do Filamento (dtex)	Espessura média (mm)	Gramatura média (g/m ²)	Densidade (fios/cm)	
				urdume	Trama
Tela	0,58	0,254	132,96	27	17
	1,16	0,255	133,22	27	17
	1,74	0,248	133,9	26	16
Sarja	0,58	0,276	134,78	25	17
	1,16	0,263	132,2	25	17
	1,74	0,279	133,96	26	16

- Microscopia

Os tecidos foram fotografados através do microscópio portátil da marca Dinolite, com aumento de 60 x, para uma avaliação qualitativa de comparação da aparência visual, englobando a sua estrutura e os espaços entre os fios.

As imagens obtidas (Figura de 36 a 41) mostram que, além da alteração pertinente ao ligamento, não se percebe variação no aspecto visual dos tecidos planos analisados.



Figura 36. Microscopia tela – dpf = 0,58



Figura 37. Microscopia tela – dpf = 1,16

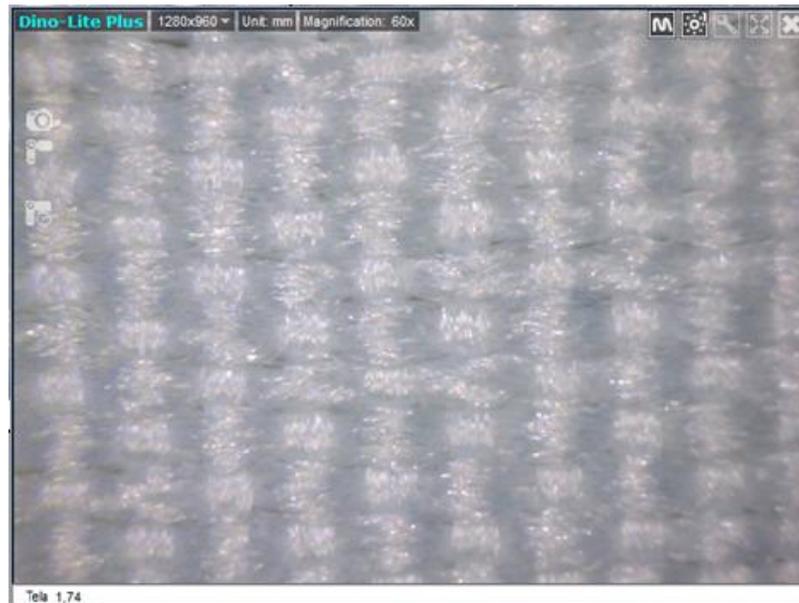


Figura 38. Microscopia tela – dpf = 1,74



Figura 39. Microscopia sarja – dpf = 0,58



Figura 40. Microscopia Sarja – dpf = 1,16



Figura 41. Microscopia sarja – dpf = 1,74

3.2.4. Preparação do tecido

Após a produção do tecido, foi realizada uma purga, que é um processo para eliminação das sujidades e óleos oriundos do processo de tecimento.

Os tecidos foram purgados em banho com concentração de 1g/L de detergente e solvente. O processo de purga foi aplicado durante 30 min, à temperatura de fervura, seguido de dois enxágues com água quente e um enxague com água fria. A secagem e termofixação foram feitas aplicando temperatura de 190° C, através do equipamento denominado Rama.

Tendo esta preparação, os tecidos são classificados como pronto para tingir (PT) e podem ser avaliados sem a interferência de corantes e auxiliares do processo de tingimento.

3.3 MÉTODOS

3.3.1. Determinação do Transporte de Umidade Multidimensional (MMT)

3.3.1.1. Norma

AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS. **AATCC Test Method 195:** *Liquid Moisture Management Properties of Textile Fabrics*. Research Triangle Park. 2010.

3.3.1.2. Objetivo

O objetivo deste ensaio é caracterizar objetivamente a difusão da umidade e as propriedades de transporte de umidade em uma superfície ou entre as superfícies de artigos têxteis, neste caso, tecido plano.

O transporte de umidade multidimensional pode ser influenciado pela matéria-prima, tipo de fio, estrutura do tecido e a presença de acabamentos químicos especiais.

3.3.1.3. Descrição

O princípio de funcionamento, os parâmetros de avaliação e análise dos resultados, foram amplamente discutidos no item 2.6 do capítulo 2.

O aparelho MMT mede o transporte de umidade nos tecidos se baseando em três principais aspectos que são a resistência à água, repelência à água e as características de absorção de água na estrutura do tecido.

Para o ensaio de transporte de umidade foram usados 5 corpos de prova de 8,0 x 8,0 cm no sentido transversal do tecido. Para o ligamento sarja, os tecidos foram posicionados com o efeito de trama na superfície superior, ou seja, os fios com diferentes números de filamentos ficaram em evidência. A característica estrutural do ligamento tela garante uma igualdade às suas duas faces.

O processo de limpeza e avaliação propriamente dita está descrito na tabela 6.

Tabela 6. Principais etapas do ensaio no MMT

Processo	Equipamento	Tempo	Temperatura
Lavagem	Ultrasonic Cleaner	5 min	Ambiente
Secagem	Superfície lisa	24 h	Ambiente
Avaliação	MMT	120 s/ corpo de prova	Ambiente

A Figura 42 mostra a execução do ensaio no MMT.



Figura 42. Execução do ensaio no MMT.
Fonte: apresentação SDL Atlas

3.3.2. Determinação do transporte de líquido por capilaridade

3.3.2.1. Norma

JAPANESE STANDARDS ASSOCIATION. **JIS L 1907**: *Test methods for water absorbency of textiles*. Tokyo. 2011.

3.3.2.2. Objetivo

O objetivo deste ensaio é avaliar a capacidade de um material têxtil, alinhado verticalmente, transportar líquidos ao longo de sua estrutura.

O transporte de líquido por capilaridade, assim como no transporte de umidade multidimensional, pode ser influenciado pela matéria-prima, tipo de fio, estrutura do tecido e a presença de acabamentos químicos especiais.

3.3.2.3. Descrição

A taxa de transporte do líquido é medida nas tiras de tecido, sendo que uma das suas extremidades é fixada verticalmente, enquanto a extremidade oposta entra em contato com o líquido.

Os corpos de prova são cortados no sentido do urdume e trama nas dimensões 20,0 x 2,5 cm. A dimensão maior assume a posição vertical, enquanto os lados com dimensões menores assumem as posições de fixação e contato com o líquido.

Após o tempo pré-estabelecido de 10 min, foi medida a altura da água absorvida pelo corpo de prova por capilaridade em mm. Quanto maior o valor medido, maior a capacidade que o tecido tem de transportar o líquido.

O conjunto de avaliação é composto por um dispositivo para fixar o corpo de prova, um recipiente com água a 20 ± 2 °C, uma escala para a medição e um cronômetro para medição do tempo. A execução do ensaio de transporte por capilaridade é demonstrada na Figura 43.

Os ensaios de capilaridade em tecidos, foram realizados apenas no sentido da trama, em virtude de todos os tecidos terem sido produzidos com um único tipo de fio de urdume, variando-se apenas o número de filamentos e, portanto o dpf dos fios de trama.

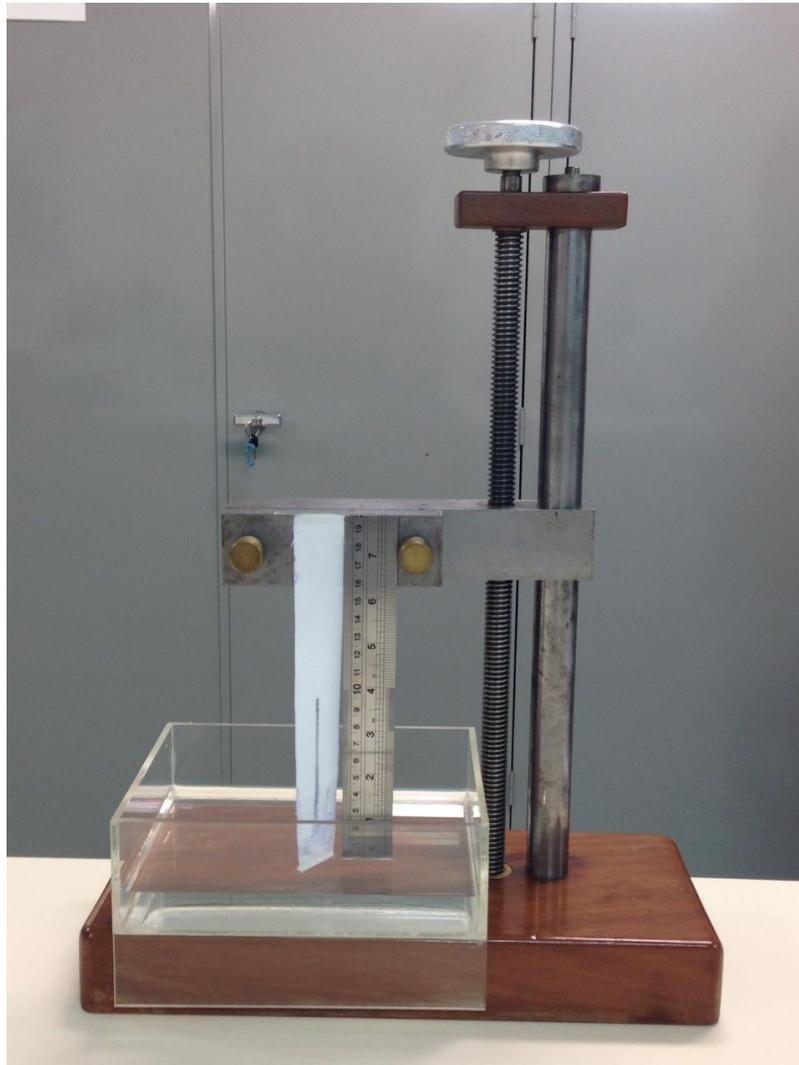


Figura 43. Dispositivo para execução do ensaio de capilaridade.
Fonte: autor

3.3.3. Determinação da Permeabilidade ao Vapor

3.3.3.1. Norma:

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), ASTM E-96/
E96M– *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*, West
Conshohocken, PA, 2012.

3.3.3.2. Objetivo:

O objetivo deste ensaio é determinar a resistência de produtos têxteis à penetração de vapor de água.

3.3.3.3. Descrição:

A avaliação consiste na colocação de determinada quantidade de água numa série de recipientes, os quais são posicionados sobre uma plataforma giratória, sendo metade dos mesmos cobertos com um tecido padrão e a outra metade com este mesmo tecido mais o tecido a ser analisado.

A quantidade de água, conseqüentemente o espaço ocupado pela camada de ar entre a superfície da água e o tecido, deve ser determinada com elevada precisão. O conjunto permanece em movimento por um período mínimo de 12 horas, após o que a quantidade de água perdida é medida por diferença de massa.

O resultado é dado em espessura (mm) de uma camada de ar estável, que apresenta uma resistência à difusão do vapor de água equivalente à do tecido em análise. Caso a análise seja feita em relação ao fluxo contínuo de vapor por unidade de tempo e de área que atravessa o tecido, define-se como taxa de transmissão de vapor (em g/h.m^2).

Exemplo de um aparelho que opera com este princípio é o “*Water Vapour Permeability Tester*” da SDL Atlas *Textile Testing Solutions* (Figura 44).



Figura 44. Equipamento para teste de permeabilidade ao vapor
Fonte: <http://www.sdlatlas.com/product/188/Water-Vapor-Permeability-Tester>

O Equipamento utilizado para o ensaio de permeabilidade ao vapor deste estudo foi o “*Water Vapour Permeability Tester*” da Shirley Developments Limited (Inglaterra), do laboratório da empresa Rhodia Têxtil.

3.3.4. Determinação da Permeabilidade ao Ar

3.3.4.1. Norma:

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), D737-04
Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics, West Conshohocken, PA, 2012.

3.3.4.2. Objetivo:

Este método de ensaio abrange a medição da permeabilidade ao ar dos produtos têxteis. Aplica-se à maioria dos tecidos de malha e tecidos planos, principalmente os projetados para aplicações técnicas, incluindo também os não tecidos.

A permeabilidade ao ar pode também ser utilizada para fornecer uma indicação da respirabilidade dos tecidos resistentes ao clima e à prova de chuva, ou de tecidos revestidos em geral.

3.3.4.3. Descrição:

Este ensaio consiste na medida do fluxo de ar que atravessa o tecido, para um determinado e constante diferencial de pressão aplicado entre suas faces.

