

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MATERIAIS**

TRATAMENTOS TÉRMICO E CORONA EM TECIDO DE POLIÉSTER

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia Química
como parte dos requisitos exigidos
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Química.

AUTOR: José Geraldo de Carvalho
ORIENTADOR: João Sinézio de Carvalho Campos

Campinas, 17 de Junho de 2011

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

C253t Carvalho, José Geraldo de
Tratamentos térmico e corona em tecido de poliéster /
José Geraldo de Carvalho. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: João Sinézio de Carvalho Campos.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Acabamento têxtil. 2. Corona (Eletricidade). 3.
Tratamento térmico. 4. Poliésteres. 5. Tingimento -
Fibras sintéticas. I. Sinézio, João de Carvalho Campos.
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Química. III. Título.

Título em Inglês: Thermal and corona treatments in polyester fabric

Palavras-chave em Inglês: Textile finishing, Corona (Electricity), Heat
treatment, Polyesters, Dyeing - Synthetic fibers

Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Materiais

Titulação: Mestre em Engenharia Química

Banca examinadora: João Batista Giordano, Sergio Persio Ravagnani

Data da defesa: 17-06-2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Química

Dissertação de Mestrado defendida por José Geraldo de Carvalho e aprovada em
17 de Junho de 2011 pela banca examinadora constituída pelos doutores:



Prof. Dr. João Sinezio de Carvalho Campos (orientador)

Faculdade de Engenharia Química / UNICAMP



Prof. Dr. João Batista Giordano

Faculdade de Tecnologia / Americana – S.P.



Prof. Dr. Sergio Persio Ravagnani

Faculdade de Engenharia Química / UNICAMP

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado em Engenharia Química

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and strokes, positioned above a horizontal line.

Prof. Dr. João Sinézio de Carvalho Campos
(Orientador)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa Juliana, à minha mãe Jandira, ao meu pai Antônio (em memória), às minhas irmãs Rogéria e Ronilda.

AGRADECIMENTOS

- A Deus, que tornou essa conquista possível.
- À minha esposa Juliana, pelo apoio e compreensão.
- À 3M do Brasil, pela utilização dos laboratórios e pela autorização para participar do programa de mestrado da UNICAMP.
- Ao Dr. João Sinézio de Carvalho Campos, orientador dessa dissertação.
- Ao departamento Têxtil da Faculdade de Tecnologia de Americana, pela utilização dos laboratórios.
- Ao Dr. João Batista Giordano, pela ajuda na realização dos ensaios.
- A todos que contribuíram direta ou indiretamente para execução deste trabalho.

Epígrafe

“Bom é o Senhor para
os que esperam por
ele, para a alma que o
busca”

Lm 3:24

TRATAMENTOS TÉRMICO E CORONA EM TECIDO DE POLIÉSTER

RESUMO

O tratamento térmico, que na indústria têxtil é mais conhecido como termofixação, é um processo muito importante para garantir a estabilidade dimensional do tecido de poliéster durante os processos de beneficiamento e no uso. Mas o processo de termofixação modifica algumas propriedades do tecido e entre elas podemos destacar: Hidrofilidade, comportamento tintorial, alongamento e ruptura. Essas propriedades são influenciadas pelas variáveis tempo e temperatura de termofixação. Nesse sentido o presente trabalho tem como objetivo analisar as alterações proporcionadas pela termofixação nas propriedades físico-químicas do tecido de poliéster. O poliéster é um material que apresenta superfície quimicamente inerte, não porosa e com baixa energia de superfície (43 mN/m). O tratamento com descarga corona vem propor aumentar a energia de superfície, melhorar a hidrofilidade, o comportamento tintorial e a adesão do tecido termofixado e sem termofixar. Submeteram-se amostras de tecido plano de poliéster à termofixação em diversas combinações de tempo e temperatura dentro dos intervalos de 120 a 220°C e de 30 a 120 segundos. Após a termofixação mediu-se o encolhimento das amostras e submeteram-se as mesmas a testes de alongamento e ruptura. Trataram-se amostras de tecido de poliéster termofixadas e sem termofixar com descarga corona, e em seguida, submeteu-se as mesmas a testes de hidrofilidade, tingimento, estampagem, alongamento e ruptura. Observou-se que a termofixação promove encolhimento, aumento do alongamento, diminuição da hidrofilidade e da absorção de corante em tingimento de tecido de poliéster. O tratamento corona aumenta a hidrofilidade, a absorção de corante, a ancoragem de pigmentos em amostras de tecido de poliéster termofixadas e sem termofixar.

Palavras chave: poliéster, termofixação, corona.

THERMAL AND CORONA TREATMENTS IN POLYESTER FABRIC

ABSTRACT

The thermal treatment, which in the textile industry is known as heat setting, is very important to ensure the dimensional stability of polyester fabric during the process of improving and use. But the process of heat setting changes some properties of the fabric and among them we can highlight: Hydrophilicity, dyeability, elongation and strength. These properties are influenced by variables dwell time and heat setting temperature. In that sense this work has as objective to analyze the changes caused by heat in the physico-chemical properties of polyester fabric. Polyester is a material that presents the surface chemically inert, non-porous and low surface energy (43 mN / m). The treatment with corona discharge is proposing to increase the surface energy, improve the hydrophilicity, dyeability and adhesion of the polyester fabric with and without heat setting. Samples of polyester plan fabric underwent to heat setting on various combinations of time and temperature within the interval between 120 to 220 ° C, from 30 to 120 seconds. After the heat setting was measured the shrinkage of the samples and underwent the samples by tests of elongation and rupture. Samples of polyester fabric with and without heat setting were treated with corona discharge and in sequence the samples were tested by hydrophilicity, dyeing and printing. The heat setting promotes shrinkage and increase the elongation of polyester fabric. It was observed that the heat setting promotes shrinkage, increase of elongation, reduction of hydrophilicity and reduction of uptake of dye in the dyeing of polyester fabric. The corona treatment increase the hydrophilicity, the absorption of dye in pad-thermofix process and the pigment anchoring in polyester fabric samples with and without heat setting.

Key Words: polyester, heat setting, corona

SUMÁRIO

Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	ii
Epígrafe.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Lista de figuras e tabelas.....	xi
Nomenclatura.....	xiv
Capítulo I – Introdução e objetivos.....	1
I.1. Introdução	1
I.2. Objetivos.....	2
Capítulo II - Revisão Bibliográfica	3
II. 1. Indústria têxtil	3
II. 2 . Fibras têxteis	5
II.2.1. Fibras naturais.....	6
II.2.1.1. Fibras vegetais.....	6
II.2.1.2. Fibras animais.....	7
II.2.2. Fibras Químicas.....	8
II.2.2.1. Fibras Artificiais.....	8
II.2.2. 2. Fibras Sintéticas.....	9

II.2.2.2.1. Poliamidas	11
II. 2.2.2.2. Poliacrílico.....	11
II.2.2.2.3. Poliuretano	12
II. 2.2.2.4. Poliéster.....	12
II. 2.2.2.4.1 Propriedades.....	14
II. 3 Tratamento Térmico ou Termofixação.....	16
II. 4 Alteração Dimensional.....	17
II. 5. Tingimento.....	18
II. 5.1. Teoria geral do tingimento.....	18
II. 5.2. Corantes adequados para poliéster – corantes dispersos.....	19
II. 5.3. Classificação dos corantes dispersos.....	20
II. 5.4. Tingimento de Poliéster.....	22
II. 5.4.1. Tingimento à ebulição.....	23
II. 5.4.2. Tingimento sob pressão e temperatura.....	25
II. 5.4.3. Tingimento contínuo (pad-termofix).....	25
II. 5.4.4. Lavagem redutiva.....	25
II. 5.4.5. Equipamentos para tingimento.....	26
II. 6. Estampagem.....	27
II. 7. Propriedade de Solidez.....	27
II. 8. Propriedades e Características de Superfície.....	28

II. 8.1. Molhabilidade.....	28
II. 8.2. Energia livre ou tensão de superfície.....	30
II. 9. Adesão.....	31
II. 9.1. Mecanismos de adesão.....	32
II.9.1.1 Ligação mecânica.....	32
II. 9.1.2. Adsorção física.....	32
III. 9.1.3. Interdifusão.....	33
II. 9.1.4. Atração eletrostática.....	33
II. 9.1.5. Ligações químicas.....	33
II. 9.1.6. Camada limite fraca.....	34
II. 10. Tratamentos de superfície em polímeros.....	35
II.10.1. Tratamento Mecânico.....	35
II. 10.2.Tratamento por Chama.....	36
II. 10.3. Tratamento com reagentes químicos.....	36
II. 10.4. Tratamento por feixe de íons.....	37
II. 10.5.Tratamento por Plasma.....	37
II. 10.6.Tratamento por radiação de fótons ou Ultravioleta.....	39
II. 10.7. Tratamento por descarga corona.....	40
II. 10.7.1. Efeito da Descarga Corona na Superfície de Polímeros.....	42
II. 11. Ensaio de tração e alongamento.....	45
Capítulo III – Materiais e métodos.....	49
III. 1. Materiais.....	49
III. 2. Equipamentos e acessórios.....	49
III. 3. Metodologia.....	50
III. 3.1 Tratamento Térmico ou Termofixação.....	50

III. 3.2 Encolhimento.....	51
III. 3.3 Densidade de fios.....	51
III.3.4. Tratamento corona.....	52
III.3.5 Hidrofilidade.....	53
III.3.6. Resistência à tração e alongamento.....	54
III.3.7. Tingimento com corante disperso.....	55
III.3.8. Estampagem.....	58
Capítulo IV – Resultados e discussões	59
IV.1. Termofixação sem tratamento corona.....	59
IV.1. 1. Encolhimento.....	59
IV.1.2. Alongamento e ruptura.....	63
IV.1.4. Hidrofilidade.....	68
IV.1.5. Tingimento.....	72
IV.1.5.1. Tingimento por esgotamento.....	72
IV.1.5.2. Tingimento contínuo (Pad-termofix).....	73
IV. 2.6. Estampagem.....	76
Capítulo V – Conclusões.....	78
V.1. Termofixação.....	78
V.2. Tratamento corona.....	79
Trabalhos Futuros	79
Capítulo VI – Referências bibliográficas.....	80

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figuras:

Figura 1: Fluxograma da cadeia têxtil.....	04
Figura 2: Classificação das fibras têxteis.....	05
Figura 3 : Corte transversal da fibra de algodão.....	07
Figura 4: Reação de obtenção da viscose.....	09
Figura 5: Fabricação do filamento de viscose.....	05
Figura 6: Processo de obtenção de filamento de fibra sintética.....	10
Figura 7: Reação de obtenção do poliacrilonitrilo.....	11
Figura 8: Cadeia de poliuretano segmentado.....	12
Figura 9: Reação de condensação do PET.....	13
Figura 10: Fases do tingimento.....	19
Figura 11: Representação da estrutura de corantes dispersos de baixa, média e alta energia.....	22
Figura 12: Método da gota séssil.....	29
Figura 13: Método da bolha cativa.....	30
Figura 14: Sistema corona placa rolo.....	41
Figura 15: Sistema corona ponta-plano.....	41
Figura 16: Formação de radicais (R^*).....	43
Figura 17: Reação entre radicais (R) e oxigênio (O_2^*).....	43
Figura 18: Mecanismo de formação fenol em filme de PET tratado por descarga corona.....	44
Figura 19: Alongamento de corpo de prova em ensaio de tração.....	46
Figura 20: Diagrama de tensão-deformação.....	47
Figura 21: Rama Laboratório FATEC – Americana.....	50
Figura 22: Sistema de descarga corona tipo fio-plano. Laboratório FATEC – Americana.....	52
Figura 23: Medição de hidrofiliidade por capilaridade.....	53
Figura 24: Dinamômetro. Laboratório FATEC – Americana.....	54
Figura 25: Gráfico de tingimento com corante disperso.....	55
Figura 26: Aparelho de tingimento HT. Laboratório FATEC – Americana.....	56

Figura 27: Foulard. Laboratório FATEC – Americana.....	57
Figura 28: Estrutura química do corante CI: Disperse Red 167:1	57
Figura 29: Encolhimento (%) em função da temperatura de termofixação para amostras de tecido de poliéster no sentido da trama (A) e no sentido do urdume (B) para os tempos de termofixação 30, 60, 90 e 200s.....	60
Figura 30: Variação de densidade de fios de trama e urdume em função da temperatura de termofixação.....	62
Figura 31: Alongamento (%) em função da temperatura de termofixação para amostras de tecido de poliéster no sentido da trama (A) e no sentido do urdume (B) para os tempos de termofixação 30, 60, 90 e 200s.....	63
Figura 32: Alongamento (%) em função do tempo de tratamento corona para amostras de tecido de poliéster não termofixadas e termofixadas a 220 °C por 60 s.....	65
Figura 33: Força de ruptura (kgf) em função da temperatura de termofixação para amostras de tecido de poliéster no sentido da trama (A) e no sentido do urdume (B) para os tempos de termofixação 30, 60, 90 e 200s.....	66
Figura 34: Força de ruptura (kgf) em função do tempo de tratamento Corona para amostras de tecido de poliéster não termofixadas e termofixadas a 220 °C por 60s.....	67
Figura 35: Tempo de absorção de uma gota de solução de corante em função do tempo de termofixação.....	68
Figura 36: Tempo de absorção de uma gota de solução de corante pelo tecido de poliéster termofixado a 200 °C por 60s. Em função de tempo de tratamento corona.....	69
Figura 37: Amostra de tecido de poliéster sem termofixar (esquerda) e termofixada a 220 °C por 60s (direita) submetidas a teste de hidrofiliidade.....	70
Figura 38: Amostras de tecido de poliéster sem termofixar (A) e termofixadas a 220 °C por 60s (B) submetidas a teste de hidrofiliidade.....	71
Figura 39: Amostras de tecido sem termofixar e termofixada submetidas a processo de tingimento por esgotamento.....	73

Figura 40: Amostras de tecido sem termofixar. Sem tratamento corona e com 10 min de tratamento corona.....	74
Figura 41: Amostra de tecido de poliéster termofixada a 220 °C por 60s com 10 min de tratamento corona.....	75
Figura 42: Frente e verso de amostras de tecido de poliéster Termofixadas a 220 °C por 60 s. Sem tratamento corona (A) e com 10 min de tratamento corona (B).....	76

Tabelas:

Tabela 1: Nomenclatura das principais fibras têxteis.....	06
Tabela 2: Propriedades Físicas das Fibras de Poliéster.....	15
Tabela 3: Corantes dispersos de Baixa, Média e Alta energia.....	21
Tabela 4: Tipos de “carriers” encontrados no mercado mundial.....	24

Nomenclatura

ABNT = Associação Brasileira de Normas técnicas

°C = Grau Celsius

C_f = Corante na fibra

CI = Collor index

EU = União Européia

FEP = Etileno-propileno fluoretizado

HT = Alta tempera

L = Litro

mg = Miligrama

N = Newton

PE = Polietileno

PEAD = Polietileno de alta densidade

PEBD = Polietileno de baixa densidade

PET = Polietileno tereftalato

PES = Poliéster

pH = Potencial de hidrogênio

PP = Polipropileno

PTFE = Politetrafluoretileno

Tex = massa em grama de 100 m de fio

Tg = Temperatura de transição vítrea

Tm = Temperatura de Fusão

UV = Ultravioleta

γ_{SL} = energia interfacial entre as fases sólido e líquido,

γ_{SV} = energia interfacial entre as fases sólido e vapor,

γ_{LV} = energia interfacial entre as fases líquido e vapor.

γ_C = Tensão superficial crítica

μm = Micrometro

θ = Ângulo de contato

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

I. 1. Introdução

A fibra de poliéster representa mais de 50% da demanda de fibras químicas usadas no setor têxtil. É usada sozinha ou combinada com outras fibras naturais ou sintéticas, e os tecidos fabricados podem ser usados para diversas aplicações como vestuário, decoração, e uso industrial, BARBOSA (2004).

O tratamento térmico que é conhecido no segmento têxtil como termofixação, tem como objetivo conferir ao tecido estabilidade dimensional, propriedade essa muito importante para o beneficiamento e uso do tecido, ROUETTE (2001). Mas o tratamento térmico (termofixação) modifica algumas propriedades físico-químicas do tecido que também são relevantes para o processo de beneficiamento e uso desse material, GIORDANO (2006), GARCEN (2007).

Em virtude da existência de quantidade reduzida de trabalhos científicos abordando esse assunto, os efeitos do tratamento térmico (termofixação) no tecido de poliéster são analisados no presente trabalho com o intuito de melhor compreender a influência das variáveis tempo e temperatura de termofixação nas propriedades de hidrofiliidade, alongamento e ruptura do tecido.

O tratamento por descarga corona é amplamente utilizado na modificação de propriedades de superfície de materiais, principalmente dos polímeros, devido a sua facilidade de construção, baixo custo de manutenção e facilidade de operação XU (2003). As reações entre uma superfície polimérica e uma descarga corona envolve geração de radicais livres. Elétrons, íons, moléculas excitadas, e fótons que estão presentes na descarga, podem reagir com a superfície polimérica para formar radicais, CHAN (1994).

Como o poliéster é um material que apresenta superfície quimicamente inerte, não porosa e com baixa energia de superfície (43 mN/m), GIORDANO (2007), o tratamento com descarga corona vem propor aumentar a energia de

superfície, melhorar a hidrofiliidade e a adesão do tecido termofixado e sem termofixar. Essas propriedades são importantes para os processos de tingimento, estampagem, acabamento final, laminação, cobrimento, etc.

I. 2. Objetivos

1. Termofixar tecido de poliéster 100 % em vários tempos e temperaturas de interesse da indústria têxtil;
2. Estudar a influência das variáveis tempo e temperatura de termofixação nas propriedades de hidrofiliidade, índice de encolhimento, densidade de fios, resistência à tração e alongamento do tecido de poliéster.
3. Tratar com descarga corona tecido de poliéster termofixado e sem termofixar;
4. Determinar hidrofiliidade do tecido de poliéster com e sem tratamento corona;
5. Tingir tecido de poliéster termofixado e sem termofixar, com e sem tratamento corona, utilizando corante disperso através dos processos por esgotamento e semicontínuo;
6. Verificar influência da termofixação e do tratamento corona no tingimento;
7. Estampar com pigmento tecido de poliéster termofixado e sem termofixar, com e sem tratamento corona e verificar a influências do tratamento corona na penetração da resina no tecido.

CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1. Indústria têxtil

Na indústria de tecidos, os trabalhos são geralmente realizados em três seções diferentes, chamadas usualmente de fiação, tecelagem e acabamento, ARAUJO (1984).

Fiação: O processo de fiação compreende a produção de fios a partir de fibras que podem ser naturais ou não naturais, ARAUJO (1984).

Tecelagem: representa o setor da indústria têxtil onde ocorre o processo de tecimento do fio preparado pela fiação. A tecelagem se caracteriza, tradicionalmente, pelo cruzamento de dois sistemas de fios chamados de trama e urdume. Os fios de urdume são aqueles dispostos no sentido do comprimento do tecido e os fios de trama no sentido da largura, ARAUJO (1984).

Acabamento: é o setor, onde ocorre o processo de beneficiamentos que irão modificar as características dos tecidos preparados na tecelagem. Os beneficiamentos podem ser primários, secundários e terciários. No beneficiamento primário os tecidos são preparados para receber coloração (tingimento e ou estamparia). As etapas deste beneficiamento primário basicamente são: Desengomagem, que é retirada de agentes engomantes; Purga, que tem a finalidade de remover impurezas do tecido, no sentido de torná-lo o mais hidrófilo possível; Alveamento, que tem como objetivo clarear o tecido. Existe ainda o processo de mercerização, que é exclusivo para fibras celulósicas, que tem como objetivo modificar as propriedades das fibras através de tratamento com lixívia de hidróxido de sódio sob tensão. No beneficiamento secundário os tecidos serão tintos ou estampados conforme características dos corantes e fibras. O beneficiamento final visa melhorar as propriedades dos tecidos de acordo com uso final (aplicação de amaciantes, encorpantes, resinas e etc.), ARAUJO (1984).

A figura 1 mostra o fluxograma da cadeia têxtil.

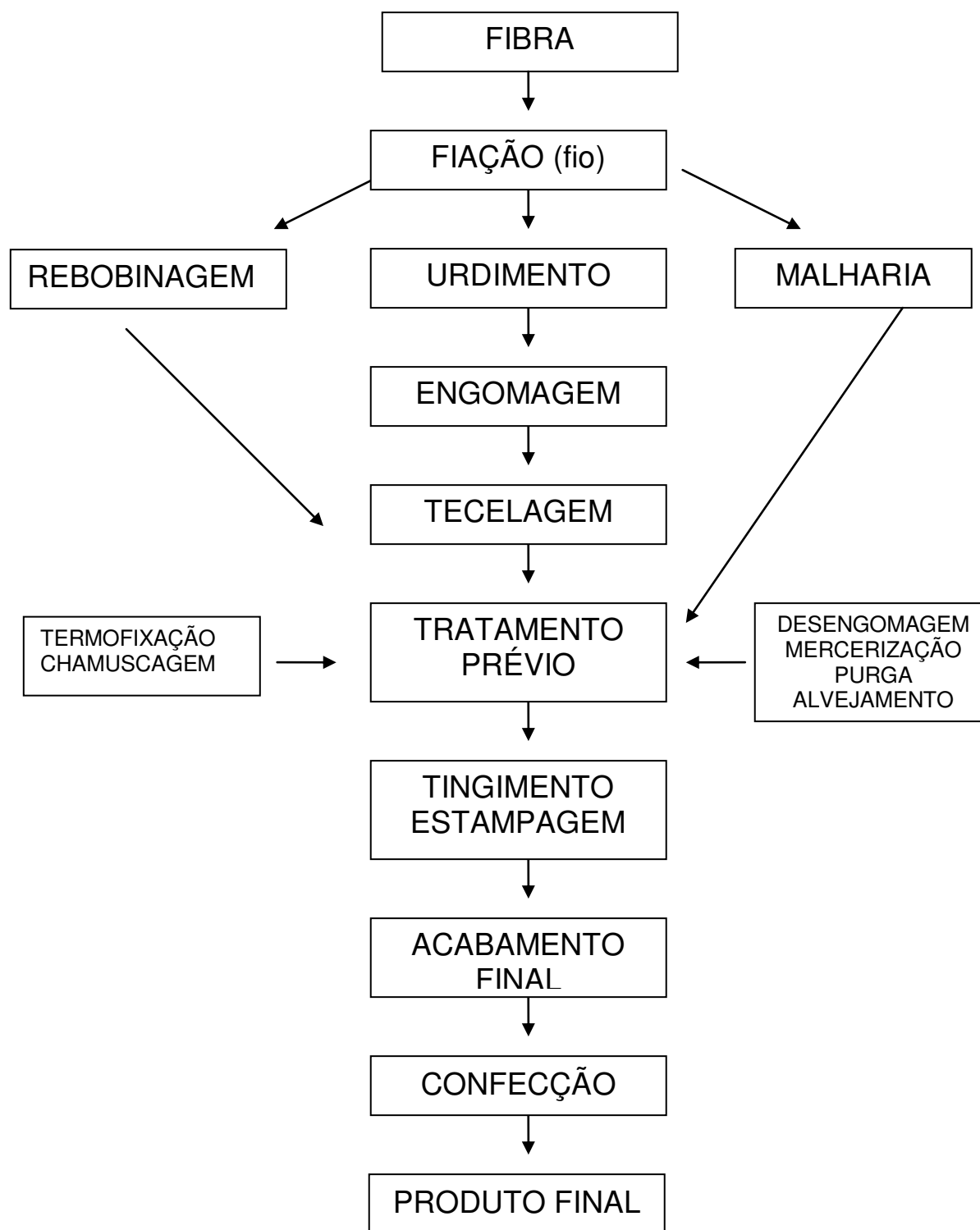


Figura 1: Fluxograma da cadeia têxtil

II. 2. Fibras têxteis: BARBOSA (2004)

Fibra têxtil é o material que, submetido a processo de fabricação, pode ser transformado em fio para ser utilizado em produtos têxteis ou em outras aplicações industriais.

As fibras têxteis podem ser divididas em:

- Naturais – aquelas encontradas na natureza como o algodão, linho, lã e seda.
- Químicas – aquelas obtidas por processos industriais, que são ainda subdivididas em:
 - Artificiais.
 - Sintéticas.

A Figura 2 oferece uma visão de conjunto das fibras têxteis.

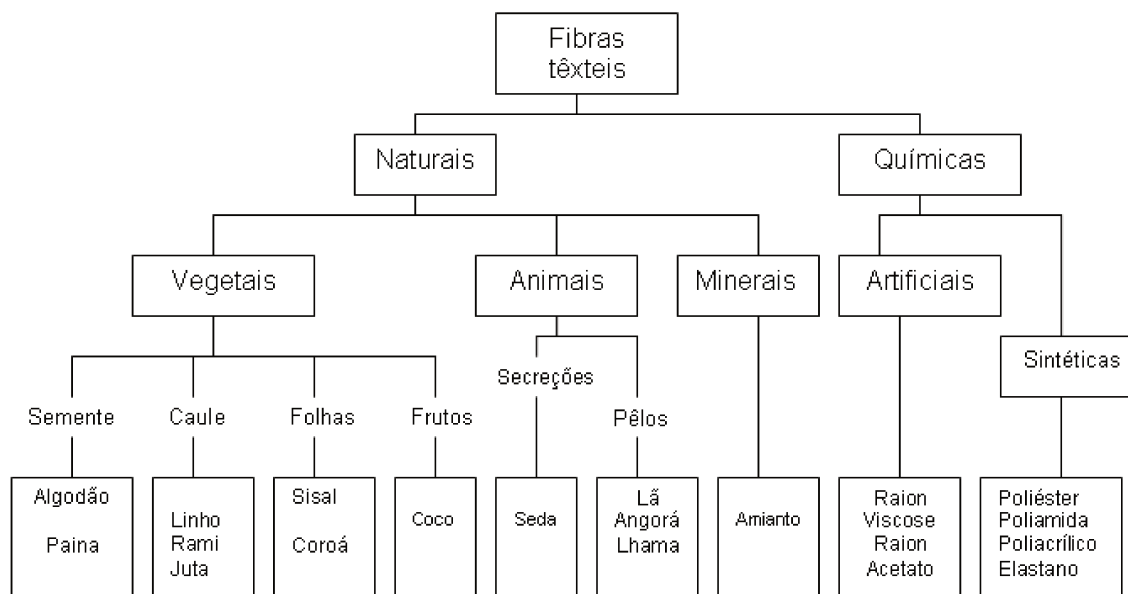


Figura 2: Classificação das fibras têxteis

A tabela 1 mostra a nomenclatura usada para as principais fibras têxteis.

Tabela 1: Nomenclatura das principais fibras têxteis.

Fibras	Símbolo	Fibras	Símbolo	Fibras	Símbolo
Algodão	CO	Acetato	CA	Acrílico	PAC
Linho	CL	Triacetato	CT	Elastano	PUE
Sisal	CS	Poliéster	PES	LÃ	WO
Viscose	CV	Poliamida	PA	Polipropileno	PP

II. 2.1. Fibras naturais

II. 2.1.1. Fibras vegetais: SALEM (2000)

São fibras essencialmente constituídas de celulose. São encontradas sempre na natureza em combinação com outras substâncias, sendo a mais comum a lignina. Contêm, também, impurezas tais como gomas, gorduras, ceras e pigmentos.

A celulose tem estrutura cristalina, sendo um polissacarídeo de cadeia longa e alto peso molecular. As fibras celulósicas naturais possuem regiões amorfas, regiões cristalinas e cadeias orientadas paralelamente.

Algumas propriedades das fibras vegetais são: alta absorção de umidade, moderada resistência à tensão e abrasão, amarelece quando submetido a altas temperaturas, baixa resistência a ácidos fortes (principalmente a quente), boa resistência a álcalis.