O equipamento (Figura 45) tem uma área de abertura circular, na dimensão de 38,3 cm², para a passagem do ar e aplica uma pressão diferencial de 125 Pa.



Figura 45. Equipamento para teste de permeabilidade ao ar
Fonte: http://www.texttest.ch/pages_en/3300-IV_en.htm

O Equipamento utilizado para os ensaio de permeabilidade ao ar deste trabalho estudo foi o *Air Permeability Tester*, modelo FX 3300 LabAir IV, da empresa Textest Ltda. Alocada no laboratório de controle de qualidade da empresa Imbra Têxtil.

3.3.5. Análise estatística

3.3.5.1. Objetivo

Realizar uma análise de variância (ANOVA), dos resultados obtidos nos ensaios de transporte de umidade multidimensional, capilaridade e permeabilidade ao vapor e ao ar, através dos gráficos gerados pelo software Minitab.

3.3.5.2. Descrição

O termo "análise de variância" baseia-se na forma em que o procedimento utiliza variâncias para determinar se as médias são diferentes. O processo funciona comparando a variação entre as médias de vários grupos com a variação dentro dos grupos, como um método para determinar se os grupos são todos parte de uma população maior ou populações distintas com diferentes características.

A hipótese nula afirma que todas as médias são iguais, enquanto que a hipótese alternativa defende que pelo menos uma é diferente:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2, \dots, = \mu_i$$

$H_1 =$ Existe pelo menos uma das médias diferentes

O gráfico de intervalos (*interval plot*) serve para avaliar e comparar as médias e intervalo de confiança, que permitem avaliar as diferenças entre as médias dos grupos em relação à variação dentro do grupo.

Por padrão, os gráficos exibem intervalos de confiança de 95%. Este intervalo, indica que 19 das 20 amostras (95%) da mesma população irão produzir intervalos de confiança que contêm os parâmetros da população.

A Figura 46 mostra dois exemplos de gráficos com diferentes distribuições das barras de intervalos.

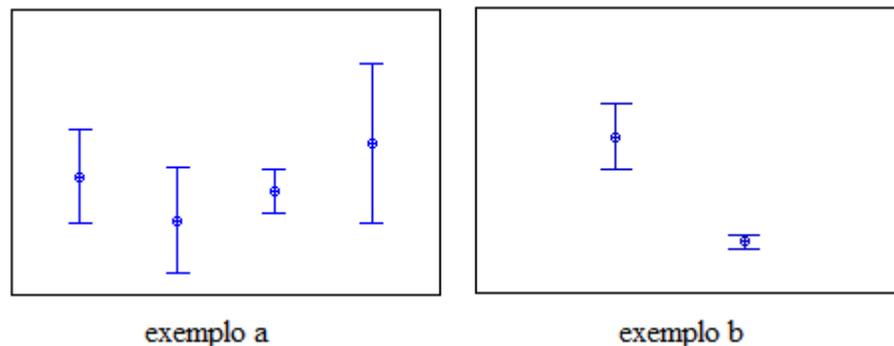


Figura 46. Análise dos resultados através das barras de intervalos
Fonte: tutorial do software Minitab

Enquanto as médias parecem ser diferentes no exemplo a, a diferença não é significativa, provavelmente porque todas as barras de intervalo facilmente seriam sobrepostas ao serem alinhadas. No exemplo b, a diferença entre as médias é significativa, porque as barras de intervalo não seriam sobrepostas.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo aborda os resultados de cada um dos parâmetros avaliados e suas respectivas discussões.

4.1 TRANSPORTE DE UMIDADE MULTIDIMENSIONAL

A partir dos valores fornecidos pelo ensaio MMT, pode-se classificar a performance de um tecido plano em relação as suas propriedades de transporte de umidade, além de verificar a influência dos diferentes ligamentos e do título dos filamentos do fio de trama neste comportamento.

Conforme descrito no capítulo 2, o MMT fornece, além da capacidade global de gestão da umidade, cinco índices de avaliação, porém neste estudo foram utilizados apenas três destes índices, justamente pela correlação existente entre eles.

O índice de “Velocidade de difusão” representa a velocidade de propagação da umidade acumulada nas duas superfícies da amostra em mm/s, a partir do centro até o máximo raio umedecido, portanto trata-se do quociente entre os índices “Máximo raio molhado” e “Tempo de molhamento”, ambos explorados neste trabalho.

O índice “Taxa de absorção” não foi analisado pelo fato do poliéster apresentar, como uma das suas propriedades preponderantes, uma baixa absorção de umidade, tornando este parâmetro menos significativo perante os outros.

4.1.1. Parâmetro tempo de molhamento (MMT)

Os índices WTt (superfície superior) e WTb (superfície inferior), mostram os tempos (segundos) necessários para que as superfícies inferior e superior do tecido comecem a ficar molhadas após o início do teste.

Ligamento Tela

Os valores do parâmetro Tempo de Molhamento, fornecidos pelo MMT, para o tecido produzido em ligamento tela e fio de trama de poliéster com diferentes dpf, estão distribuídos na tabela 7.

Tabela 7. Tempo de molhamento – Ligamento tela

Tela	Dpf 0,58		Dpf 1,16		Dpf 1,74	
	Tempo de molhamento (s) WTt	Tempo de molhamento (s) WTb	Tempo de molhamento (s) WTt	Tempo de molhamento (s) WTb	Tempo de molhamento (s) WTt	Tempo de molhamento (s) WTb
1	5,532	120,000	6,938	120,000	5,812	120,000
2	8,907	118,641	6,657	120,000	6,408	120,000
3	6,844	120,000	6,844	120,000	7,594	114,031
4	5,719	120,000	6,750	120,000	5,718	117,531
5	6,281	120,000	6,375	120,000	7,735	112,266
Média	6,657	119,728	6,713	120,000	6,653	116,766
D. P.	1,359	0,608	0,216	0,000	0,961	3,508
CV	0,204	0,005	0,032	0,000	0,145	0,030

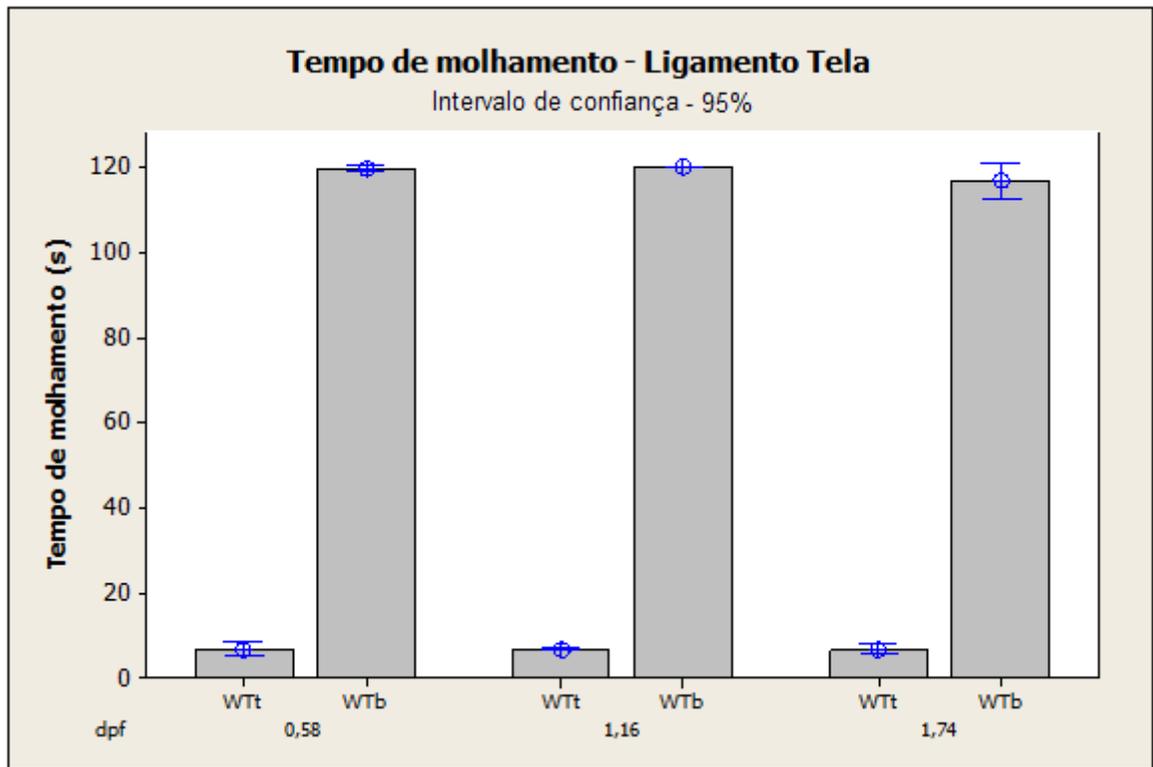


Figura 47. Tempo de molhamento para o ligamento tela
Fonte: software Minitab

Ligamento Sarja

Os valores do parâmetro Tempo de Molhamento, fornecidos pelo MMT, para o tecido produzido em ligamento sarja e fio de trama de poliéster com diferentes dpf, estão distribuídos na tabela 8.

Tabela 8. Tempo de molhamento - ligamento sarja

Sarja	Dpf 0,58		Dpf 1,16		Dpf 1,74	
	Tempo de molhamento (s) WTt	Tempo de molhamento (s) WTb	Tempo de molhamento (s) WTt	Tempo de molhamento (s) WTb	Tempo de molhamento (s) WTt	Tempo de molhamento (s) WTb
1	6,469	120	6,657	120,000	9,281	111,250
2	8,625	120	6,844	120,000	5,437	120,000
3	9,094	120	6,938	120,000	3,156	120,000
4	8,422	119,203	7,687	120,000	3,469	120,000
5	9,094	120	10,125	120,000	9,188	120,000
Média	8,3408	119,8406	7,650	120,000	6,106	118,250
D. P.	1,086924422	0,356429236	1,438	0,000	2,987	3,913
CV	0,130314169	0,002974194	0,188	0,000	0,489	0,033

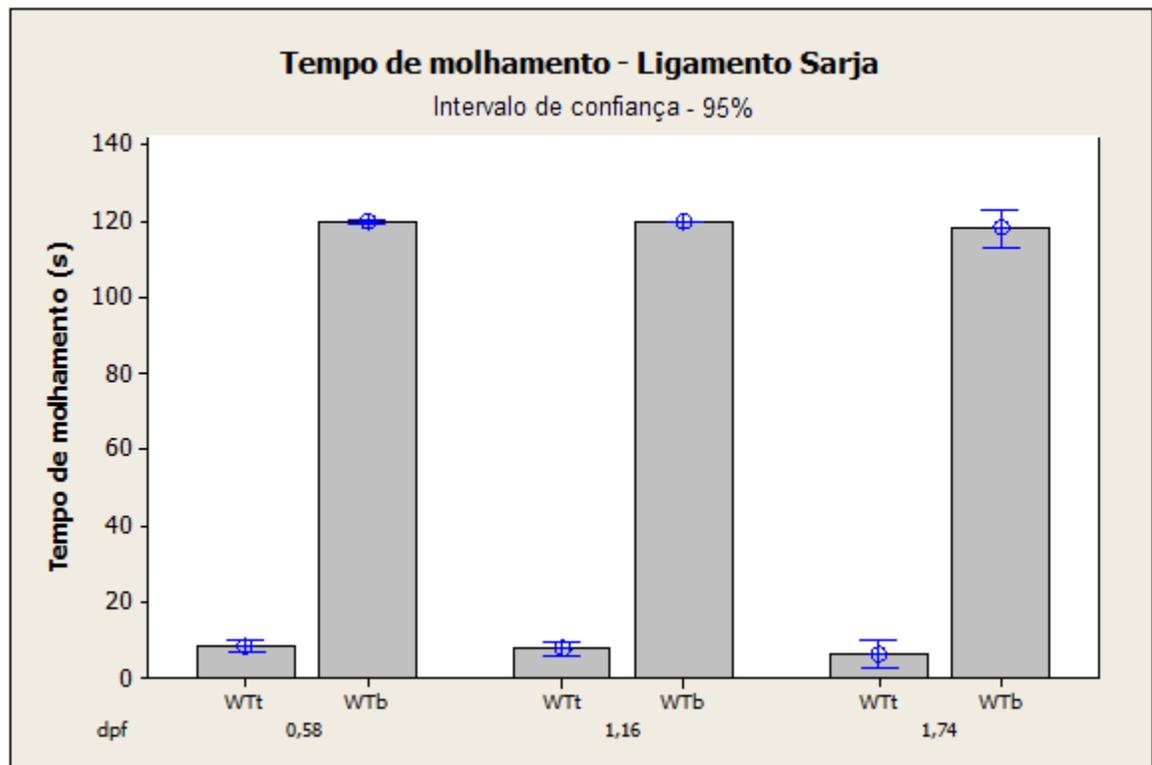


Figura 48. Tempo de molhamento para o ligamento sarja
Fonte: software Minitab

Comparação entre os ligamentos tela e sarja

Representando os valores do tempo de molhamento para os ligamentos tela e sarja no mesmo gráfico, temos:

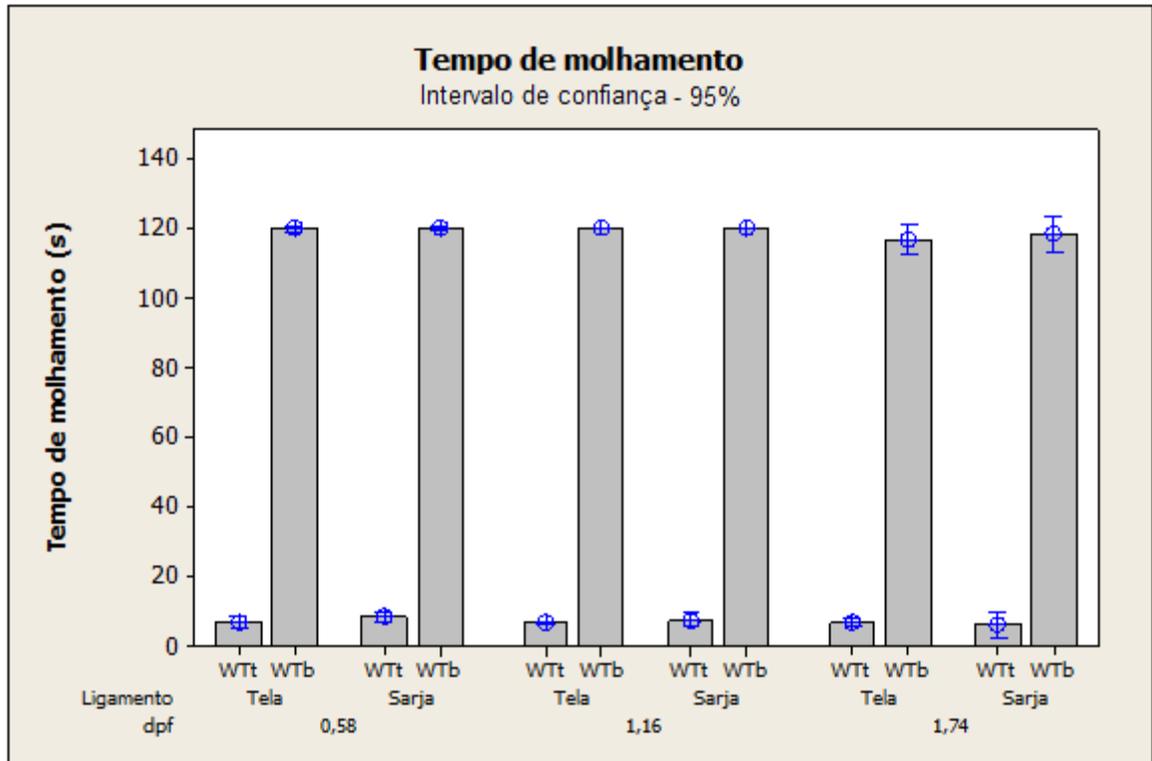


Figura 49. Tempo de molhamento comparativo entre tela e sarja
Fonte: software Minitab

O índice Tempo de molhamento para a superfície superior, tanto para os diferentes ligamentos, quanto para os diferentes dpf 's, foi classificado como “tempo médio” de molhamento, de acordo com a indicação do grau de comportamento proposto no manual do equipamento. Esta classificação significa que a superfície superior demorou de 5 a 19 s para começar a ficar molhada a partir do início do teste.

Por outro lado, o índice tempo de molhamento para a superfície inferior, tanto para os diferentes ligamentos, quanto para os diferentes dpf 's, foi classificado como “não molha”, pois esta superfície não foi molhada ao longo de 120 s, tempo padrão máximo para realização do teste.

Os resultados de cada um dos grupos distintos, formados pelos dois índices, estão inseridos nas condições de um mesmo intervalo de confiança, portanto, não é possível atribuir uma influencia significativa dos ligamentos ou do título dos filamentos do fio de trama utilizados nos parâmetros de transporte de umidade do tecido estudado.

4.1.2. Parâmetro Máximo raio molhado (MMT)

Os valores de MWRt (superfície superior) e MWRb (superfície inferior) representam os raios máximos de difusão do líquido, em mm, nas duas superfícies da amostra e são determinados por um conjunto de anéis concêntricos nas superfícies superior e inferior respectivamente quando a inclinação do teor total de água tornar-se maior que $\tan 15^\circ$.

Ligamento Tela

Os valores do parâmetro Máximo raio molhado, fornecidos pelo MMT, para o tecido produzido em ligamento tela e fio de trama de poliéster com diferentes dpf, estão distribuídos na tabela 9.

Tabela 9. Máximo raio molhado - Ligamento tela

Tela	Dpf = 0,58 Máximo raio molhado (mm)		Dpf = 1,16 Máximo raio molhado (mm)		Dpf = 1,74 Máximo raio molhado (mm)	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
1	5	0	5	0	5	0
2	5	5	5	0	5	0
3	5	0	5	0	5	5
4	5	0	5	0	5	0
5	5	0	5	0	5	5

Os valores do parâmetro Máximo raio molhado, fornecidos pelo MMT para o tecido produzido em ligamento sarja e fio de poliéster com diferentes dpf, estão distribuídos na tabela 10.

Tabela 10. Máximo raio molhado – Ligamento sarja

Sarja	Dpf = 0,58 Máximo raio molhado (mm)		Dpf = 1,16 Máximo raio molhado (mm)		Dpf = 1,74 Máximo raio molhado (mm)	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
1	5	0	5	0	5	5
2	5	0	5	0	5	5
3	5	0	5	0	5	0
4	5	0	5	0	5	0
5	5	0	5	0	5	0

Tanto na tabela 9, quanto na tabela 10, pode-se verificar que todos os valores de máximo raio molhado ficaram entre 0 e 5.

Isto significa que a dispersão da umidade foi medida apenas no primeiro anel concêntrico, indicando que não houve contato da solução teste nos anéis subsequentes.

Exemplificando o ensaio realizado no ligamento tela e $\text{dpf} = 1,16$, o resultado de porcentagem de água ficou concentrado no primeiro anel de leitura da dispersão da água (Figura 50).



Figura 50. Conteúdo de água por anel
Fonte: software do MMT

Complementando a Figura anterior, a Figura 51 mostra o conjunto de gráficos emitidos pelo equipamento, da quantidade de água ao longo do tempo em cada anel de medição. Os dados apresentados demonstram o comportamento de praticamente todos os ensaios realizados com os tecidos estudados neste trabalho.

Absorção de líquido x tempo

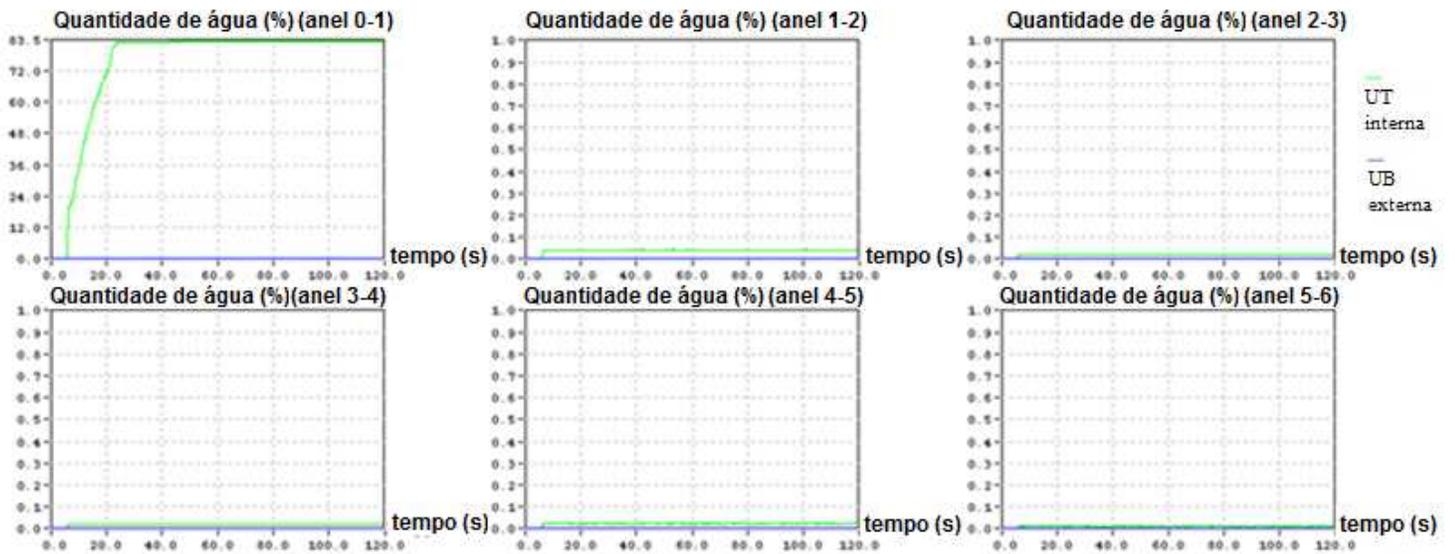


Figura 51. Absorção de líquido em relação ao tempo
 Fonte: software do MMT

Visando facilitar a visualização, o parâmetro Máximo raio molhado foi convertido nos graus de comportamento propostos na norma do equipamento.

ÍNDICE		GRAU	1	2	3	4	5
			Máximo raio molhado (mm)	0 ~ 7	7 ~ 12	12 ~ 17	17 ~ 22
	Superfície superior	Mwrt	Não molha	Pequeno	Médio	Rápido	Muito rápido
	Superfície Inferior	Mwtb					

Tabela 11. Máximo raio molhado – grau de comportamento da tela

Tela	Dpf = 0,58 Máximo raio molhado		Dpf = 1,16 Máximo raio molhado		Dpf = 1,74 Máximo raio molhado	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1

Tabela 12. Máximo raio molhado – grau de comportamento da sarja

Sarja	Dpf = 0,58 Máximo raio molhado		Dpf = 1,16 Máximo raio molhado		Dpf = 1,74 Máximo raio molhado	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1

Os resultados em valores mostram que há uma dispersão da umidade na superfície superior, sem praticamente nenhuma dispersão na superfície inferior.

Por outro lado, os resultados em grau de comportamento, classificam o parâmetro Máximo raio molhado como “não molha”, porque a quantidade de dispersão na superfície superior percebida em valores, não foi suficiente para alterar sua classificação neste grau.

4.1.3. Parâmetro Capacidade de transporte em um único sentido (MMT)

A capacidade de transporte em um único sentido é a diferença da umidade acumulada entre as duas superfícies do tecido considerando um único sentido de transporte (da superfície superior para a inferior), expresso em %.

Ligamento Tela

Os valores do parâmetro Capacidade de transporte em um único sentido, fornecidos pelo MMT, para o tecido produzido em ligamento tela e fio de trama de poliéster com diferentes dpf, estão distribuídos na tabela 13.