Algodão - O algodão é uma das fibras mais consumidas na indústria têxtil brasileira. A fibra do algodão é extraída da flor de um vegetal do gênero *Gossypium*. A fibra de algodão é composta de camada de cera, cutícula, parede primária, parede secundária, lumen e resíduos protoplasmáticos.

No algodão são encontrados nutrientes como: Nitrogênio, Ferro, Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre, Manganês, Cobre, Zinco e Molibdênio. A Figura 3 apresenta um corte transversal da fibra de algodão, que pode variar dependendo da maturação.

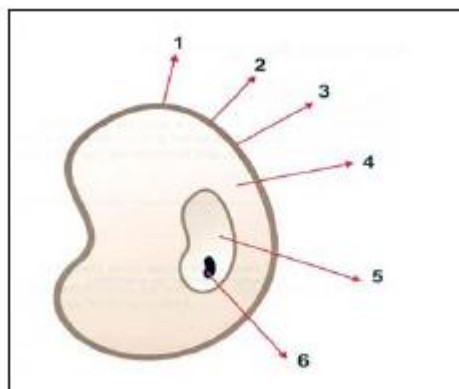


Figura 3 : Corte transversal da fibra de algodão. Onde: 1. Camada de cera, 2. Cutícula, 3. Parede Primária, 4. Parede Secundária, 5. Lúmen e, 6. Resíduos Protoplasmáticos, NAVARO (2007).

Linho - O Linho é uma fibra natural existente na entrecasca do caule da planta *Linum Usitatissimum*. A fibra é separada dos tecidos lenhosos por processos especiais de maceração. A fibra de linho tem comportamento químico semelhante ao do algodão, porém é mais resistente aos ácidos.

Rami, Juta, Cânhamo - Essas fibras são também extraídas de plantas constituídas de celulose e tecidos lenhosos como o linho. Variam entre si no aspecto físico e na morfologia.

II. 2.1.2. Fibras Animais: SALEM (2000)

Lã – A lã é obtida do pêlo de ovelhas. O principal componente da lã é a queratina, substância protéica contendo além do carbono, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio, átomos de enxofre.

Outros pêlos podem ser aplicados na indústria têxtil como os de alpaca, camelo, cachemir, coelho, etc.

Seda - O fio de seda é produzido por uma lagarta chamada Bombyx mori, que se alimenta de folhas de amoreira. A seda é basicamente constituída por Fibroína (70 %) e Sericina.

II. 2.2. Fibras Químicas

As fibras químicas representam uma alternativa criada pelo homem para as necessidades de diversas indústrias, antes dependentes exclusivamente das fibras encontradas na natureza. Em razão de suas qualidades e excelente aceitação pelo mercado, as fibras químicas tiveram expandida sua gama de utilização, com aplicações específicas, além de ampliar os usos das fibras naturais. As fibras químicas são divididas em artificiais e sintéticas, e um dos mais importantes usos dessas fibras se dá na confecção de tecidos, BARBOSA (2004).

II. 2.2.1. Fibras Artificiais

As fibras artificiais são produzidas a partir da celulose e por isso são também conhecidas como fibras celulósicas. A primeira fonte de celulose purificada foi o linter de algodão, que é a fibra curta restante na semente do algodão após o descaroçamento. As fibras artificiais mais usadas são a viscose e o acetato e, mais recentemente o Tencel e o Lyocell, NAVARO (2007).

Acetato - O acetato é obtido pela reação de anidro acético com celulose e, em seguida, é feita a dissolução em um solvente, e posteriormente faz-se extrusão contra um jato de ar quente, quando ocorre a evaporação de solvente, SALEM (2005).

Viscose - A viscose é obtida pela regeneração da celulose: material celulósico não fiável é tratado em solução de soda cáustica produzindo álcali-celulose. Em seguida, o álcali-celulose é submetido a um tratamento com bissulfeto de carbono (CS_2). O produto da reação é uma solução coloidal chamada Xantato de Celulose, SALEM (2005).

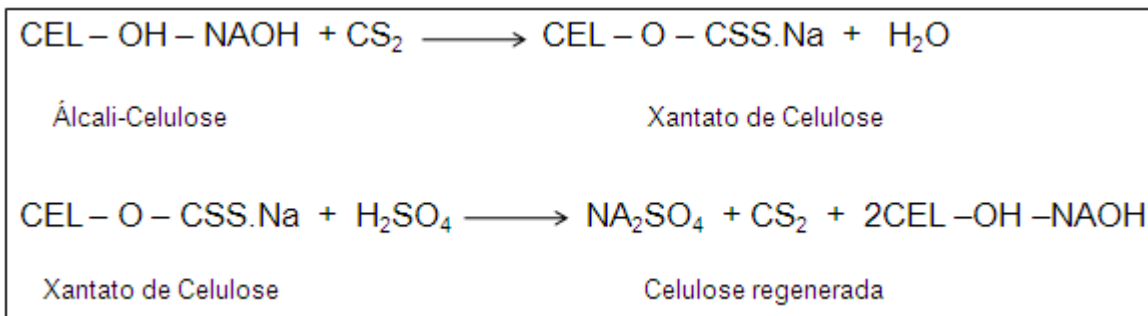


Figura 4: Reação de obtenção da viscose

O Xantato é forçado através de “spinnerets”, sobre um banho ácido onde ocorre precipitação da celulose em forma de filamento (Figura 5).

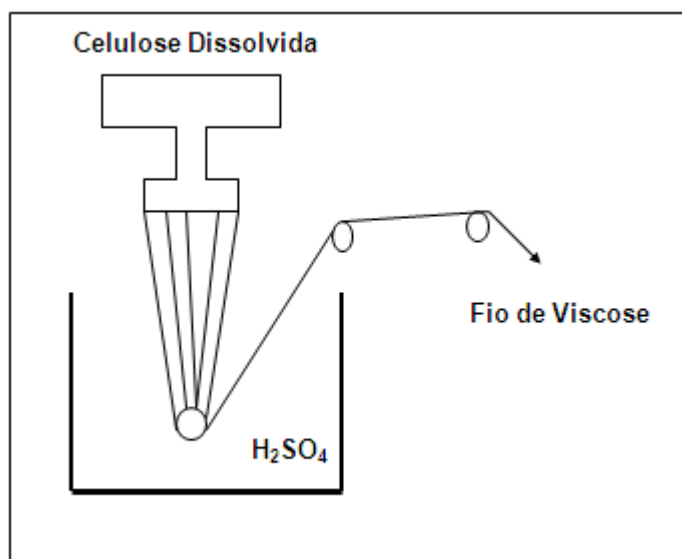
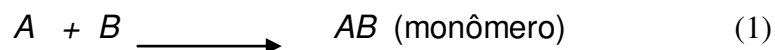


Figura 5: Fabricação do filamento de viscose

II. 2.2.2. Fibras Sintéticas

O processo de produção das fibras sintéticas se inicia com a transformação da nafta petroquímica, um derivado do petróleo, em benzeno, eteno, p-xileno e propeno, produtos intermediários da chamada primeira geração petroquímica. A partir desses produtos fabricam-se os monômeros e estes monômeros formam, por condensação, polímeros de cadeias lineares com alto peso molecular (cerca de 20 000), BARBOSA (2004).



Equação (1): Obtenção do monômero



Equação (2): Obtenção do polímero

Depois da reação química são feitos alguns procedimentos físicos (Figura 6). Na fabricação do filamento, o polímero é fundido por aquecimento, em seguida é pressionado por uma fieira (equipamento que simula o crivo de um chuveiro) contra uma corrente de ar frio. Então são formados filamentos que irão sofrer estiragem, torção e enrolamento, BARBOSA (2004).

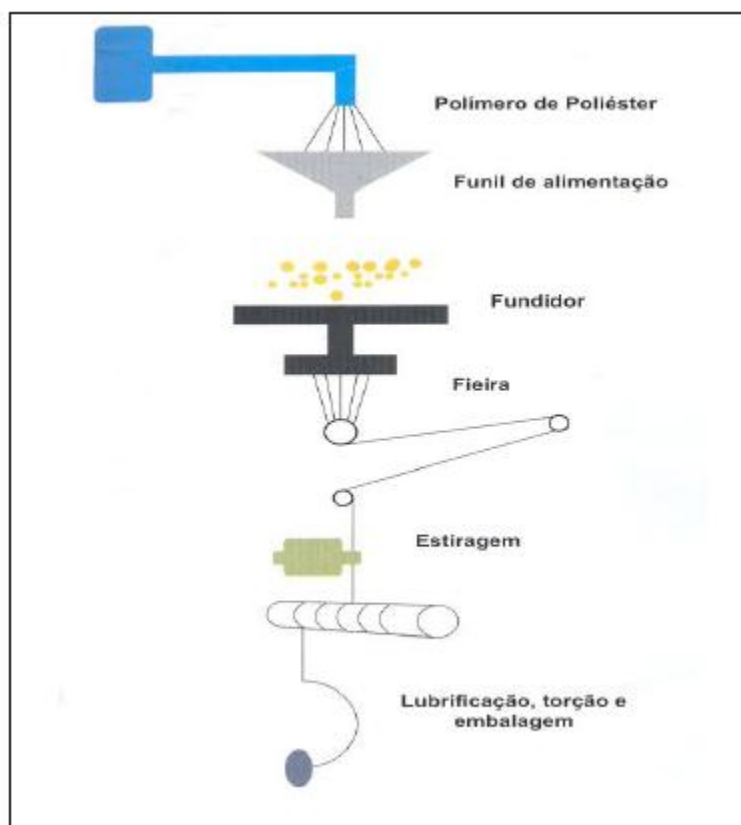


Figura 6: Processo de obtenção de filamento de fibra sintética

II. 2.2.2.1. Poliamidas

As fibras poliamídicas mais importantes para o setor têxtil são a Poliamida 6.6 e a Poliamida 6, também conhecidas como nylon 6.6 e nylon 6 respectivamente. A primeira é produzida pela reação de condensação do ácido adípico com o hexametilenodiamina, enquanto a segunda é produto da polimerização do ϵ – caprolactama, SALEM (2000).

II. 2.2.2.2. Poliacrílico

As fibras acrílicas são produto da polimerização do acrilonitrila (cianeto de vinila). A polimerização do cianeto de vinila efetua-se em emulsão na água e os catalisadores utilizados são peróxidos minerais. Podem ser utilizados dois processos de fiação: a fiação a seco, onde a fieira desemboca numa câmara de evaporação onde os filamentos reencontram uma corrente de ar quente, de azoto ou vapor de água. E a fiação úmida onde a coagulação faz-se num banho composto de água e um agente coagulante, SALEM (2000).

A fibra acrílica é considerada, por suas características, a melhor substituta da lã. Trata-se de um isolante térmico, leve, muito resistente à radiação ultravioleta e aos agentes químicos, além disso, não amassa e seca rapidamente BARBOSA (2004).

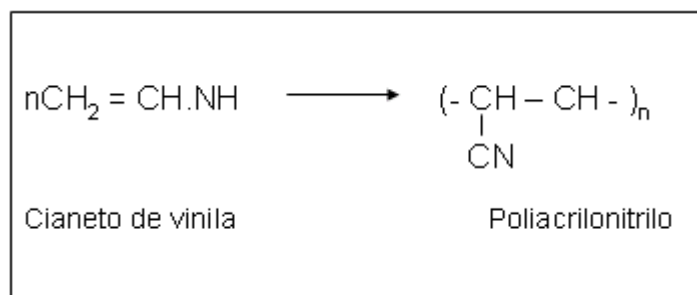


Figura 7: Reação de obtenção do poliacrilonitrilo

II. 2.2.2.3. Poliuretano ou elastano

As fibras de poliuretano são produzidas pela reação de adição de diisocianatos com glicóis. O poliuretano, também conhecido como poliuretano segmentado, é composto de um segmento rígido cristalino, com orientação no sentido do comprimento e um segmento flexível amorfo. Os segmentos flexíveis estão sob forma de aglomerações desordenadas. Quando estes últimos são estirados para uma configuração mais orientada, os segmentos rígidos atuam como resistentes á esta força, buscando recuperar a sua forma original (comportamento elástico). Este é o princípio da alta elasticidade e recuperação de um fio elástico. Esses fios podem ser esticados quatro a sete vezes seu comprimento, retornando instantaneamente ao seu comprimento original quando sua tensão é relaxada, SALEM (2000).

Essas propriedades de alongamento e recuperação que a fibra de elastano possui, enobrece os tecidos, adicionando novas dimensões de caimento, conforto e contorno das roupas, BARBOSA (2004).

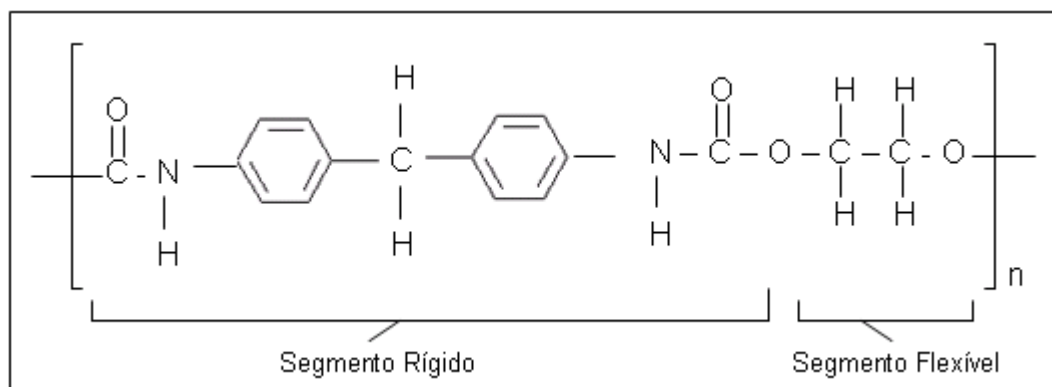


Figura 8: Cadeia de poliuretano segmentado

II. 2.2.2.4. Poliéster

As normas ISO 2076 e a Diretiva UE definem o nome genérico poliéster (PES) como “fibra composta de macromoléculas lineares cuja cadeia contém um mínimo de 85% em massa de um diol e do ácido tereftálico”, GUILLEN (2003).