Tabela 13. Capacidade de transporte em um único sentido - tela

Capacidade de transporte em um único sentido (%)			
Tela	Dpf 0,58	Dpf 1,16	Dpf 1,74
1	-69,420	-74,087	-87,568
2	-60,734	-71,524	-81,456
3	-72,451	-70,421	-65,467
4	-67,428	-69,818	-73,187
5	-67,558	-67,834	-60,886
Média	-67,518	-70,737	-73,713
D. P.	4,301	2,303	11,008
CV	-0,064	-0,033	-0,149

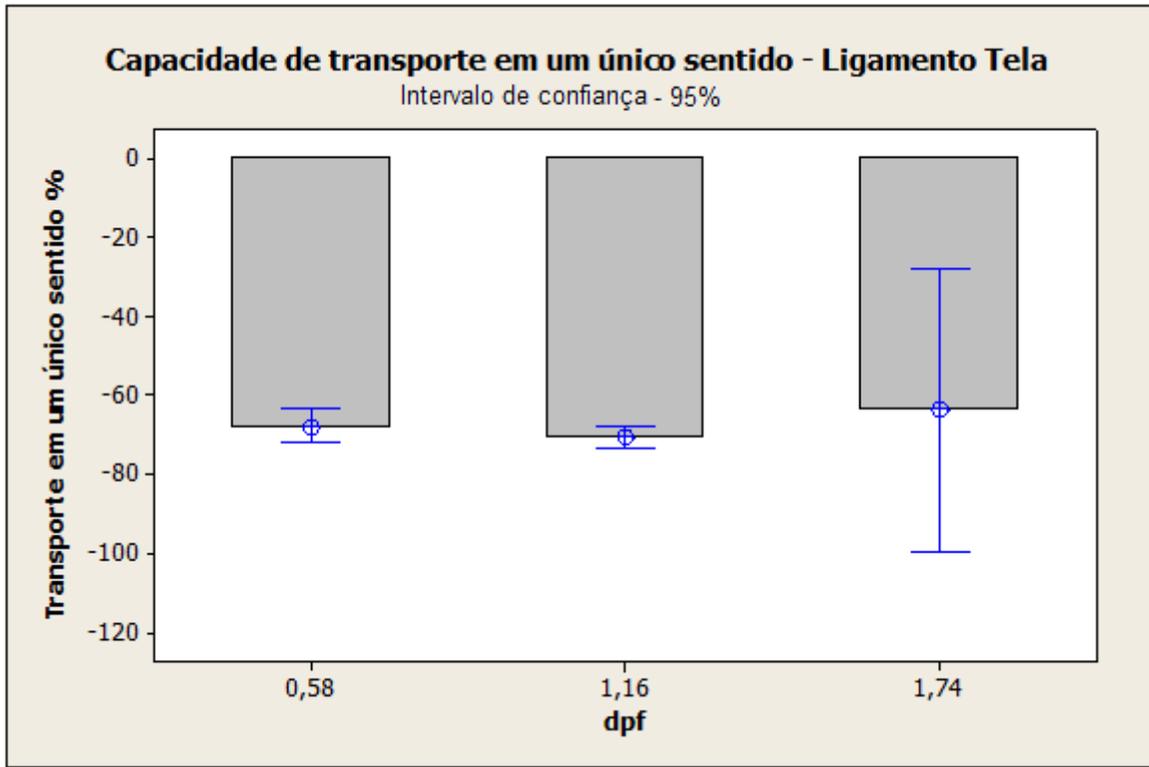


Figura 52. Capacidade de transporte em um único sentido - ligamento tela
 Fonte: software Minitab

Ligamento Sarja

Os valores do parâmetro Capacidade de transporte em um único sentido, fornecidos pelo MMT, para o tecido produzido em ligamento sarja e fio de trama de poliéster com diferentes dpf, estão distribuídos na tabela 14.

Tabela 14. Capacidade de transporte em um único sentido - sarja

Capacidade de transporte em um único sentido (%)			
Sarja	Dpf 0,58	Dpf 1,16	Dpf 1,74
1	-71,186	-71,524	-73,412
2	-68,831	-70,421	-74,504
3	-53,287	-74,087	-145,467
4	-69,923	-73,069	-105,351
5	-86,901	-75,717	-82,126
Média	-70,026	-72,964	-96,172
D. P.	11,914	2,085	30,410
CV	-0,170	-0,029	-0,316

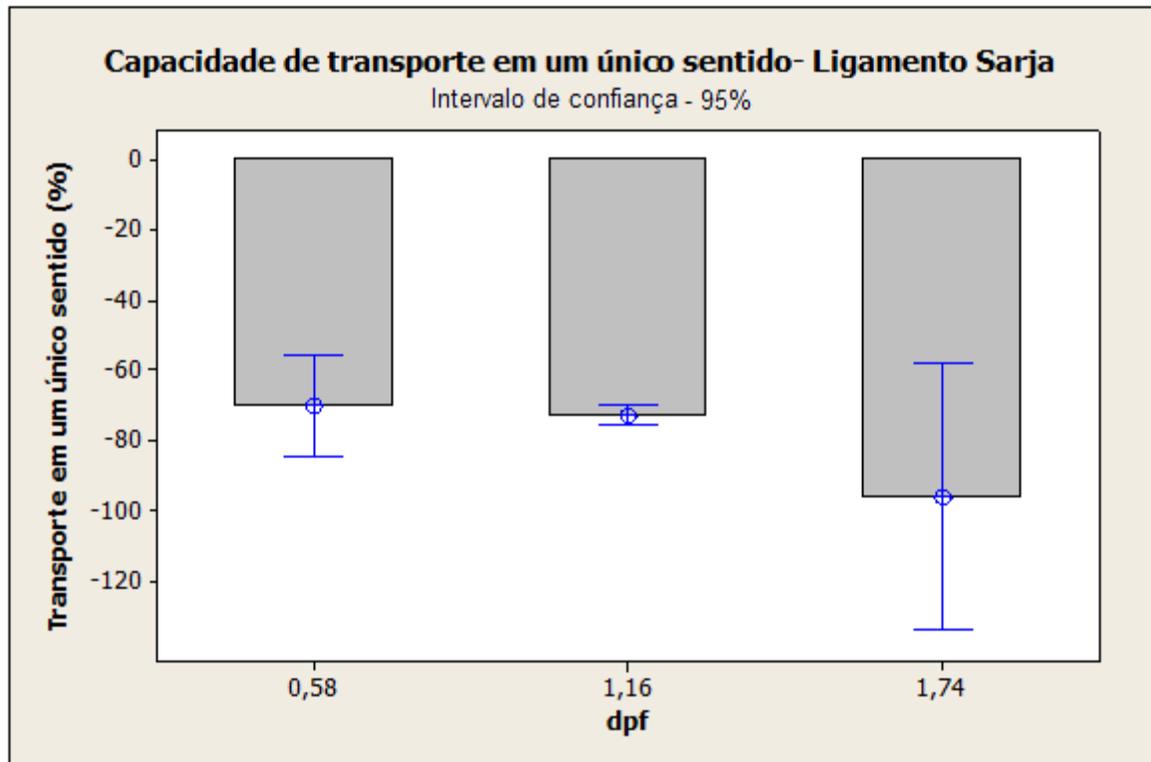


Figura 53. Capacidade de transporte em um único sentido - ligamento sarja
Fonte: software Minitab

Comparação entre os ligamentos tela e sarja

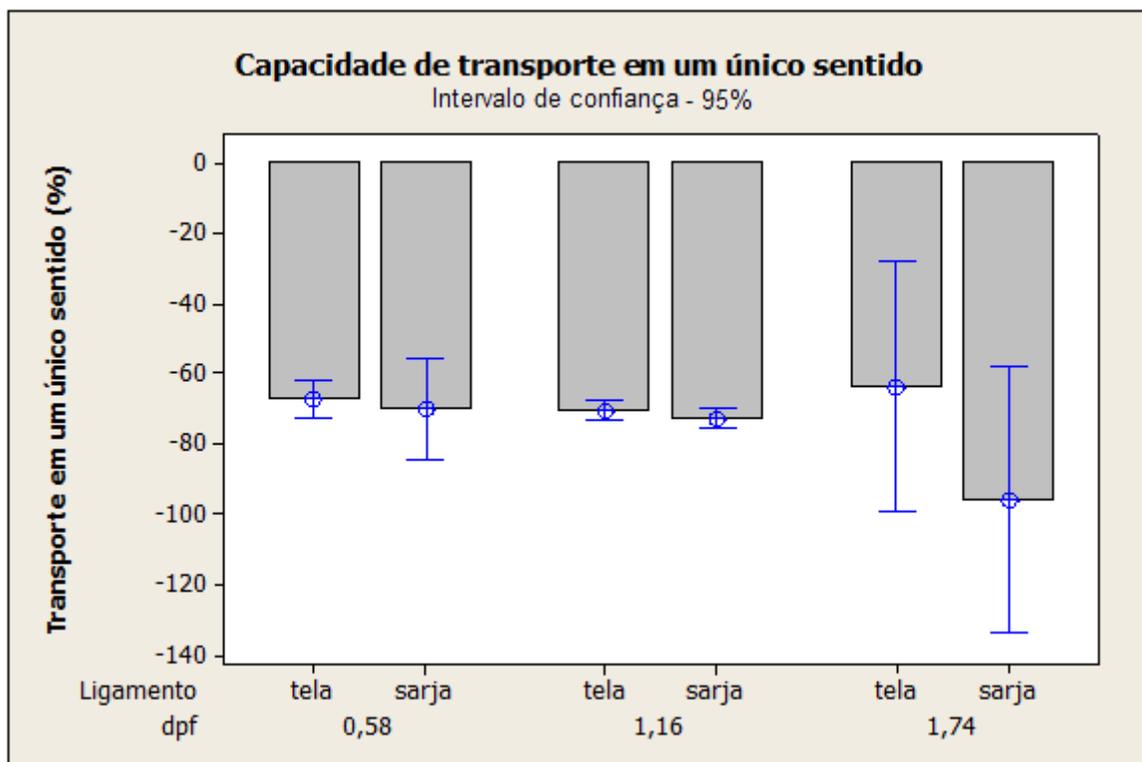


Figura 54. Comparativo da capacidade de transporte em um único sentido
Fonte: software Minitab

O gráfico mostra que, como os resultados estão dentro do mesmo intervalo de confiança, não podem ser considerados estatisticamente diferentes. Esta hipótese se confirma quando analisamos os resultados pelo grau de comportamento do equipamento MMT, conforme apresentado na Figura 55.

ÍNDICE	GRAU	1	2	3	4	5
Capacidade de transporte em um único sentido (%)	R	< - 50 Muito pobre	-50 ~ 100 Pobre	100 ~ 200 Bom	200 ~ 400 Muito bom	> 400 Excelente

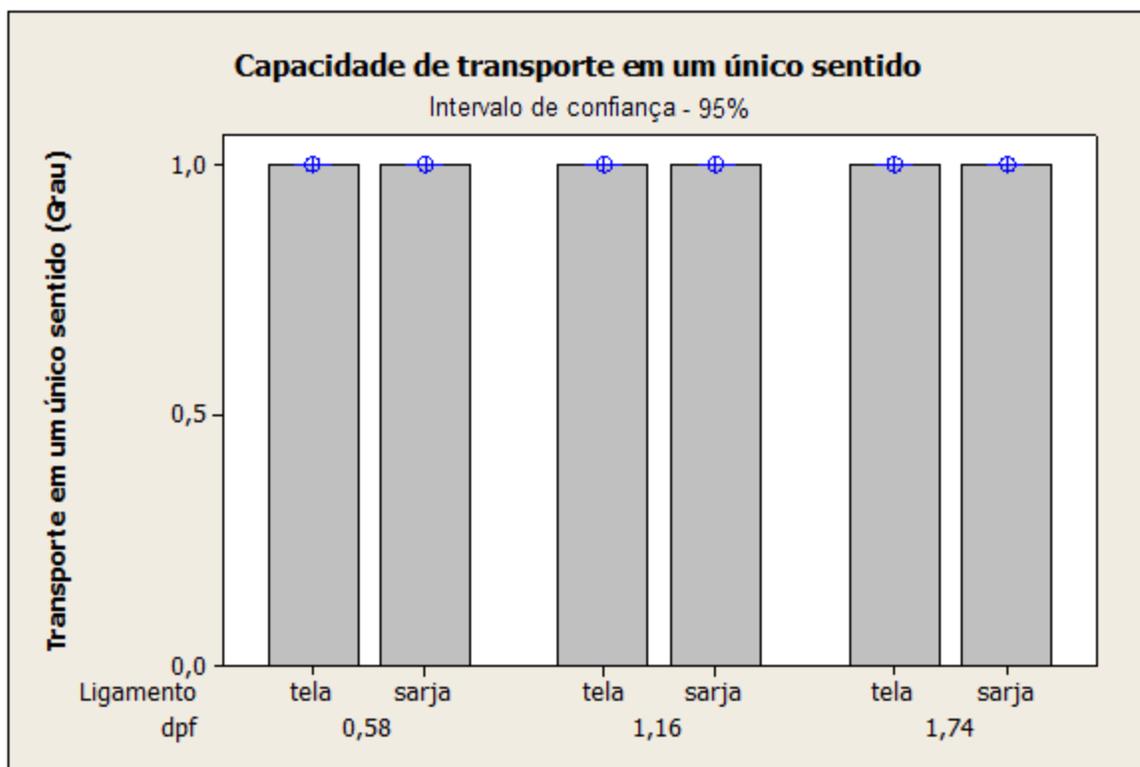


Figura 55. Capacidade de transporte em um único sentido - grau de comportamento
Fonte: software Minitab

4.1.4. Conclusões sobre o transporte de umidade multidimensional

Os resultados dos parâmetros fornecidos pelo MMT possibilitaram a construção de um diagrama com a avaliação única de cada tecido, ou como definido pelo software de avaliação do MMT, a impressão digital do tecido.