O PET é o mais importante membro da família dos poliésteres, e há mais de 40 anos vem sendo utilizado em variados setores de atividades. É usado como fibra na indústria têxtil, embalagens de alimentos, cosméticos, produtos farmacêuticos, frascos de bebidas gaseificadas, e como filme em radiografias, fotografias e reprografia. Em geral, este polímero é conhecido como poliéster na indústria têxtil e no segmento de embalagens como PET, ODIAN (1991).

O PET foi desenvolvido por dois químicos britânicos Whinfield e Dickson em 1941 e é classificado quimicamente como um polímero termoplástico, ou seja, funde por aquecimento e solidifica por resfriamento. Pode ser apresentado no estado amorfo (transparente), parcialmente cristalino e orientado (translúcido) e altamente cristalino (opaco), LUDEWIG (1964). Este polímero é obtido pela polimerização por condensação do ácido tereftálico (ou tereftalato de dimetila) com o etileno glicol, ODIAN (1991).

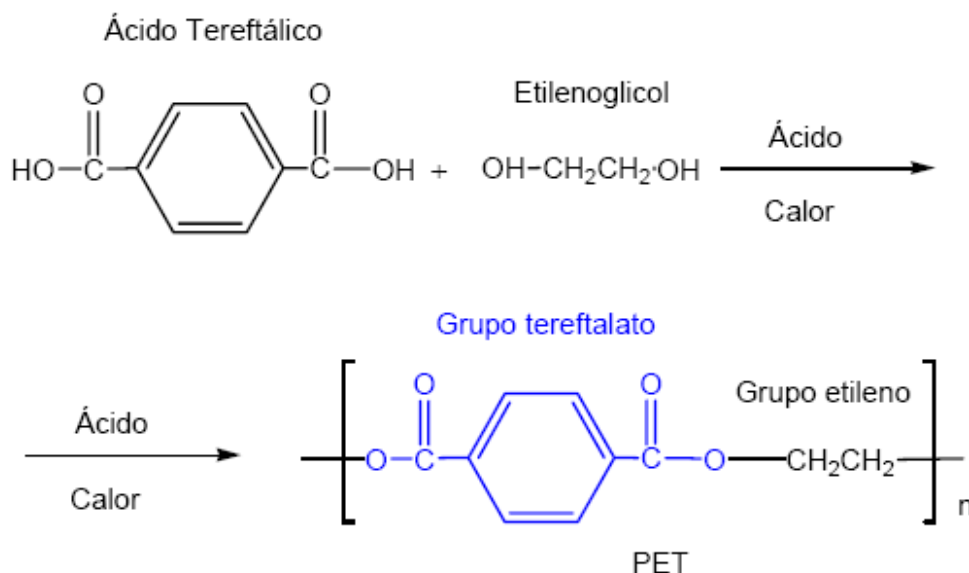


Figura 9: Reação de condensação do PET

A fibra de poliéster é obtida por extrusão do PET. O polímero é extrudido por fusão (260 °C) e depois, os filamentos sofrem um estiramento para orientar as macromoléculas. É durante o processo de estiragem que se obtém a cristalinidade do poliéster. As cadeias moleculares do poliéster são bastante rígidas como

consequência da presença de grupos ésteres do polietileno tereftalato que garantem à fibra um elevado grau de cristalinidade, LUDEWIG (1964).

A fibra de poliéster é a fibra de maior consumo no setor têxtil, representando pouco mais de 50% da demanda total de fibras químicas, BARBOSA (2004). Pode ser utilizada pura ou em mistura com algodão, viscose, náilon, linho ou lã, em proporções variadas. Os tecidos resultantes prestam-se à fabricação de inúmeros artigos: camisas, camisetas, pijamas, calças, ternos, lençóis, cortinas, costado para indústria de abrasivos, etc. Também no segmento de mantas e não tecidos, o poliéster é bastante utilizado em aplicações como entretelas, enchimento de agasalhos e edredons (isolante térmico), além de outras aplicações não têxteis (filtros, mantas impermeabilizantes, etc.). O poliéster é a mais barata das fibras têxteis, sejam químicas ou naturais, ODIAN (1991).

II. 2.2. 2.4.1. Propriedades: ARAUJO (1984)

As propriedades das fibras de poliéster são afetadas pela estrutura das fibras.

O peso molecular médio de aproximadamente 15000 para o PET é requerido para obter melhores propriedades das fibras têxteis. Peso molecular menor fornece fibras de baixa resistência de empacotamento da cadeia polimérica, peso molecular maior fornece fibras menos flexíveis para aplicação industrial.

As fibras de poliéster são compostas de regiões cristalinas, semicristalinas e amorfas. A massa específica do PET amorfo é $1,33 \text{ g/cm}^3$, mas a orientação e o aumento de cristalinidade fazem com que essa massa varie entre $1,38$ e $1,40 \text{ g/cm}^3$.

Propriedades físicas: As propriedades físicas das fibras de poliéster variam com o método de manufatura e com o peso molecular do polímero. Um aumento no peso molecular causa aumento na resistência à tração e alongação e no módulo de

Young. Propriedades físicas e mecânicas das fibras de PET são dadas na tabela 2.

Tabela 2: Propriedades Físicas das Fibras de Poliéster

	TENACIDADE			
	regular ^(a)	alta ^(b)	regular [©]	alta ^(d)
	Fio (filamento)		Fibra	
Tenacidade de ruptura (N/tex)	0,35 – 0,5	0,62 – 0,85	0,35 – 0,47	0,48 – 0,61
Elongação de ruptura (%)	24 – 50	10 – 20	35 – 65	17 -40
Densidade	1,38	1,39	1,38	1,38
Temperatura de fusão (°C)	258 - 263	258 – 263	258 - 263	258 - 263
Recuperação elástica 5% de elongação (%)	88 - 93	90	75 – 85	75 – 85

(a) – fio para tecido;

(b) – filamento com alta resistência, alto módulo; fio industrial;

(c) – fibra regular de 100% poliéster, fios de tapetes, blendas com celulose;

(d) – alta resistência, alto módulo; fibras para aplicação industrial.

Propriedades Químicas: Poliéster tem boa resistência a ácidos fracos, até mesmo a altas temperaturas e é resistente a ácidos fortes à temperatura ambiente, mas se dissolve com decomposição parcial na presença de ácido sulfúrico concentrado. Podem-se deixar fibras de PET por várias semanas em água a 70 °C que elas não perdem a resistência, já deixando por uma semana a 100 °C sua resistência sofre uma diminuição de 20 %. Base forte, como a soda

cáustica, reduz a resistência. Amônia e bases orgânicas penetram na estrutura das fibras causando degradação e diminuição das propriedades físicas. Têm excelente resistência a oxidantes.

Propriedades ópticas: O PET é transparente, provido de brilho, o efeito brilhante é desejável para alguns fins, como vestuário. Quando esse efeito não é requerido, adicionam-se substâncias como dióxido de titânio para reduzir o brilho e melhorar a brancura. Pigmentos ou tintas podem ser adicionados durante a manufatura do polímero ou na extrusão, para se obter um material já colorido.

Propriedades Térmicas: As propriedades térmicas das fibras de poliéster dependem de sua estrutura. Elas são afetadas pelo grau de cristalinidade de forma significativa, e este aspecto determina a utilização desses materiais sob diferentes temperaturas. A cristalinidade é alterada com aumento da temperatura, nas proximidades da temperatura de fusão (T_m), com isso o módulo, a rigidez, a resistência à tração e a dureza diminuem. Esse fato limita o uso de polímeros em alta temperatura.

II. 3. Tratamento Térmico ou Termofixação: ROUETTE (2001)

O processo de termofixação é baseado no aquecimento dentro de uma faixa específica de temperatura cujo limite superior é a temperatura de fusão e o limite inferior é a temperatura de transição vítrea da fibra (necessária para quebrar as ligações secundárias).

Os principais objetivos obtidos pelo processo de termofixação são:

- Homogeneização da estrutura da fibra;
- Eliminação de tensão interna da fibra, resultando em redução do encolhimento durante processos de beneficiamento e uso final;
- Aumento da estabilidade dimensional;
- Redução do enrolamento das laterais de tecidos planos e malhas;

Os parâmetros mais importantes na termofixação são temperatura, tempo de residência e a tensão mecânica aplicada ao tecido.

As mudanças causadas pela termofixação não são apenas mecânicas, mas também nas propriedades de tingimento das fibras sintéticas. A temperatura determina as propriedades de tingimento como segue: Com o aumento da temperatura (no caso do poliéster, acima de 200 °C) a proporção de regiões cristalinas diminui porque os cristalitos instáveis fundem e a massa polimérica recristaliza parcialmente. Quanto maior a proporção de regiões não cristalinas depois da termofixação, que também é influenciada pela taxa de resfriamento (resfriamento rápido reduz a recristalização), melhores serão as propriedades de tingimento posterior.

A temperatura de termofixação deve ser de pelo menos 25 -30 °C (para poliéster 30 – 40 °C) acima da temperatura na qual o material têxtil será submetido nos processos subsequentes ou no uso.

A termofixação dos tecidos de poliéster pode ser feita em temperaturas compreendidas entre 160 °C e 220 °C e tempos de 30 a 120 segundos.

II. 4. Alteração Dimensional

Na produção dos tecidos e nos seus diferentes processos de beneficiamento, surgem alterações dimensionais devido às ações mecânicas, térmicas e químicas que, na maioria dos casos, se manifestam posteriormente, por encurtamento na direção longitudinal. Este fenômeno é geralmente referido como encolhimento. A quantidade que encolhe um tecido depende principalmente do material, das condições de produção, do ambiente que o tecido é beneficiado (água, vapor, calor, seco, etc.), a temperatura e os esforços mecânicos aos quais ele é submetido.

O mecanismo do encolhimento pode ser explicado pelo alívio de tensões internas introduzidas nos fios durante os processos de fiação e tecelagem. Pela atuação de água, ar quente ou vapor, as tensões podem ser aliviadas, melhorando a estabilidade das dimensões, e o tempo necessário para isto vai depender do tipo da fibra, do tipo e condições de tratamentos aplicados, ROUETTE (2001).

Nos tratamentos hidrotérmicos, o encolhimento não é linear com o aumento da temperatura. Já no tratamento em ar quente, há certa linearidade na relação entre a temperatura e o encolhimento, ROUETTE (2001).

Assim nota-se claramente a importância do conhecimento sobre tratamentos térmicos e processos de termofixação, pois estes são fundamentais para estabilidade e propriedades físico-químicas das fibras têxteis.

II. 5. Tingimento: SALEM (2000)

II. 5.1. Teoria geral do tingimento

O tingimento é o processo de aplicação de corantes aos substratos têxteis objetivando a modificação da sua cor original. O tingimento também pode ser efetuado pela aplicação de pigmentos juntamente com ligantes.

De modo geral, o tingimento deve atender às seguintes características:

- Substantividade – O corante deve ser parte integrante da fibra após o tingimento.
- Uniformidade – A cor aplicada deve ser uniforme em toda a extensão do material têxtil.
- Resistência – Resistir aos agentes desencadeadores do desbotamento, como lavagem, suor, água clorada, luz, etc.
- Economia – O tingimento deve ter todas as características anteriores sem ultrapassar as quantidades estritamente necessárias do corante, produtos auxiliares e tempo de realização.

O processo de tingimento pode ser dividido em duas etapas:

Etapas I – Nesta etapa ocorrem os seguintes eventos:

- Transferências do corante do banho para fibra

- Adsorção do corante na superfície da fibra.
- Difusão do corante da superfície para o interior da fibra.

É na etapa I que ocorre a maior parte dos problemas de tingimento. O fator determinante para se conseguir um tingimento uniforme e bem difundido reside no controle da velocidade de adsorção do corante pela fibra.

Etapa II – Após a etapa I, o tingimento entra em equilíbrio com o corante remanescente no banho, o que constitui a etapa II. Nessa etapa é que se dá a fixação do corante na fibra.

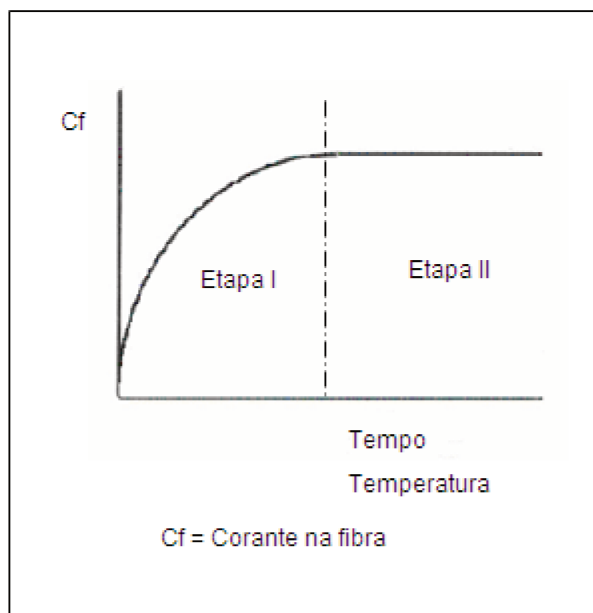


Figura 10: Fases do tingimento

II. 5.2. Corantes adequados para poliéster – corantes dispersos

Ao contrário de outras fibras, o poliéster não possui grupos polares, razão pela qual não pode ser tinto por mecanismos iônicos, com corantes hidrossolúveis como os ácidos, catiônicos, diretos, etc. Somente é possível tingir poliéster com corantes dispersos, não iônicos e praticamente insolúveis em água fria. Os corantes dispersos são aplicados em dispersões aquosas sendo que o tamanho

das partículas em dispersão é da ordem de 0,5 a 1 μm . Possuem baixa solubilidade em água fria (somente uns poucos mg/L).

Uma dispersão estável de tão pequenas partículas só é possível mediante a adição de agentes dispersantes, os quais formam uma camada protetora ao redor das partículas de corantes, não permitindo uma aproximação destas, caso contrário ocasionaria uma aglomeração dos corantes no tingimento com resultados não adequados para aplicação em tecidos.

Os dispersantes são incorporados na última etapa da síntese dos corantes dispersos, durante a moagem, pois o pigmento se separa da reação em forma, geralmente cristalina. Faz-se necessário transformá-lo em suspensões estáveis e uniformes com um tamanho de partícula pequeno, na ordem de 0,5 a 2,0 nm. Para isso, é necessário submeter os cristais a um processo de maturação em presença de agente dispersante.

No processo de tingimento, também, utiliza-se dispersantes.

II. 5.3. Classificação dos corantes dispersos

Os corantes dispersos aplicáveis para poliéster são classificados de acordo com sua estrutura e tamanho molecular em: de baixa, média e alta energia (Grupos B, C e D). Há um grupo denominado A, de muito baixa energia e que são empregados para acetato ou Poliamida e não são recomendados para poliéster devido à baixa solidez à sublimação. Considera-se aqui, a energia necessária para se conseguir a adsorção e difusão na fibra.

Os corantes de alta energia têm moléculas grandes e, por isso, exigem temperaturas altas e maiores tempos de tingimento. Esses corantes são de baixa migração e muito boa solidez à sublimação.

Por outro lado, os corantes de baixa energia têm moléculas menores, o que explica a sua baixa solidez à sublimação e melhor migração. Os corantes de média energia têm tamanho molecular médio e moderada solidez à sublimação e média migração.

Tabela 3: Corantes dispersos de Baixa, Média e Alta energia.

PROPRIEDADES	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D
Energia	Baixa	Média	Alta
Molécula	Pequena	Média	Grande
Siledez à sublimação	Baixa/Média	Média/Boa	Muito Boa
Migração	Boa	Moderada	Baixa
Diusão na fibra	Rápida	Média	Lenta
Sensibilidade à Variação de Afinidade da Fibra	Baixa	Média	Média/Alta
Esgotamento	Fervura c/ Carrier HT*	Fervura c/ Carrier HT*	HT*
Intensidade	Clara/Média	Média/Escura	Escura
Fixação após tingimento	Não	Depende da tonalidade	Sim

HT*(High Temperature)-Equipamento utilizado para tingimentos a alta temperatura

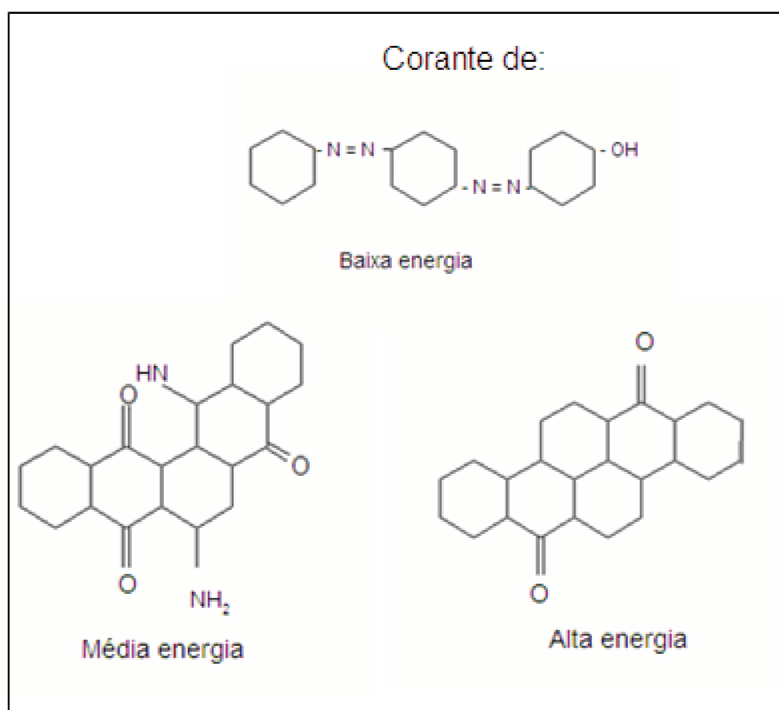


Figura 11: Representação da estrutura de corantes dispersos de baixa, média e alta energia, SALEM (2000).

II. 5.4. Tingimento de Poliéster

Uma das dificuldades no tingimento do poliéster está relacionada com o grau de cristalinidade, isto é quanto mais cristalino maior é esta dificuldade.

Utilizam-se duas formas de minimizar o problema da difusão dos corantes nas fibras de poliéster:

- O uso de agentes transportadores, denominados “carriers”, que temporariamente dilatam os espaços intermoleculares das fibras.
- Aumento da velocidade de difusão pelo aumento da temperatura de tingimento.

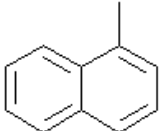
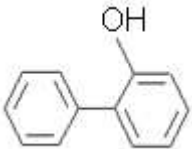
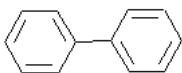
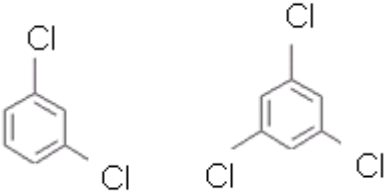
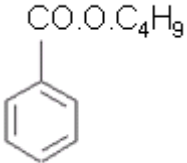
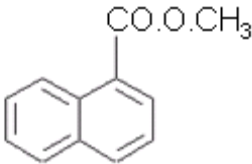
II. 5.4.1. Tingimento à ebulição

Quando o tingimento é feito em máquinas abertas que não podem alcançar temperaturas superiores a 100 °C, é necessário o uso de um “carrier” para obter uma velocidade de tintura razoável.

O Carrier é usado para o tingimento em máquinas abertas.

Os principais “carriers” encontrados no mercado mundial são apresentados na tabela 4:

Tabela 4: Tipos de “carriers” encontrados no mercado mundial, SALEM (2000).

Nome/Fórmula	Vantagens	Desvantagens
Metil Naftaleno 	- Máximo rendimento - Biodegradável	- Afeta solidez à luz - Odor forte e persistente - Em altas concentrações reduz subida do corante
O-Fenil Fenol 	- Não breca a subida dos corantes sem alta concentração - Adequado para tons escuros - Menor odor que o 1º grupo - Biodegradável	- Menor rendimento econômico que o 1º grupo - Não promove migração - Afeta solidez à luz - Maior sujamento da lã
Difenil 	- Promove migração - Cobre barramentos - Afeta pouco a solidez à luz - Biodegradável	- Facilmente produz manchas quando aplicado à fervura
Hidrocarbonetos clorados Di ou Tricloro benzeno 	- Muito boa migração - Boa cobertura de barramentos - Não breca subida dos corantes em altas concentrações - Não inflamável - Não afeta ou afeta pouco a solidez à luz	- Muito tóxico - Baixa biodegradabilidade
Ésteres Aromáticos  Benzoato de butilo  Cresocinato de Metilo	- Boa migração - Boa cobertura de barramentos - Boa igualização - Não afeta ou afeta muito pouco a solidez à luz - Biodegradáveis	- Baixo rendimento econômico - Alta demanda bioquímica de oxigênio

II. 5.4.2. Tingimento sob pressão e temperatura (esgotamento)

É o processo em que se obtém melhor uniformidade, penetração e solidez de tingimento.

A velocidade do tingimento aumenta como o aumento de temperatura. À temperatura inferior a 70 °C, as cadeias poliméricas do PET encontram-se quase que paralisadas e à medida que se aumenta a temperatura, aumenta-se o grau de vibração das moléculas, aumentando a mobilidade de segmentos poliméricos nas regiões amorfas, abrindo cavidades suficientemente grandes, através das quais o corante se difunde.

A velocidade de difusão dos corantes dispersos a 130 °C é cerca de 1600 vezes superior àquela obtida a 60 °C e cerca de 13 vezes superior àquela obtida a 100 °C.

Naturalmente é necessário utilizar corantes estáveis à alta temperatura para evitar floculação, causando no tingimento o efeito de salpicadura.

É aconselhável trabalhar em meio levemente ácido (pH 5,0 – 5,5) para evitar a hidrólise do corante.

II. 5.4.3. Tingimento contínuo (pad-termofix)

No processo de tingimento contínuo, o tecido é impregnado em uma dispersão aquosa de corante em um foulard. Em seguida o tecido é submetido a um processo de secagem e "thermosolagem".

II. 5.4.4. Lavagem redutiva

A lavagem redutiva tem por objetivo eliminar da superfície da fibra o corante e oligômeros que por ventura tenham migrado para o exterior da fibra depositando-se na superfície da mesma em forma de pó branco. Este tratamento melhora a solidez do tingimento à lavagem.

II. 5.4.5. Equipamentos para tingimento

Para fios, se utiliza autoclave à alta pressão (HT) e para tecidos, autoclave horizontal, Over Flow, Jet, Jigger (HT) e máquinas contínuas (thermosol), dependendo da aplicação final e das características do tecido.

II. 6. Estampagem: ALCÂNTARA (1996)

Pode-se considerar o processo de estampar como um tingimento localizado sobre o material têxtil. Os processos de estampagem podem ser considerados quanto à forma de aplicação do material colorido (pigmento ou corante) como estampagem direta ou indireta. A estampagem é direta quando o material colorido é depositado sobre o material têxtil, formando um motivo ou tingimento localizado. A estampagem é indireta quando o material colorido é retirado ou impedido de montar no material têxtil formando um motivo.

A produção de motivos coloridos e desenhos em tecidos tem uma longa história. Padrões já eram pintados em roupas, usando pigmentos e misturas adesivas, na área do Cáucaso, provavelmente por volta do ano 2000 A.C.. Até recentemente, esta técnica sofria com as limitações de pouca resistência a úmido e considerável rigidez, mas com a descoberta dos métodos de tingimento localizado passou a ser largamente adotada como alternativa para o uso de pigmentos colorantes.

Corantes naturais e pigmentos com substâncias mordentes eram empregados em estamparia e aplicados com superfícies entalhadas em madeira, na China e na Índia no início da era cristã.

A estamparia direta de pigmentos foi a primeira desenvolvida por apresentar menor número de variáveis de processo e de aplicação tanto em tecidos puros como em misturas. A estamparia com corantes, devido às condições necessárias de reação, tem maior número de variáveis de processo, incluindo o tipo de fibra a ser utilizada.

A estampa têxtil vem sendo praticada na Europa desde o século XII, quando eram usados carimbos de madeira. A aplicação de cores localizadas em têxteis teve um grande progresso a partir de 1752 quando da invasão do processo de gravação com placas de cobre, usada primeiramente em papel. Este processo já proporcionava desenhos de grande precisão e, por volta de 1800, para que ganhasse velocidade, Thomas Bell inventou o sistema de rolos giratórios, funcionando como carimbos rotativos.

Nos anos 30, o sistema de estampa com tela, também conhecido como “screen printing” passou a ser dotado industrialmente devido ao seu baixo custo, possibilitando a produção de menores quantidades de tecido e maior variação de desenhos. Com o desenvolvimento no pós-guerra das máquinas automáticas de “screen printing” semi-contínuas, as vantagens do baixo custo e da alta qualidade de estampagem foram acompanhados do aumento da taxa de produção de estampados.

Em 1963 foi lançada na feira de Hanover, Alemanha, a máquina de estampa rotativa de cilindros perfurados, atualmente a tecnologia mais difundida devido à sua alta qualidade e a uma altíssima velocidade de estampagem.

II. 7. Propriedade de Solidez

A propriedade de solidez pode ser definida como uma menor ou maior capacidade de resistência da cor ao uso (luz, lavagem, água etc.), ou aos processos posteriores ao tingimento (acabamento, termofixação, vaporização, mercerização etc.), SALEM (2005).

A solidez de cor pode ser avaliada pela alteração da cor da amostra, ou pela capacidade de transferir a cor a um tecido testemunha que não possui corante.

Para avaliar a solidez de cor de tecidos a mudança de cor original (desbotamento) e manchamento ou transferência de cor no tecido de teste padrão são medidas pela comparação visual do corpo de prova testado com a escala

cinza para mudança de cor e manchamento e escala de transferência cromática. A diferença na mudança de cor e ao acúmulo de transferência de cor são dados um valor numérico que varia entre 1 e 5. A nota cinco indica sem mudança de cor original (desbotamento) e transferência de cor. A nota 1 indica notável mudança de cor (desbotamento) e alta transferência de cor.

As notas da escala cinza podem ser descritas nos seguintes termos qualitativos:

Nota 5 – Excelente

Nota 4 – Muito Bom

Nota 3 – Bom (média)

Nota 2 – Regular

Nota 1 – Ruim

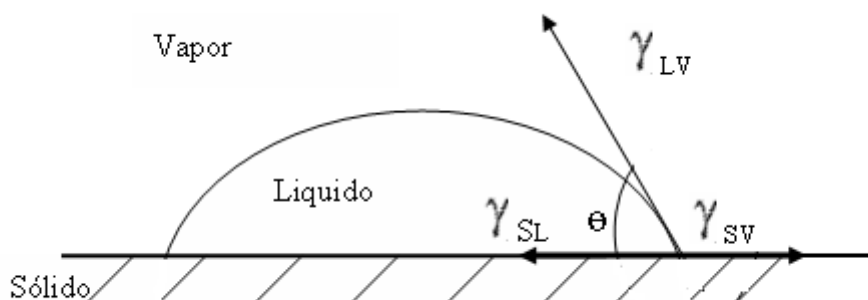
II. 8. Propriedades e Características de Superfície

II. 8.1. Molhabilidade

A hidrofilidade de uma superfície sólida é geralmente expressa em termos de molhabilidade que pode ser quantificada por medidas de ângulo de contato. O valor do ângulo de contato (θ) pode variar de 0 a 180°. Quando θ for igual a zero, indica que o líquido molha completamente a superfície sólida e espalha-se livremente sobre esta à uma taxa dependente da viscosidade do líquido e da rugosidade da superfície. Quando o ângulo de contato for maior que zero e menor que 180°, o líquido molha parcialmente a superfície do sólido. No caso onde o ângulo de contato é igual a 180°, o molhamento da superfície é praticamente desprezível, sendo considerado como nulo. Desta forma, a tendência para um líquido se espalhar ou molhar a superfície de um sólido aumenta quando o ângulo de contato diminui, CHAN (1994).

Este ângulo de contato pode ser medido utilizando-se as técnicas da gota sésil como ilustra a figura 12 e da gota cativa figura 13. Esses são os dois métodos mais comuns de medida direta de ângulo de contato.