Nos casos dos tecidos avaliados, mesmo não constatando estatisticamente a influência dos ligamentos e números de filamentos, todos tiveram suas performances enquadradas na categoria de “tecido à prova d’água” (Figura 56), pois não houve transporte transversal de líquido, apresentando absorção e difusão muito lenta na superfície superior.

IMPRESSÃO DIGITAL DAS PROPRIEDADES DE GESTÃO DE UMIDADE



Figura 56. Tecido à prova d'água.
 Fonte: Software do aparelho MMT

Este comportamento também pode ser visualizado na Figura 57, onde há uma pequena absorção de água na superfície superior, porém não há transporte desta umidade na superfície inferior.

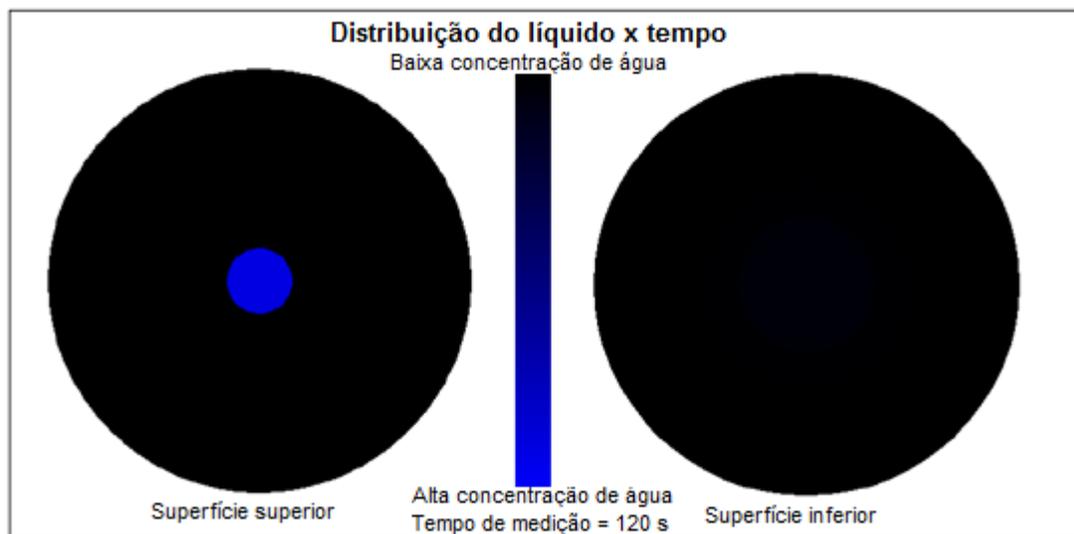


Figura 57. Tecido à prova d'água.
 Fonte: Software do aparelho MMT

4.2 TRANSPORTE DE UMIDADE POR CAPILARIDADE

Conforme mencionado no item n.n, as características de números de filamentos foram alteradas apenas nos fios de trama, portanto, os ensaios de capilaridade foram realizados apenas no sentido destes fios.

Ligamento Tela

A tabela 15 mostra os valores do ensaio de capilaridade para o tecido produzido em ligamento tela e os fios de trama de poliéster com dpf= 0,58, 1,16 e 1,74.

Tabela 15. Capilaridade ligamento tela

Tela	Dpf 0,58	Dpf 1,16	Dpf 1,74
1	81	75	40
2	79	65	45
3	85	78	46
4	81	71	44
5	82	65	45
Média	81,6	70,8	44
D.P.	2,19089	5,84808	2,34521
C.V.	0,02685	0,08260	0,05330

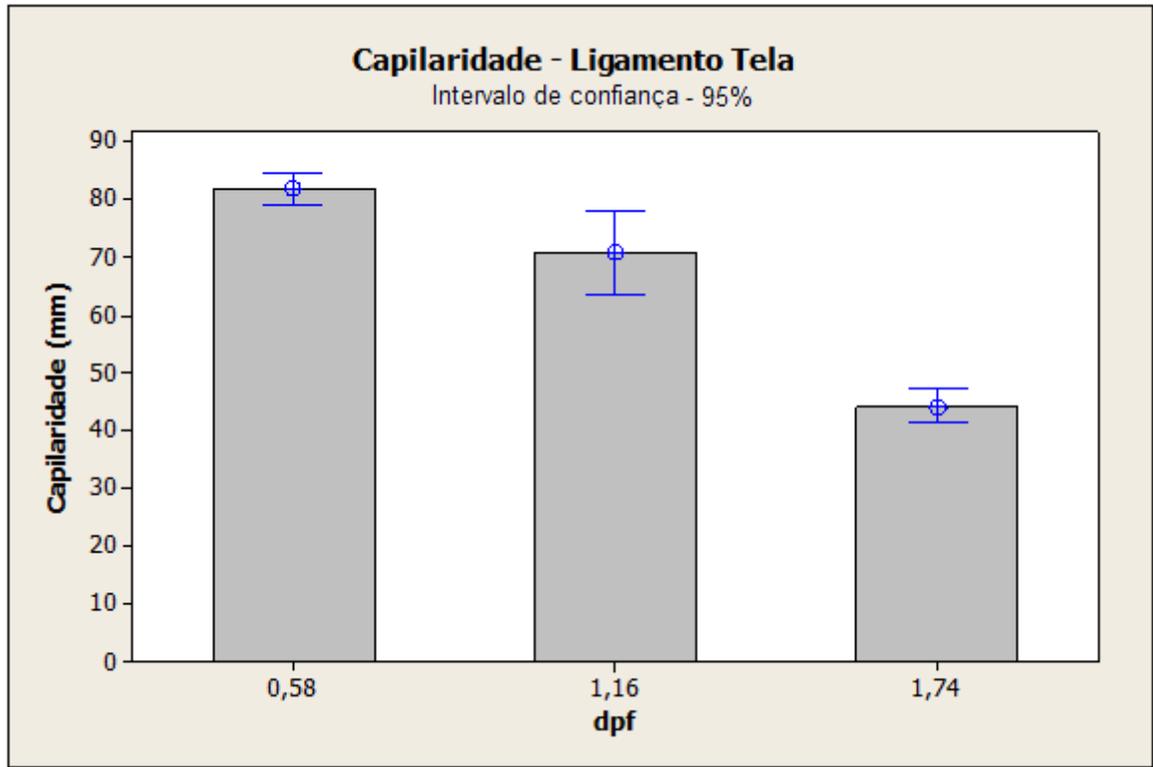


Figura 58. Capilaridade - ligamento tela
Fonte: software Minitab

Ligamento Sarja

A tabela 16 mostra os valores do ensaio de capilaridade para o tecido produzido em ligamento sarja e os fios de trama de poliéster com dpf= 0,58, 1,16 e 1,7

Tabela 16. Capilaridade ligamento sarja

Sarja	Dpf 0,58	Dpf 1,16	Dpf 1,74
1	45	36	19
2	50	30	16
3	40	29	29
4	54	20	25
5	53	21	24
Média	48,4	27,2	22,6
D.P.	5,85662	6,68581	5,12835
C.V.	0,12100	0,24580	0,10596

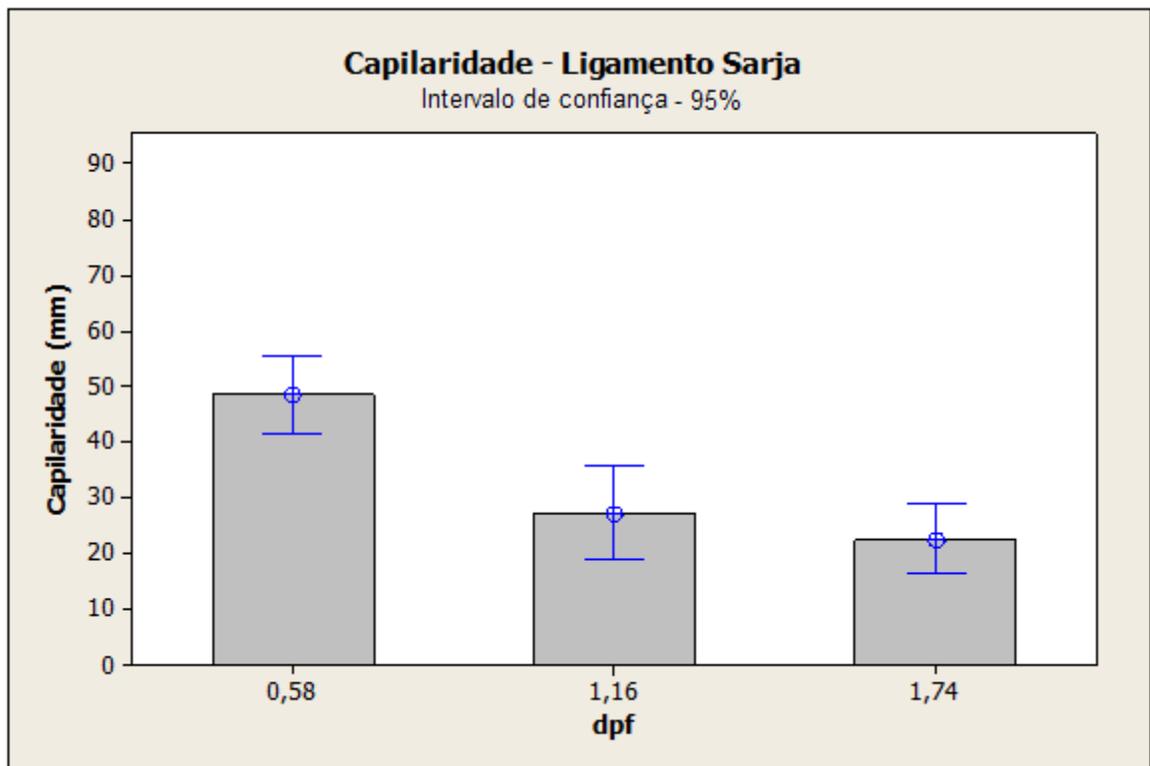


Figura 59. Capilaridade - ligamento sarja
Fonte: software Minitab

Comparativo entre os ligamentos tela e sarja

Comparativamente, a Figura 60 mostra os dados de capilaridade dos ligamentos tela e sarja.

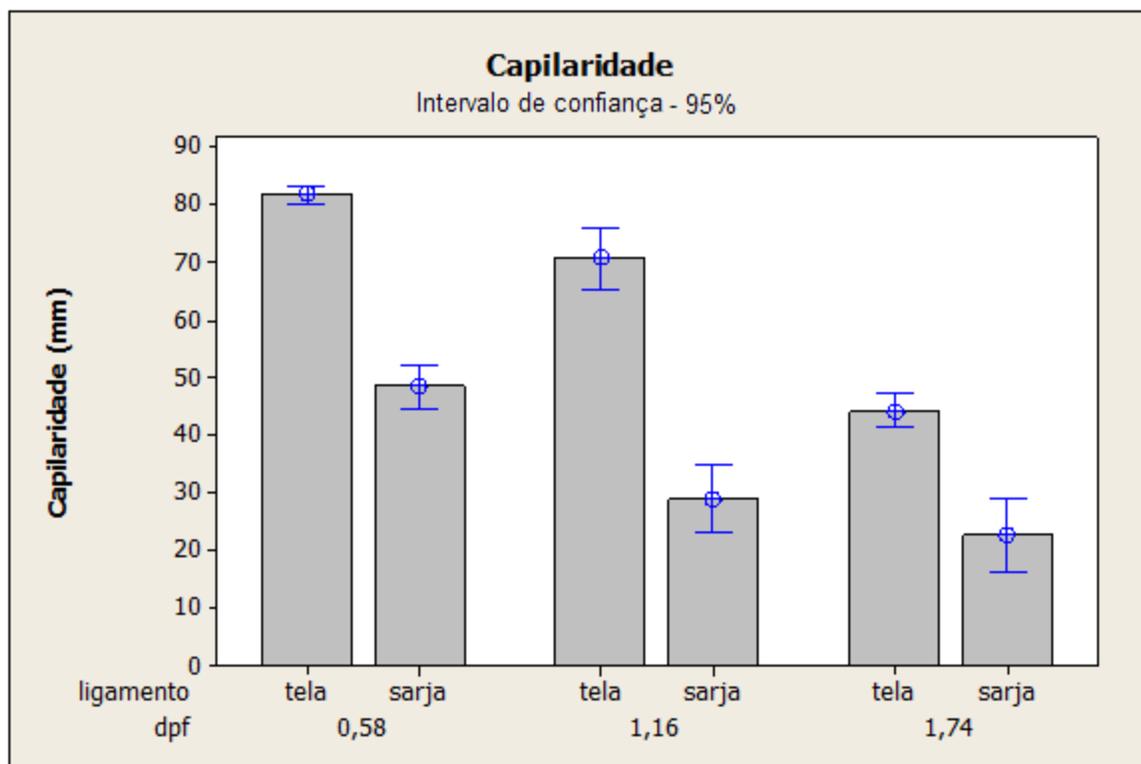


Figura 60. Capilaridade - ligamentos tela e sarja
Fonte: software Minitab

O ligamento tela, aliado ao dpf = 0,58, alcançou a maior altura após o tempo padrão do ensaio (10 min), seguido pelo comportamento do ligamento tela aliado ao dpf 1,16.

Mesmo o ligamento sarja tendo apresentado menores alturas de capilar que a tela, destaca-se também o comportamento do dpf= 0,58.

4.2.1. Conclusões sobre capilaridade

Normalmente os fatores que mais interferem no transporte de umidade são a matéria-prima, características dos fios e os espaços vazios gerados pela estrutura do tecido plano.

Como o fator matéria-prima está restrito a utilização da fibra de poliéster e as densidades dos tecidos foram as mesmas, o título dos filamentos dos fios de trama e os ligamentos são os fatores de maior influência sobre os tecidos estudados.

As maiores alturas resultaram do $dpf = 0,58$, que por ser menor que 1 dtex, se caracteriza como microfibras e garante uma maior capilaridade ao tecido.

O ligamento tela, por ter menos espaços vazios que o ligamento sarja, gerou uma capilaridade maior.

4.3 PERMEABILIDADE AO VAPOR

Ligamento tela

A tabela 17, mostra a média dos resultados obtidos no ensaio de permeabilidade ao vapor para o ligamento tela.

Tabela 17. Permeabilidade ao vapor para o ligamento tela

Tela	Transmissão de vapor ($g/h.m^2$)			
	Dpf	0,58	1,16	1,74
Média amostra 1		36,83558	31,97664	31,24445
Média amostra 2		34,44136	33,83290	34,25836
Média total		35,63847	32,90477	32,75140
D.P.		1,69297	1,31257	2,13116
C.V.		0,04750	0,03989	0,06507

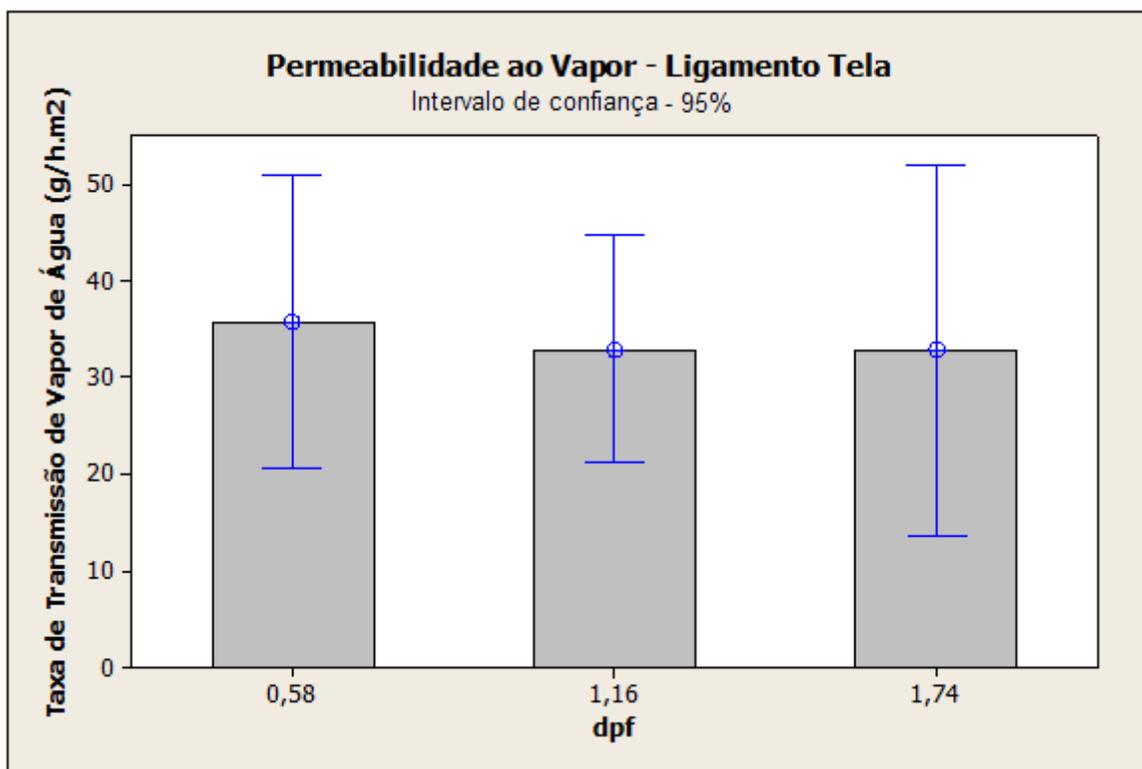


Figura 61. Permeabilidade ao vapor ligamento tela
Fonte: software Minitab

Ligamento Sarja

A tabela 18, mostra a média dos resultados obtidos no ensaio de permeabilidade ao vapor para o ligamento sarja.

Tabela 18. Permeabilidade ao vapor para o ligamento sarja

Sarja	Transmissão de vapor (g/h.m ²)			
	Dpf	0,58	1,16	1,74
Média amostra 1		32,25172	33,18579	32,55047
Média amostra 2		33,21056	33,39633	31,96374
Média total		32,73114	33,29106	32,25711
D.P.		0,67800	0,14887	0,41488
C.V.		0,02071	0,00447	0,01286

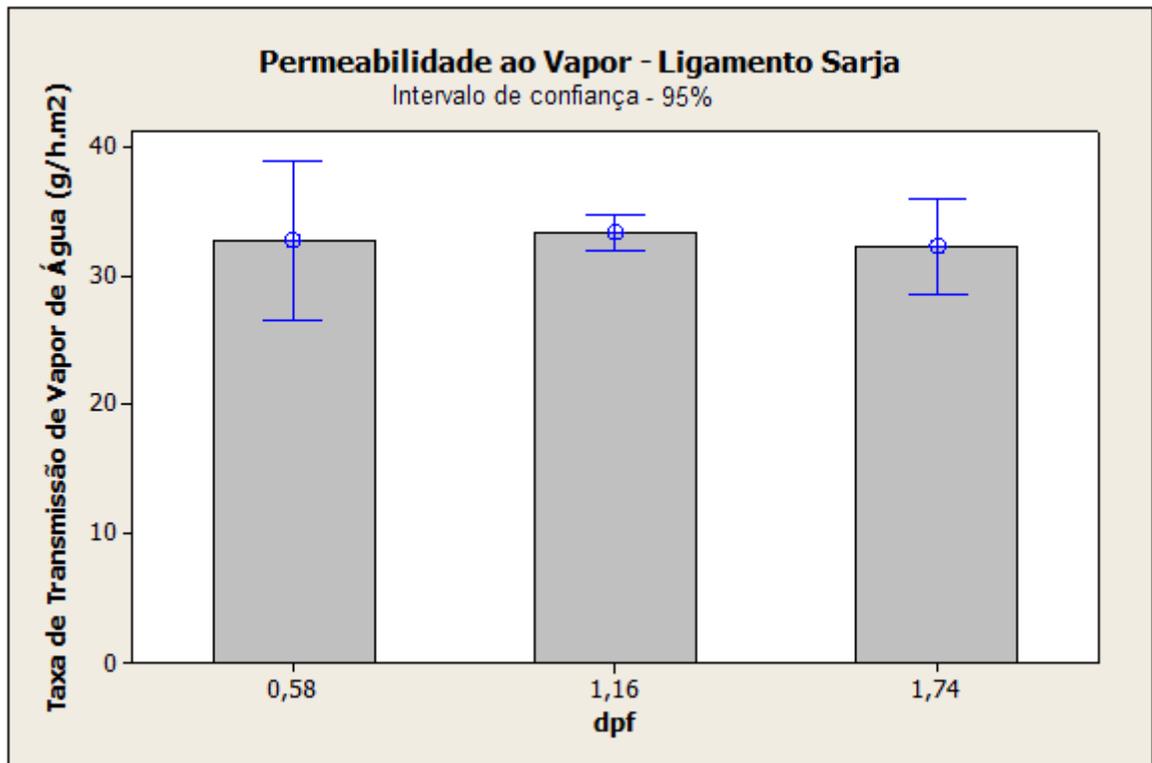


Figura 62. Permeabilidade ao vapor ligamento sarja
Fonte: software Minitab

Comparativo entre ligamento tela e sarja

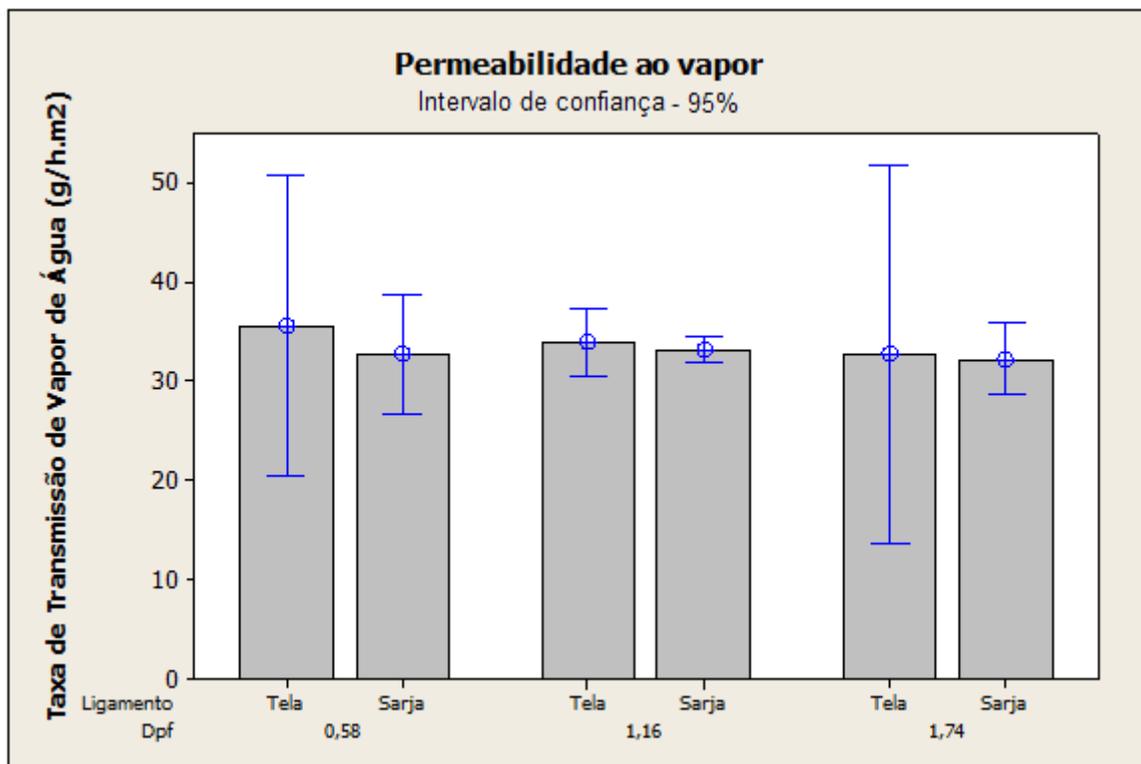


Figura 63. Permeabilidade ao vapor - ligamentos tela e sarja
Fonte: software Minitab

Os valores médios da taxa de transmissão de vapor de água são aparentemente muito próximos. Esta proximidade se confirma pelas amplitudes das barras dos intervalos de confiança, demonstrando que são estatisticamente semelhantes.

4.3.1. Conclusões sobre permeabilidade ao vapor

Um dos fatores que mais afeta as propriedades de transmissão de vapor é a matéria-prima e conseqüentemente seu regain. Mesmo variando outros parâmetros, os tecidos foram produzidos com fios 100% poliéster, ou seja, mesma composição

Pelos resultados apresentados, não se pode atribuir a influência dos ligamentos, nem do título dos filamentos nas propriedades relacionadas ao transporte de vapor de água dos tecidos estudados.