Na técnica da gota sésil, a quantificação pode ser feita do seguinte modo: colocando-se uma gota de um líquido sobre uma superfície sólida podem-se observar dois fenômenos: ou o líquido se espalha inteiramente sobre a superfície, ou permanece na forma de gota estabelecendo um ângulo de contato definido entre a fase líquida e a fase sólida.



γ_{SL} : energia interfacial entre as fases sólido e líquido,

γ_{SV} : energia interfacial entre as fases sólido e vapor,

γ_{LV} : energia interfacial entre as fases líquido e vapor.

Figura 12: Método da gota sésil.

Na técnica da bolha cativa, uma amostra sólida é imersa num líquido, tal como água. Então uma bolha de ar ou a gota de um líquido, que deve apresentar densidade mais baixa e ser imiscível com o líquido no qual a amostra está imersa, é liberada através de uma microseringa sob superfície sólida (figura 13). A bolha de ar ou a gota de líquido sobe e se deposita na superfície da amostra, formando a interface. O ângulo de contato formado é usualmente medido através de um goniômetro ou uma câmera de vídeo.

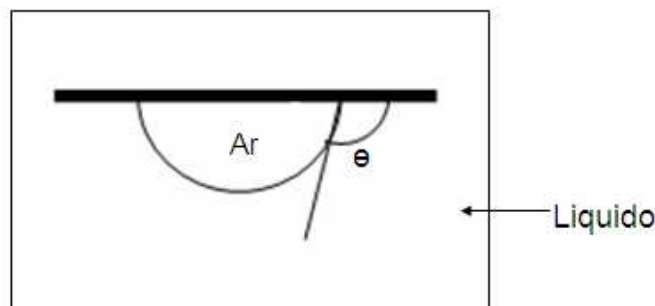


Figura 13: Método da bolha cativa

II. 8.2. Energia livre ou tensão de superfície

As moléculas que estão na superfície de um material estão submetidas a condições diferentes daquelas que estão no meio do material. As moléculas presentes no interior do material, estão sob ação de forças de atração intermoleculares em todas as direções, enquanto as moléculas que constituem a superfície são atraídas para seu interior e para os lados, e não há compensação dessas forças para fora da superfície. Desse equilíbrio de forças surge uma força tangencial à superfície conhecida como tensão superficial que pode ser definida como o trabalho necessário para aumentar uma superfície em uma unidade de área, reversivelmente, CHAN (1994).

As moléculas da superfície tendem a se orientar para o volume, devido sofrerem uma atração simétrica, consequentemente, uma forma geométrica com menor área é preferida, por exemplo, gotas esféricas em líquidos. No caso de líquidos, a tensão superficial pode ser definida como uma força atuando paralelamente à superfície por unidade de comprimento. Porém, no caso dos sólidos, as moléculas que atuam na superfície não são equivalentes e a velocidade com que elas podem se arranjar de maneira a se tornarem equivalentes é pequena, CHAN (1994).

Não há métodos diretos para medição de energia livre ou tensão superficial de sólidos. Entretanto, existem vários métodos indiretos empíricos e semi-empíricos baseados na medição de ângulo de contato, CHAN (1994).

II. 9. Adesão

Adesão pode ser definida como a união de dois materiais e é uma propriedade superficial relevante em muitas aplicações de materiais poliméricos. Por exemplo, a adesão de pinturas nos pára-choques de carros, a adesão estável de uma fina camada metálica em objetos de decoração, união de estruturas de plástico de engenharia usando adesivo, entre outras. Uma condição necessária para obter adesão é contato firme entre as duas partes, ou seja, de difícil separação das partes aderidas, SCHULTS (1994).

Neste sentido a adesão é de importância fundamental para a indústria têxtil e de vestuário, e para grande parte dos materiais confeccionados à base de substratos têxteis.

Entre outras aplicações nas quais a propriedade de adesão é essencial para tecidos, podemos citar o processo de estamparia à base de pigmentos, acabamentos à base de resinas, costados para indústria de abrasivos, etc., SANCHEZ (2004).

A complexidade da interface é um fator que influencia bastante no mecanismo de adesão de tecidos. A composição de um tecido envolve vários níveis de complexidade. Existe o filamento ou fibra que são usados para formar um fio simples. Os fios simples são retorcidos em pares ou em número maior para formar os fios que são usados para fazer o tecido, e há várias possibilidades de estrutura para os tecidos. O polímero ou tratamento a ser aplicado pode penetrar ou não nos vários níveis da estrutura do tecido.

II. 9.1. Mecanismos de adesão

Várias teorias têm sido propostas para explicar o fenômeno da adesão. Hoje é, geralmente, reconhecido que diferentes mecanismos trabalham, individualmente ou em conjunto, em um dado sistema particular. Atualmente, seis mecanismos envolvendo forças físicas ou químicas são considerados: ligação mecânica, adsorção física, interdifusão, atração eletrostática e ligações químicas, camada limite fraca, SCHULTS (1994).

II. 9.1.1. Ligação mecânica

A adesão mecânica é o tipo de adesão onde não há formação de ligação química entre o substrato e o aderente. Esse mecanismo proposto por Macbain e Hopkins em 1925, é um mecanismo comumente aceito. A junção se dá através da penetração do adesivo em forma líquida nos poros, fissuras e rugosidade do substrato, que posteriormente se solidifica através da evaporação do solvente, ou por reação química, formando pontos de adesão mais fortes onde se consegue a ancoragem do aderente. Um dos exemplos de ilustração mais consistentes foi dado por Borroff e Wake, que mediram a adesão entre borracha e tecido SCHULTS (1994).

Ligação mecânica contribui principalmente para ligações adesivas em materiais porosos tais como madeira e tecidos como citado por SELLIN (2002).

II. 9.1.2. Adsorção física

É caracterizada tipicamente por forças de van der Waals, forças de Keelson, forças de Debye e forças de dispersão de London. As forças de Keelson que surgem de moléculas com dipolos permanentes; as forças de Debye causadas por uma molécula com dipolo permanente induzindo um dipolo a outra molécula vizinha por polarização e as forças de dispersão de London originadas de dipolos instantâneos produzidos pelo movimento de elétrons dentro da molécula. Estas forças de London representam a maior parte ou totalmente as

forças atrativas em polímeros tais como polietileno (PE), como mostrado por SCHULTS (1994).

II. 9.1.3. Interdifusão

A teoria da interdifusão considera que é possível formar adesão entre dois sistemas poliméricos pela difusão das suas moléculas, de uma superfície para outra. Para dois polímeros em contato, a interdifusão ocorre se as cadeias são móveis (ou seja, a temperatura deve estar acima da temperatura de transição vítrea dos dois) e compatíveis. Como muitos polímeros são incompatíveis, incluindo aqueles com estruturas químicas muito similares como polietileno e polipropileno, geralmente a teoria da interdifusão é aplicada apenas quando há fusão das superfícies dos polímeros, ou quando suas superfícies são cobertas com adesivos de contato e são pressionadas. A adesão depende da quantidade de entrelaçamento molecular e do número de moléculas envolvidas, SCHULTS (1994).

A interdifusão pode ser promovida pela presença de solventes e plastificantes, e a difusão dependerá da conformação molecular dos constituintes e da facilidade de movimentação molecular, SCHULTS (1994).

II. 9.1.4. Atração eletrostática

A teoria da atração eletrostática foi proposta primeiramente por Deryaguin em 1948. Esta teoria aplica-se aos sistemas que contêm componentes polares, responsáveis pelo mecanismo inicial de adesão na interface por forças de atração eletrostática. Com o passar do tempo, sob ação da temperatura, há mobilidade molecular suficiente para promover o processo de difusão. As forças de atração entre duas superfícies, uma de carga positiva e a outra de carga negativa, como nas interações ácido-base e ligações iônicas, são responsáveis pela resistência de adesão da interface, SCHULTS (1994).

II. 9.1.5. Ligações químicas

O mecanismo envolve formação de ligações covalentes, iônicas ou de hidrogênio, entre o adesivo e o substrato. A formação dessas ligações depende da reatividade do adesivo e do substrato. Ligações covalentes podem ser formadas entre grupos isocianatos de adesivos e átomos de hidrogênio ativos (como hidroxila) presentes na superfície de materiais, como por exemplo, madeira ou papel onde ligações Si-O e C-O podem ser formadas e ocasionar forte adesão. Outra possibilidade é a reação de adesivo epóxi com a superfície contendo grupos amina para dar ligações C-N. Por exemplo, ligações de hidrogênio provavelmente contribuem para aderir selos postais em envelopes, nos quais o adesivo (poli álcool vinílico) e o papel (celulose) contêm grupos – OH, COMYN (1997).

BRIGGS et al (1980) mostraram que a auto-adesão de filmes de polietileno tereftalato tratados por corona ocorre via ligações H dos grupos fenólicos com grupos carbonilas CH_3 do filme tratado.

II. 9.1.6. Camada limite fraca

Superfícies limpas podem ligar-se fortemente a adesivos, mas contaminantes, tais como ferrugem, óleos e graxas prejudicam a adesão. Porém, em todos os contaminantes formam camadas limites fracas, e em algumas circunstancias podem ser dissolvidas pelo adesivo. Por exemplo, adesivos acrílicos apresentam algumas propriedades superiores às dos epóxios por dissolverem óleos e graxas melhorando assim a adesão, COMYN (1997).

No caso de polímeros, dos vários mecanismos de adesão descritos anteriormente, interações químicas e adsorção física têm um caráter geral e ampla aplicação. As interações e ligações dependem da natureza química dos substratos, do contato íntimo (força de atração) das partes a serem aderidas e das condições onde a adesão é estabelecida. Desta forma, a melhor maneira de aumentar as propriedades de adesão dos polímeros parece envolver suas propriedades químicas, as quais podem ser modificadas por tratamentos de superfície.

II. 10. Tratamentos de superfície em polímeros

Os polímeros, em geral, apresentam superfície quimicamente inerte, não porosa e com relativa baixa energia de superfície. As poliolefinas (PP, PEAD, PEBD, etc), por exemplo, são polímeros altamente hidrofóbicos (apolares) e com baixa energia livre superficial (31 e 38 mN/m para PE e PP, respectivamente; Zisman 1964). Do ponto de vista de contaminação de superfície, a baixa energia livre superficial e a inércia química, são vantajosas, porém estas propriedades tornam as superfícies destes materiais não receptivos a aderência de outras substâncias.

Um valor de energia livre superficial satisfatório varia em função da aplicação do polímero, ou seja, das exigências de adesividade requeridas. Geralmente, a superfície de um polímero deve apresentar energia livre superficial de 10 a 20 mN/m superior à do material com o qual irá interagir. Um polímero com energia superficial de 30 mN/m precisaria ter energia livre superficial mínima de 40 mN/m para impressão, 42 mN/m para laminação e plastificação e de 45 mN/m para união de adesivos como citado por GIORDANO (2007).

Modificações superficiais têm sido feitas, em produtos manufaturados com polímeros com intuito de: Introduzir grupos funcionais, aumentar a energia superficial, aumentar a molhabilidade, aumentar a inércia química, introduzir ligações cruzadas, remover camadas fracamente ligadas ou contaminantes, modificar a morfologia superficial (rugosidade ou cristalinidade), aumentar a adesão, CHAN (1994).

Dentre as diversas técnicas de modificação de superfície pode-se incluir o tratamento mecânico, por chama, corona, plasma, fótons, feixes de íons, e tratamento com reagentes químicos.

II. 10.1. Tratamento Mecânico

Este tipo de modificação de superfície envolve técnicas simples como esfregação com misturas abrasivas, jateamento de areia, etc. Estes

procedimentos são fáceis de aplicar, porém apresentam muitas desvantagens. É difícil controlar a quantidade de material removido no procedimento, irregularidades na superfície podem ser produzidas por deficiência no controle das variáveis do processo, sedimentos ou areias podem continuar depositados na superfície após o tratamento, necessitando de limpeza da superfície após o tratamento. No entanto métodos mecânicos de modificação de superfície são bastante usados na preparação de polímeros para adesão com outros materiais, nos casos onde ligações fortes e especificações rígidas não são necessárias, SNOGREN (1974).

II. 10.2. Tratamento por Chama

O fogo, provavelmente o mais antigo plasma conhecido pela humanidade, tem sido usado em várias indústrias em tratamento de superfície de polímeros. A chama pode ser usada para tratar superfície de objetos poliméricos com formas irregulares e esse tratamento tem sido bem aplicado em filmes. As variáveis mais importantes para o tratamento por chama são: composição da mistura gasosa (relação ar/gás), distância entre a chama e o objeto a ser tratado e tempo de tratamento. A oxidação da superfície polimérica através do tratamento por chama pode ser atribuída à alta temperatura da chama (1000 a 2000 °C) ou reações com as espécies excitadas presentes na chama, CHAN (1994).

II. 10.3. Tratamento com reagentes químicos: CHAN (1994)

Neste tratamento, os polímeros são imersos em reagentes químicos durante certo período de tempo a uma dada temperatura. Nestas condições ocorre a oxidação superficial e aumento da rugosidade, ocasionando melhora das propriedades de molhabilidade e adesão do polímero. Vários reagentes químicos (ácidos, bases, solventes, etc.) ou soluções destes podem ser usados e as escolhas do reagente e das condições experimentais dependem da natureza do polímero a tratado.

No caso do uso de solventes as superfícies são por estes atacadas fazendo-as incharem e amolecerem, permitindo adesão com pressão moderada.

O solvente deve ser suficientemente volátil para evaporar num intervalo de tempo razoavelmente pequeno, para dar uma forte adesão. Se muito solvente for usado o polímero pode se dissolver, ou distorções das partes podem ocorrer na interface da solda. Por outro lado, quantidades inadequadas de solvente resultam em áreas que são amolecidas e então não participam na formação da solda, levando assim a uma junção fraca.

Embora o tratamento químico de superfície de polímeros usando reagentes químicos tem mostrado resultados satisfatórios no sentido de melhorar propriedades adesivas, seu uso é complicado pelo fato de que os solventes usados e resíduos formados são indesejáveis do ponto de vista ambiental e progressivamente vem sendo substituído por outros tratamentos menos poluentes.