Comparando-se com os resultados obtidos na avaliação de malhas para prática esportiva (GASI,2010) encontraram-se valores dentro da mesma ordem de grandeza, portanto pressupõe-se que, mesmo não tendo sido influenciado pelos parâmetros explorados neste trabalho, os tecidos apresentam permeabilidade ao vapor eficiente.

4.4 PERMEABILIDADE AO AR

Ligamento tela

A tabela 19 mostra os valores do ensaio de permeabilidade ao ar para o tecido plano produzido com o ligamento tela.

Tabela 19. Permeabilidade ao ar – Ligamento Tela

Tela	Permeabilidade ao ar (ft ³ /min/ft ²)			
	Dpf	0,58	1,16	1,74
1		28	32	28
2		29	32	28
3		30	32	26
4		30	32	26
5		30	32	25
Média		29,4	32	26,6
D.P.		0,89443	0,00000	1,34164
C.V.		0,03042	0,00000	0,05044

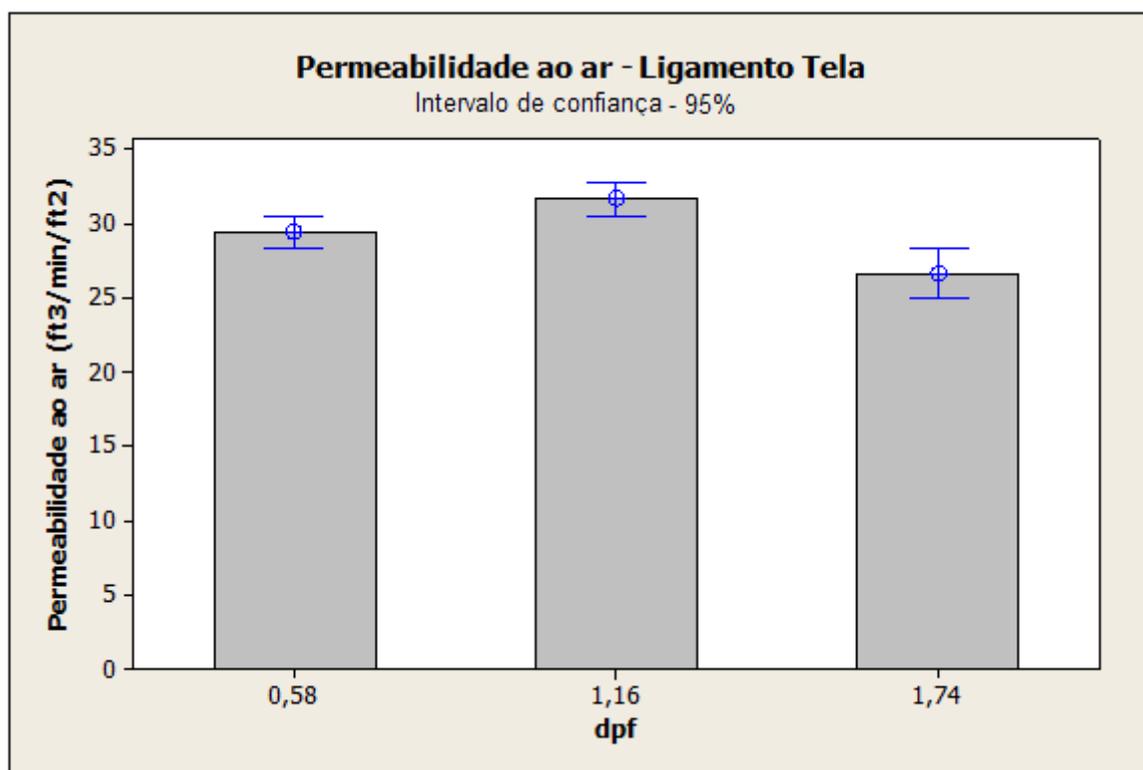


Figura 64. Permeabilidade ao ar para o ligamento tela
 Fonte: software Minitab

Ligamento Sarja

A tabela 20 mostra os valores do ensaio de permeabilidade ao ar para o tecido plano produzido com o ligamento sarja.

Tabela 20. Permeabilidade ao ar – Ligamento Sarja

Sarja	Dpf	Permeabilidade ao ar (ft³/min/ft²)		
		0,58	1,16	1,74
1		64	56	58
2		64	58	59
3		62	58	59
4		58	56	59
5		62	60	60
Média		62	57,6	59
D.P.		2,44949	1,67332	0,70711
C.V.		0,03951	0,02905	0,01198

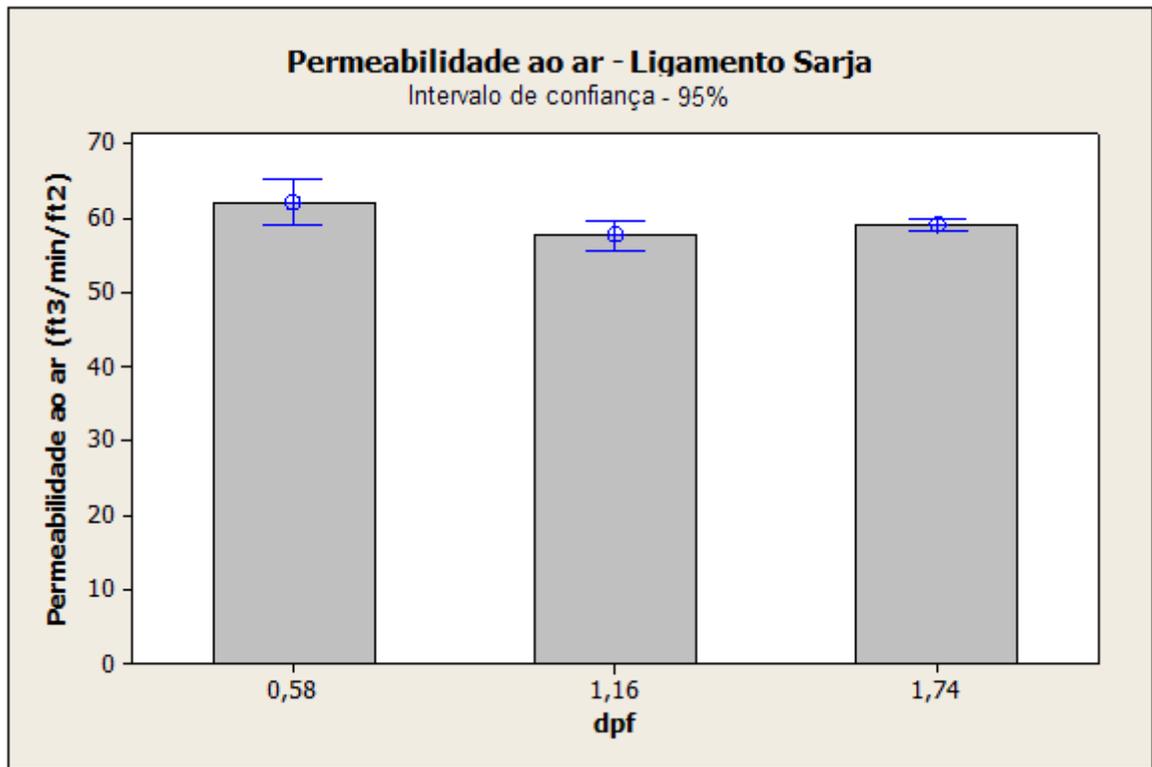


Figura 65. Permeabilidade ao ar para o ligamento sarja
Fonte: software Minitab

Comparativo entre ligamentos tela e sarja

A Figura 66 mostra os valores do ensaio de permeabilidade ao ar para os tecidos planos produzidos com os ligamentos tela e sarja.

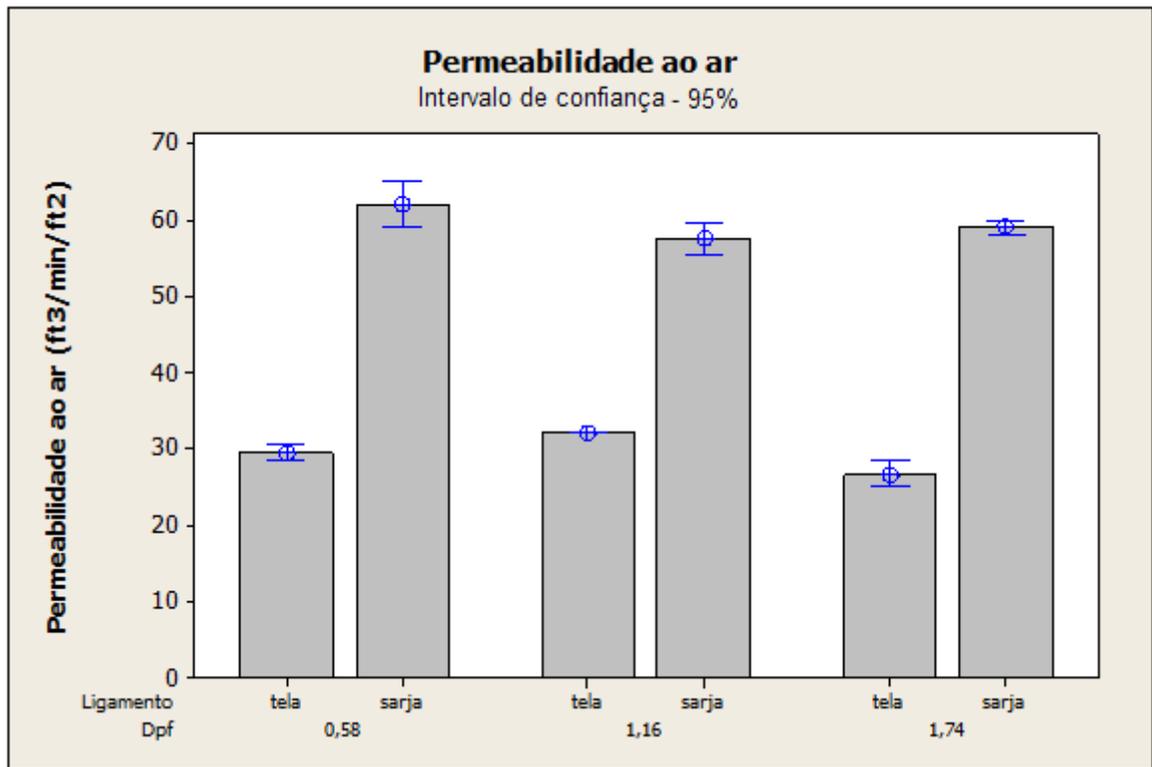


Figura 66. Permeabilidade ao ar - ligamentos tela e sarja
Fonte: software Minitab

Os comportamentos de permeabilidade ao ar estão nitidamente diferentes entre os ligamentos. Os resultados não pertencem ao mesmo intervalo de confiança.

Quanto ao título dos filamentos, tanto para tela quanto para sarja, os resultados estão agrupados sob mesmo intervalo de confiança, não comprovando estatisticamente sua influência neste parâmetro.

4.4.1. Conclusões sobre a permeabilidade ao ar.

O fator de maior influência no parâmetro de permeabilidade ao ar é o ligamento, constatado através da análise do gráfico comparativo entre os ligamentos tela e sarja.

O ligamento tela, por ter uma estrutura mais entrelaçada e estável, permitiu uma menor passagem de ar do que o ligamento sarja, que se caracteriza por uma estrutura menos entrelaçada e mais flexível.

CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES

Os parâmetros de transporte de umidade e permeabilidade estudados neste trabalho são importantes para evitar a condensação de água no vestuário e garantir um melhor desempenho térmico, funcional e confortável. Os resultados experimentais, obtidos através da análise dos tecidos planos de poliéster produzidos com ligamentos tela e sarja e com diferentes títulos de filamentos nos fios de trama, podem ser resumidos de acordo com os principais parâmetros avaliados:

- Transporte de umidade multidimensional:

Os resultados não demonstraram sofrer influência das variáveis: ligamento e título dos filamentos (dpf), atribuindo-se, provavelmente, à maior influência das características da matéria-prima utilizada.

- Transporte de umidade por capilaridade:

O menor título dos filamentos, configurando a microfibras, aliado ao ligamento tela, favoreceram o transporte da umidade por capilaridade.

- Permeabilidade ao vapor:

Assim como no transporte de umidade multidimensional, a permeabilidade ao vapor não sofreu influência do ligamento e título dos filamentos, sendo provavelmente influenciado pelas características intrínsecas da fibra de poliéster.