II. 10.4. Tratamento por feixe de íons

Íons são espécies com alta capacidade de transferência de energia que podem causar vários efeitos na morfologia e estado químico de superfícies poliméricas. A interação fundamental entre um feixe de íon e um filme polimérico ocorre através de colisões elásticas e inelásticas entre os íons que são projetados e os átomos ou moléculas da superfície polimérica. Esta interação provoca, principalmente, quebra de cadeias, evaporação, carbonização, ionização e produção de radicais livres, os quais gradual e continuamente modificam ou degradam as propriedades químicas e físicas de polímeros. A modificação superficial depende da energia e do tipo de íon usado, da dose do feixe e da natureza do polímero, CHAN (1994).

II. 10.5. Tratamento por Plasma

Existem várias definições para o termo plasma, de acordo com as várias áreas nas quais é empregado. Às vezes mencionado como o quarto estado da matéria por demonstrar ter propriedades diferentes em relação àquelas apresentadas pelos gases, líquidos e sólidos. Plasma pode ser definido como sendo um estado diluído da matéria, semelhante a um gás ionizado, no qual partículas carregadas (átomos, moléculas, íons positivos e negativos, radicais e

espécies excitadas) estão em tais proporções que o meio está globalmente neutro CHAN (1994).

A geração do plasma é parecida com as transições que ocorrem quando energia é fornecida a um material, causando a fusão de um sólido e a evaporação do líquido. Se uma energia adicional suficiente for adicionada ao material, o gás se tornará um plasma.

Dependendo do estado térmico do gás ionizado, podem existir dois tipos de plasma, o quente e o frio. Geralmente plasmas quentes caracterizados por temperaturas entre 1500 e 3500 °C são utilizados na metalurgia em tratamentos para aumentar a dureza das ligas metálicas, revestimento superficial, etc. Os plasmas frios, com temperatura inferiores a 100 °C são mais adequados no tratamento de polímeros e materiais com baixo ponto de fusão, GARBASSI (1994).

A modificação de uma superfície polimérica exposta ao plasma ocorre através do impacto das espécies fortemente reativas do plasma com as moléculas superficiais do polímero, ocasionando reações que vão modificar a composição da superfície. As ligações iniciais dos polímeros são trocadas por novas funções, as quais alteram a energia superficial do material. A profundidade de penetração do plasma está em torno de 10 °Å e 100 µm, e uma quantidade de polímero é removida. O tratamento por plasma pode ser aplicado a uma grande variedade de plásticos incluindo poliolefinas, poliésteres e polímeros fluorados, CHAN (1994).

A melhoria da adesão pode ser atribuída principalmente à introdução de grupos polares (aumento da molhabilidade), formação de ligações cruzadas, formação de forças eletrostáticas (polaridade) e difusão interfacial (diminuição da viscosidade e aumento da molhabilidade provocada pela cisão de cadeias), CHAN(1994).

O tratamento por plasma é um processo de grande importância industrial na modificação de superfície polimérica, visto que pode gerar diferentes processos com simples substituição do gás de plasma: argônio, oxigênio, ar, vapor de água,

nitrogênio, etc., podendo produzir superfícies com propriedades desejadas para diferentes aplicações. Em geral, o tratamento de um polímero com plasma de oxigênio pode aumentar a sua energia de superfície, enquanto que o tratamento plasma de flúor pode diminuir sua energia superficial e inércia química. Também a densidade de ligações cruzadas na superfície de um polímero, pode ser aumentada através da utilização de um plasma de gás inerte, o que inibe a migração de oligômeros da massa para a superfície e permite a reorientação de grupos hidrofílicos, CHAN (1994).

Assim, as mudanças que ocorrem na superfície do substrato dependem da composição química do polímero e dos gases utilizados.

O plasma tem sido aplicado com sucesso em várias áreas da ciência de materiais, como por exemplo, nas indústrias têxteis, HOCKER (2002), de plásticos e borrachas, CARNEIRO (2001), DUTRA (2002), em substituição aos processos físico-químicos convencionais.

HOSSAIN (2006) observou um aumento significativo na molhabilidade e capilaridade de tecido de poliéster tratado por plasma, em várias atmosferas (CO_2 , vapor de água, He, ar/O_2). Essas alterações nas propriedades de superfície do material foram atribuídas à formação de grupos hidrofílicos tais como – OH, - OOH, - COOH, etc.. A aplicação de plasma de etileno em fibra de poliéster para uso como reforço para uma matriz de polietileno teve como resultado o aumento da força de adesão de 1 para 2.5 N/mm.

II. 10.6. Tratamento por radiação de fótons ou Ultravioleta

A luz UV e o laser são utilizados para modificar superfícies de polímeros em algumas aplicações específicas. Lasers são fontes de fótons caracterizados pela coerência de energia cujas intensidades podem ser altíssimas. Assim como as fontes de fótons convencionais, eles podem ser usados para promover reticulação ou efeitos de cisão de cadeias. Esse tratamento tem como principal vantagem a possibilidade de tratamento de áreas pequenas e localizadas, CHAN (1994).

A luz UV possui uma profundidade de penetração limitada, no entanto a alta absorção pelos polímeros propicia a quebra de ligações. Seu uso na modificação de superfície de polímeros tem sido caracterizado por descargas silenciosas, simplicidade na montagem e facilidade de manuseio, além da possibilidade de irradiar áreas com geometria complexas, CHAN (1994).

OWENS (1975) estudou a auto-adesão de filmes de PET irradiados com luz ultravioleta de ondas curtas. A foto-oxidação da superfície dos filmes levou à formação de grupos químicos de ondas curtas, levando à formação de grupos químicos capazes de promover a auto-adesão, e foi mostrado a partir de testes químicos e físicos que a ligação adesiva consistia da ligação de pontes de hidrogênio entre o hidrogênio dos grupos fenólicos criados pela radiação UV em uma superfície e grupos carboxílicos e carbonilas na outra superfície.

II. 10.7. Tratamento por descarga corona

A aplicação do plasma em materiais têxteis foi efetuada pela primeira vez em 1956, por Paul Kassenbeck, no instituto Têxtil da França, fazendo atuar a descarga corona sobre lã e “mohair”. O tratamento de tecidos, fios e fibras têxteis (artificiais e naturais), por plasma tem sido estudado como alternativa para melhorar propriedades de superfícies desses substratos. Esses estudos têm mostrado melhoras na adesão, na molhabilidade, tingibilidade, bem como na redução do índice de encolhimento do material, HOCKER (2002), SANCHES (2004), HOSSAIN (2006).

O tratamento por descarga corona é amplamente utilizado na modificação de propriedades de superfície de materiais, principalmente dos polímeros, devido a sua facilidade de construção, baixo custo de manutenção e facilidade de operação, XU (2003).

A descarga corona é gerada a partir de uma diferença de potencial elétrica aplicada entre dois eletrodos, que pode ter várias geometrias (ponta-plano, esfera-plano, bastão-plano, placas paralelas, placa-rolo, etc.). Nas regiões de elevado campo elétrico, a descarga corona aparece como uma luminescência de cor azul

clara e os portadores de cargas gerados interagem com as moléculas de gás (ar, N₂, O₂, e outros) originando espécies ativas tais como íons, radicais e moléculas excitadas. Essas espécies ativas são entregues à superfície do material, podendo causar modificações em suas propriedades de superfície.

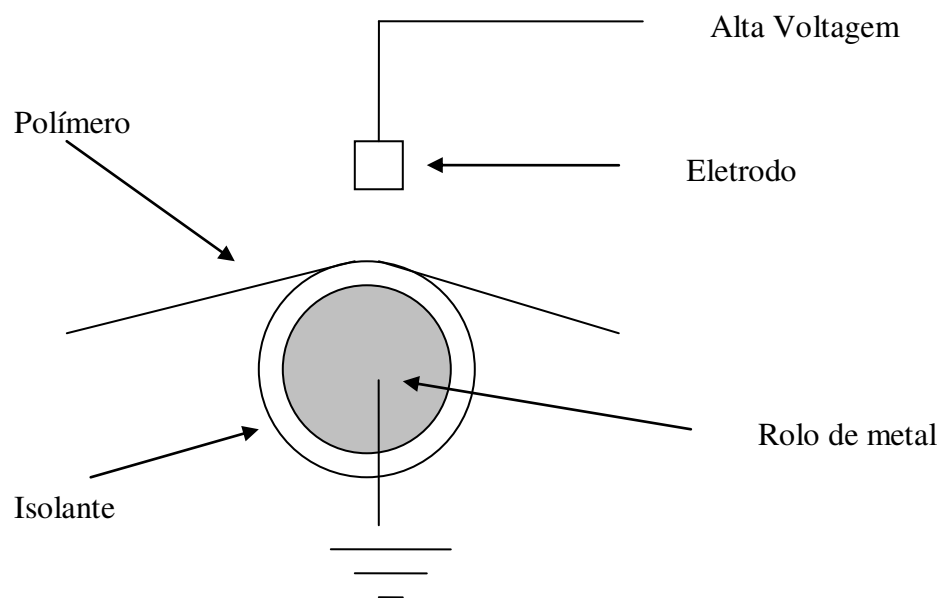


Figura 14: Sistema corona placa rolo, CHAN (1994).

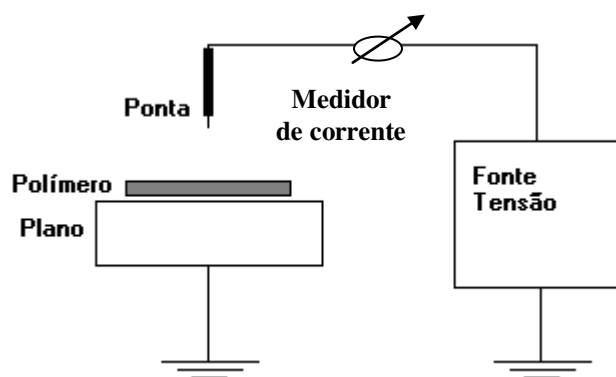


Figura 15: Sistema corona ponta-plano, SINÉZIO (1990).

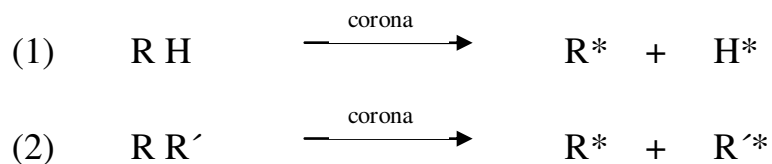
II. 10.7.1. Efeito da Descarga Corona na Superfície de Polímeros

Os dois parâmetros mais importantes que controlam as propriedades de superfície do filme tratado são o tempo de tratamento e a diferença de potencial (tensão) entre os eletrodos. Outros fatores que influenciam essas propriedades são a distância entre o eletrodo e o substrato, a umidade relativa do ar e a temperatura de tratamento. A natureza do polímero às vezes se torna um fator extremamente importante na determinação de cada um dos parâmetros citados acima. Por exemplo, o tratamento corona tende a aumentar a adesão de filmes de polietileno, no entanto à medida que a densidade dos mesmos aumenta, o tratamento corona tende a diminuir esse efeito, CHAN (1994).

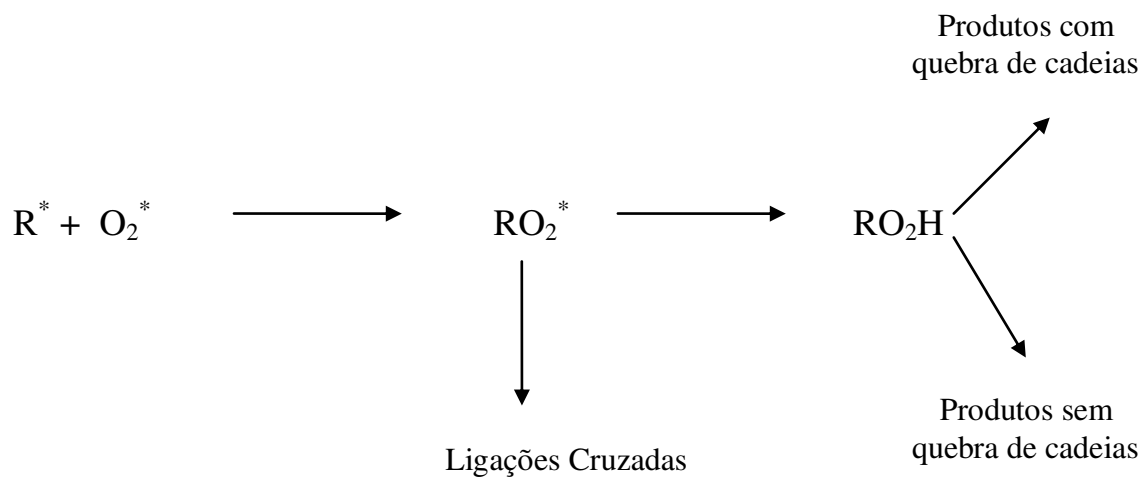
As teorias propostas para explicar o aumento de adesão nos polímeros tratados por descarga corona incluem: limpeza da superfície, aumento da rugosidade, introdução de grupos polares devido à oxidação e outras mudanças químicas na região da superfície. Atualmente é amplamente aceito que o tratamento corona resulta no aumento de energia devido à introdução de grupos polares na superfície polimérica, melhorando sua adesão e molhabilidade. O tratamento corona pode também promover a formação de ligações cruzadas em algumas regiões da superfície, proporcionando um aumento na força de coesão do filme, CHAN (1994).

As reações entre uma superfície polimérica e uma descarga corona envolve geração de radicais livres. Elétrons, íons, moléculas excitadas, e fótons que estão presentes na descarga, podem reagir com a superfície polimérica para formar radicais, CHAN (1994),

Ex:

Figura 16: Formação de radicais (R^*)

Esses radicais reagem rapidamente com o oxigênio da atmosfera podendo formar ligações cruzadas e funcionalizar a superfície polimérica com e sem quebra de cadeias:

Figura 17: Reação entre radicais (R^*) e oxigênio (O_2^*)

BRIGGS et al (1980) trataram filmes de poli(etileno tereftalato) (PET) com descarga corona em ar, e mostraram que o tratamento induziu a quebra de ligações, formação de grupos fenólicos (OH) e ácidos carboxílicos (COOH) na

superfície, resultando no aumento da molhabilidade e adesão, via ligação –H dos grupos fenólicos com grupos carbonilas.