- Permeabilidade ao ar:

O ligamento sarja, por apresentar menor quantidade de pontos de ligação em relação à tela, apresentou maior influência na permeabilidade ao ar do que as variáveis relacionadas ao título do filamento.

O resumo da influência dos parâmetros avaliados nas propriedades de conforto está comparado na tabela 21.

Tabela 21. Resumo da influência dos parâmetros:

Propriedades	Parâmetros	Dpf			Ligamento	
		0,58	1,16	1,74	Tela	Sarja
Transporte de umidade multidimensional	=	=	=	=	=	=
Transporte de umidade por capilaridade	↑	↑	↓	↑	↓	
Permeabilidade ao vapor	=	=	=	=	=	
Permeabilidade ao ar	=	=	=	↓	↑	

As propriedades de transporte de umidade multidimensional e de permeabilidade ao vapor, em uma relação direta, tiveram comportamento semelhante, como comentado, em virtude da baixa capacidade de absorção do poliéster.

Por causa das suas propriedades de transporte de vapor eficientes e comportamentos dos tecidos enquadrados na categoria do MMT como “tecido à prova d’água” através de uma análise ampla dos principais parâmetros que compõem a gestão da umidade de maneira dinâmica, pode-se concluir que eles permitem a passagem do suor em sua primeira fase (vapor) e não permite a entrada da umidade externa. No caso da tela, se for utilizada para proteção bloqueia também a passagem do ar. Já a sarja, que permite maior passagem do ar, facilita a troca de calor com o ambiente externo e permitindo uma secagem mais rápida. Relacionando estas propriedades, os tecidos seriam mais apropriados para a utilização em vestuário de proteção e trajes para prática esportiva de inverno ou ao ar livre, entre outras utilizações como têxteis técnicos.

O transporte de umidade multidimensional recebeu uma atenção especial neste trabalho em virtude de ser um método inovador e possuir características únicas de medição dinâmica (taxa de absorção, velocidade de difusão), multidimensional (transporte de umidade em um único sentido e processo de molhamento nas duas superfícies) e medições compreensivas (capacidade global de gestão da umidade e gráfico da impressão digital da gestão da umidade).

Este método também pode substituir o ensaio de molhamento da gota (drop tester) e o ensaio de impermeabilidade de artigos têxteis

O conforto relacionado ao transporte de umidade sempre foi avaliado pelo método de transporte de umidade por capilaridade e uma das contribuições mais importante deste trabalho foi a comparação destes dois parâmetros, que permitiu concluir que na avaliação do transporte multidimensional, através da simulação do transporte de suor em uma situação mais realista e dinâmica, o comportamento observado na capilaridade não se confirma. Mesmo tendo uma boa propriedade de capilaridade ela não reflete em um bom transporte de umidade multidimensional.

CAPÍTULO 6. SUGESTOES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para realização de trabalhos futuros, visando ampliar e complementar o estudo das variáveis que exercem influência nas propriedades de transporte de umidade e conforto de artigos têxteis, listo as seguintes sugestões:

- Explorar a interferência de outras fibras sintéticas, naturais e artificiais;
- Investigar a ação de diferentes propriedades dos fios, como título e torção;
- Aprofundar a interferência das secções transversais diferenciadas em microfibras e ultra microfibras;
- Apurar a influência da variação das estruturas e densidades de tecidos planos;
- Pesquisar a ingerência da aplicação de processos de enobrecimento, incluindo processos químicos, corona e plasma.
- Verificar o impacto destas variáveis em tecidos para aplicações especiais (roupas para esportes, profissionais, proteção, entre outras).

CAPÍTULO 7. REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS. AATCC Test Method 195-2009: Liquid Moisture Management Properties of Textile Fabrics. Research Triangle Park. 2010.

AGUIAR NETO, P. P. Fibras têxteis. Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, 1996. 2 v.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8427: Emprego do sistema tex para expressar títulos têxteis : procedimento. Rio de Janeiro: ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM, E-96/ E96M– Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials, West Conshohocken, PA, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS . ASTM, D737-04 Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics, West Conshohocken, PA, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D 1777: Thickness of textile materials, measuring. West Conshohocken. 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D 3775: Fabric count of woven fabric. West Conshohocken. 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D 3776: Mass per unit area (weight) of woven fabric. West Conshohocken. 2006.

ANDREOLI, C., FRETI, F. Reference books of textile technology: Man made fibers. Milano: Fondazione ACIMIT, 2004, 73 p.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALIZATION. NF G 07- 300: Essais des fils texturés - Détermination de la masse lineique. Paris. 1982.

BAJZIK, V.; HES, L. The effect of finishing treatment on wet fabrics. Tekstil ve Konfeksiyon, v. 22 , n.1, p. 26-31, January – march 2012

BENLTOUFA, S.; FAYALA, F., BENNASRALLAH, S. Capillary rise in macro and micro pores of jersey knitting structure. Journal of Engineered Fibers and Fabrics. , 2008. P. 49-50.

BROEGA, A.C.; SILVA; M.E.C. O Conforto Total do Vestuário: Design para os Cinco Sentidos - Universidade do Minho, Portugal, 2010.

BROEGA, A.C.D., Contribuição para a Definição de Padrões de Conforto de Tecidos Finos de Lã, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2008, PhD Thesis.

BRUNO, F.S. Tecelagem: Conceitos e Princípios. Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, 1992. 133 p. Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. CONMETRO - Resolução nº 02 de 2008 - Regulamento Técnico Mercosul sobre Etiquetagem de Produtos Têxteis.

DAS, B.; DAS, A.; KOTHARI, V.K.; FANGUEIRO, R.; ARAUJO, M., Moisture transmission through textiles part I: processes involved in moisture transmission and the factors at play. *Autex Research Journal*, vol.7, nº2, 2007.

DEMIR, A.; BEHERY, H. M. Synthetic filament yarn texturing technology. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, 1997, 374 p.

DENTON, M.J.; SETH, A.K. 'Air-Jet Texturing: Present and Future', Loughborough University of Technology, 1987, p. 10-1.

DUBROVSKI, P.D.; BREZOCNIK, M. PLANNING THE MACROPORE AREA OF WOVEN FABRICS. University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Maribor, Slovenia, Smetanova, RJTA Vol. 7 No. 2. 2011.

FANGUEIRO, R.; FILGUEIRAS, A.; BARBOSA, R.A.A. O conforto termofisiológico e o desempenho do desportista, disponível em <http://hdl.handle.net/1822/13484>, acessado em 15/01/2013.

FOURNÉ, Franz. Synthetic Fibers – Machines and equipment, manufacture, properties. Munich: Hanser, c1998. 885 p.

FOURT, L.; HOLLIES, N. R. S., Clothing: Comfort and function, New York: Marcel Dekker, Inc., 1970. 254 p.

GASI, F., 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, UNICAMP, Campinas, 2010, Tese de doutorado.

GUILLÉN, J. G. Microfibras. [S.l.]: UPC, [20-], 112 p.

HARNETT, P. R. MEHTA, P. N. A survey and comparison of laboratory test methods for measuring wicking, *Tex. Res. J.*, 54, 471–478, 1984.

HASKELL W.B., Fundamentals of Moisture Transport in Textiles: Atlanta, disponível em <<http://www.tfe.gatech.edu/beckham/C97-G31>> Acesso em: 28 mar. 2012.

HAVENITH, G., Clothing e regulation. In: ELSNER,P. Textiles and the skin - Current problems in dermatology Basel, Switzerland: Karger, v. 31, 2003. 176 p.

HES, L. Como Especificar e Medir o Conforto de Vestuário, Universidade do Minho, 1996.

HIGGINS, L.; ANAND, S. Textile materials and products for activewear and sportswear. United Kingdom, Textiles Intelligence, 2003. 32 p.

HONG, K.; HOLLIES, N.R.S.; SPIVAK, S.M. Dynamic Moisture Vapor Transfer through Textiles Part I: Clothing Hygrometry and the Influence of fiber Type Textile Research Journal ,v. 58, n. 12, p. 697-706, december 1988.

HSIEH, Y.L., MILLER, A., THOMPSON, J. Wetting Pore Structure and Liquid Retention of Hydrolyzed Polyester Fabrics, Text. Res. J., v.66, n. 1, p. 1–10, 1996.

HSIEH, Y.L., YU, B. Liquid Wetting, Transport, and Retention Properties of Fibrous Assemblies, Part I: Water Wetting Properties of Woven Fabrics and Their Constituent Single Fibers, Text. Res. J., v. 62, n. 11, p. 677–685, 1992.

HSIEH, Y.L., YU, B., HARTZELL, M.M. Liquid Wetting, Transport, and Retention Properties of Fibrous Assemblies, Part II: Water Wetting and Retention of 100% and Blended Woven Fabrics, Text. Res. J., v. 62, n. 12, 697–704, 1992.

HU, J. et al. A New Test Method to Measure Liquid Moisture Management Properties of Textiles. Institute of Textiles and Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, 2003.

HU, J., LI, Y., WONG, A.S., Moisture Management Tester: A Method to Characterize Fabric Liquid Moisture Management Properties. Textile Research Journal 2005. V.(1), p.57-62.

JAPANESE STANDARD ASSOCIATION. JIS L 1907: Test methods for water absorbency of textiles: Method b. Tokyo, 2009.

JUNKER, P. Manual para Padronagem de Tecidos Planos. São Paulo: Ed. Brasiliense, 1988. 2v.

KISSA, E., Wetting and wicking. Textile Research Journal, 66 (10), p. 660-668, 1996.

LEE, S.; OBENDORF, K. Statistical modeling of water vapor transport through woven fabrics Textile Research Journal , v. 82, n. 3, p. 211-219, february 2012.

LI Y., W. Xu, and Y.K. W. (2002), Moisture management of textiles. US Patent No. 6,499,338 B2, 2002.

LI, Y., The Science of Clothing Comfort, Textile Progress, vol. 31, Nº 1, 2001 pag.1-135

LIU T., CHOI, K. F., LI, Y. Wicking in twisted yarns, *Journal of Colloid Interface Science*, v. 318, n. 1, p.134-139, february 2008.

MARTIN, J.R.S., *Transpirando Conforto: a Gestão da Funcionalidade e Conforto nos Tecidos*. Revista Química Têxtil, n. 100, p. 6-20, setembro, 2010.

MEDEIROS, Alberto. *Cálculo estrutural de tecidos por urdume e trama*. São Paulo: Contextil, 2006. 152 p.

MINUTTI, V.P. *Influência do número de filamentos nas propriedades físicas dos tecidos planos de poliéster*. Centro Universitário da FEI, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Têxtil).

NANLIGOZ, E., ÇOBAN,S., BAHTİYARİ, M.I. Comparison of moisture transport properties of the various woven Fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, v.20, n.2, p. 94-100, april-june 2010.

AFNOR ASSOCIACION - Norme Française NF EN 14621:Textiles - Multifilaments - Méthodes d'essais des multifilaments texturés ou non texturés. Avril 2006.

OGULATA, R. T., Air permeability of woven fabrics. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, v. 5, n. 2, p. 1-10, 2006.

OZDIL, N., SUPUREN, G., OZÇELİK, G. and PRUCHOVA J., A study on the moisture transport properties of the cotton knitted fabrics in single jersey structure. *Tekstil ve Konfeksiyon*, n.3: p. 218–223, 2009.

PAN, N., ZHONG, W., *Fluid Transport Phenomena in Fibrous Journal: Textile Progress*, v. 38, n.2, p. 1-93, january 2006.

PATNAIK, A.; RENGASAMY, R. S; KOTHARI, V. K.; GHOSH, A. Wetting and Wicking in Fibrous Materials, *Textile Progress*, v. 38, n.1, p., 1-105, 2006.

SCOTT, R. A. *Textiles for protection*. Cambridge: Woodhead, 2010. p. 414, 609-613.

SDL ATLAS. *Apresentação Moisture Management Tester – An innovation in testing equipment*, 2010.

SLATER, K. *The Assessment of Confort: Australian Textile Institute*, vol. 77, p. 157-171. 1986.

SLATER, K., *Human Comfort*, Thomas Springfield, USA, 1985.365 p.

YAO, B.; KWOK, Y.; LI, Y., Precision of New Method for Characterizing Dynamic Liquid Moisture Transfer in Textil Fabric. *AATCC Review*, 2008.

ZHUANG, Q.; HARLOCK, S.C.; BROOK, D. B. Wicking Mechanism of Knitted Fabrics Used in Undergarments for Outdoor Activities. England -University of Leeds, 2002.