OWENS (1975) propôs um mecanismo de cisão de cadeia para formação de grupos fenólicos em PET, tratado por descarga corona.

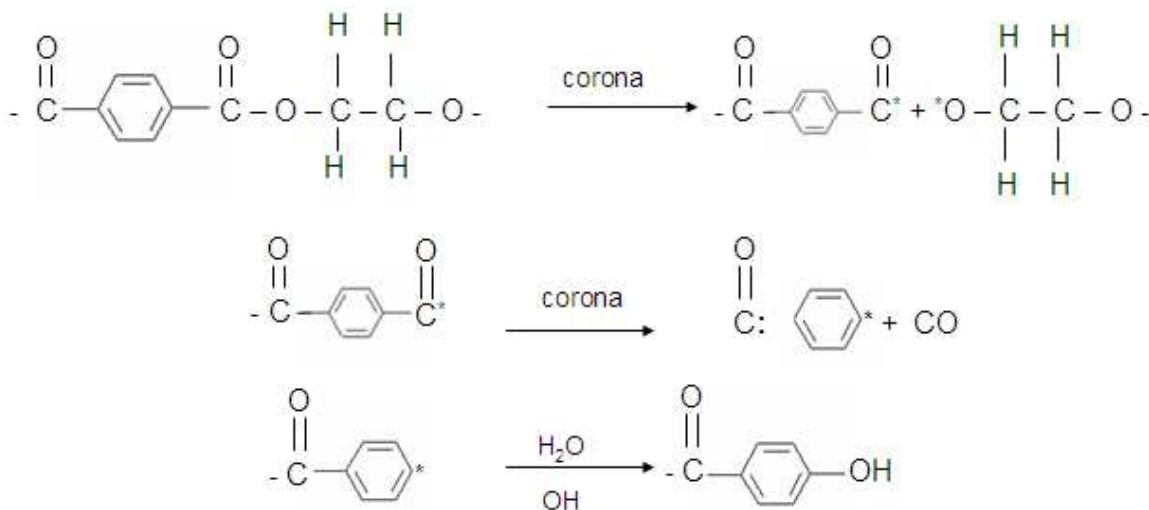


Figura 18: Mecanismo de formação de fenol em filme de PET tratado por descarga corona, como proposto por OWENS (1975).

A tecnologia de descarga corona é também largamente utilizada em impressão de filmes poliméricos. O tratamento tem confirmado ser mais simples que todos os outros métodos químicos e físicos, pois as amostras são rapidamente tratadas sob pressão atmosférica.

MENDES e SINÉZIO (2005) trataram filme de poliéster com descarga corona e observaram a formação de grupos –OH, C=O, C–O e a diminuição do ângulo de contato de 74° para 24°. Observaram também que o efeito do tratamento diminui com o passar do tempo e acaba se estabilizando a partir do centésimo dia.

Atualmente varias pesquisas têm introduzido descarga corona no tratamento de superfície de materiais têxteis melhorando a estampagem, a hidrofiliidade, adesão e propriedade de resistência ao encolhimento, SOUTO (2001), GIORDANO (2007).

XU e Liu (2003) trataram tecidos de poliéster com descarga corona e também observaram aumento na hidrofiliidade. Após o tratamento o tecido foi tingido e observou-se um tempo menor gasto para o corante se incorporar à fibra em relação ao tecido sem tratamento. Isso pode reduzir o tempo de tingimento e por consequência o custo.

GIORDANO e SINÉZIO (2005) observaram em tecido de poliéster tratado por descarga corona, aumento de adesão de estampas feitas com pasta à base de água usando espessante sintético tipo emulsão inversa e pigmento.

II. 11. Ensaios de tração e alongamento: SAVILLE (1999)

As propriedades mecânicas constituem uma das características mais importantes dos materiais em suas várias aplicações na engenharia, visto que o projeto e a fabricação de produtos se baseiam principalmente no comportamento destas propriedades.

O ensaio de tração consiste em submeter o material a um esforço que tende a alongá-lo até a ruptura. Os esforços ou cargas são medidos na própria máquina de ensaio, ODIAN (1991).

Os ensaios de tração permitem conhecer como os materiais reagem aos esforços de tração, quais os limites de tração que suportam e a partir de que momento se rompe, ODIAN (1991).

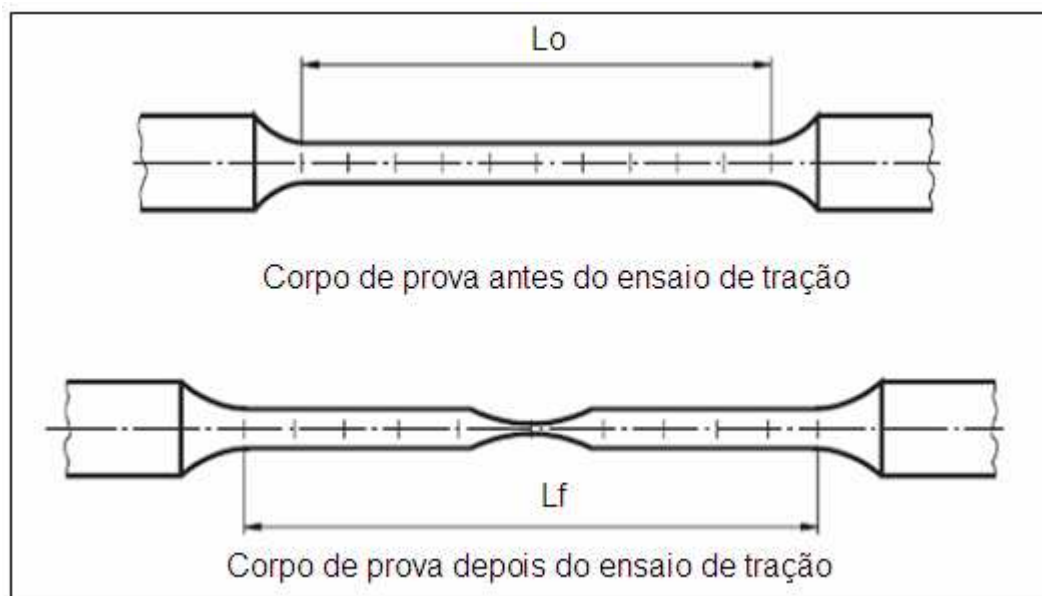


Figura 19: Alongamento de corpo de prova em ensaio de tração

Na norma brasileira, o alongamento é representado pela letra A e é calculado subtraindo-se o comprimento inicial do comprimento final e dividindo-se o resultado pelo comprimento inicial como mostra a equação 3.

$$A = \frac{L_f - L_0}{L_0} \quad (3)$$

A – Alongamento

L_0 – comprimento inicial

L_f – Comprimento final

A força de tração atua sobre a área da seção transversal do material. Tem-se assim uma relação entre essa força aplicada e a área do material que está sendo exigida, denominada tensão.

$$T = \frac{F}{S_0} \quad (4)$$

T – tensão

F – Força

S_0 – Seção transversal inicial

O gráfico que mostra as relações entre tensão e deformação é conhecido por diagrama tensão-deformação.

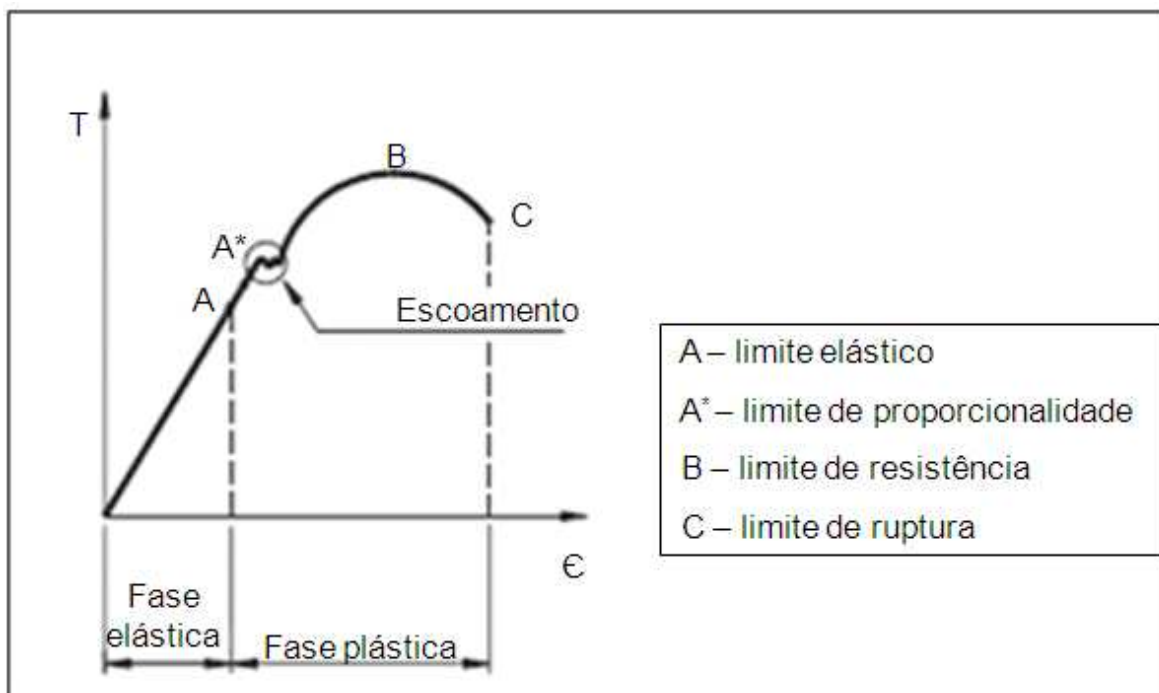


Figura 20: Diagrama de tensão-deformação

Limite elástico – É o ponto até o qual o material tem comportamento elástico, ou seja, se o ensaio for interrompido antes deste ponto e a força de tração for retirada, o corpo volta à sua forma original. Até esse ponto, a deformação do material é proporcional à força aplicada.

Limite de proporcionalidade – É o ponto a partir do qual a deformação deixa de ser proporcional à força aplicada. Na prática, considera-se que o limite de proporcionalidade e o limite de elasticidade são coincidentes.

Escoamento - Terminada a fase elástica, tem início a fase plástica, na qual ocorre uma deformação permanente no material, mesmo que se retire a força de tração. No início da fase plástica ocorre um fenômeno chamado escoamento. O escoamento caracteriza-se por uma deformação permanente do material sem que haja aumento de carga, mas com aumento da velocidade de deformação. Durante o escoamento a carga oscila entre valores muito próximos uns dos outros.

Limite de resistência – Após o escoamento, o material passa a resistir cada vez mais à tração externa, exigindo uma tração cada vez maior para deformá-lo. Nessa fase a tensão começa a subir, até atingir um valor máximo chamado de limite de resistência.

Limite de Ruptura – é o ponto em que a força aplicada provoca o rompimento do material.

CAPITULO III – MATERIAIS E MÉTODOS

III. 1. Materiais:

- Tecido plano de poliéster 100 %.
 - Urdume 36 fios/cm 30 tex
 - Trama 24 fios/cm 80 tex
 - 350 g/m²
- Corante disperso;
- Pigmentos;
- Espessante sintético;

III. 2. Equipamentos e acessórios

- Sistema de descarga corona (fio-plano): desenvolvido pelo Grupo de Física de Polímeros do Depto. Tecnologia de Polímeros da Fac. Eng. Química /UNICAMP;
- Dinamômetro – Laboratório FATEC – Americana;
- Aparelho de tingimento HT – Laboratório FATEC – Americana;
- Rama – Laboratório FATEC – Americana;
- Foulard – Laboratório FATEC – Americana;
- Balança (precisão 0,001 g);
- Cronômetro digital;
- Outros: vidrarias e demais acessórios necessários ao desenvolvimento do trabalho.

III. 3. Metodologia

III. 3.1 Tratamento Térmico ou Termofixação

A rama é um equipamento geralmente utilizado para secagem, termofixação e fixação de corantes em materiais têxteis. Apresenta suporte de fixação das amostras, dispositivo que introduz automaticamente a amostra à câmara aquecida, e controle de tempo e temperatura.



Figura 21: Rama. Laboratório FATEC – Americana

Recortaram-se amostras de tecido de poliéster em dimensões 300 x 60 mm e prepararam-se as mesmas para o ensaio de resistência à tração e alongamento nos sentidos da trama e do urdume, segundo a norma NBR 11912, e em seguida submeteu-se essas amostras à termofixação variando-se o tempo e a temperatura. Fez-se termofixações a 120, 160, 180, 200 e 220 °C sendo que para cada uma dessas temperaturas variou-se o tempo em 30, 60, 90 e 200 segundos, sendo que para cada um destes ensaios foram preparadas amostras independentes.

Termofixou-se também amostras de tecido de poliéster com dimensões 500 mm x 300 mm. Essas amostras foram submetidas a tratamento corona, tingimento, estampagem, teste de hidrofiliidade.

Fez-se a termofixação em uma rama de laboratório pré-aquecida, ou seja, colocaram-se as amostras dentro do equipamento quando o mesmo já havia atingido a temperatura pré-estabelecida. Prenderam-se as amostras no suporte da rama sem tensão. Para cada tempo em cada temperatura usou-se cinco amostras, para cada sentido do tecido (trama e urdume), com as mesmas dimensões.

III. 3.2 Encolhimento

Observou-se o encolhimento do tecido, comparando-se as amostras de tecido de poliéster antes e depois da termofixação. Mediram-se as dimensões das amostras antes de serem termofixadas e após a termofixação e calculou-se o percentual de encolhimento pela equação 5.

$$E_{\%} = \frac{L_0 - L_f}{L_0} \cdot 100 \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

$E_{\%}$ = Percentual de encolhimento

L_0 = Comprimento inicial da amostra

L_f = Comprimento final da amostra

III. 3.3 Densidade de fios

A densidade de fios de um tecido é o número de fios que ele possui em cada centímetro linear. Sendo assim temos a densidade dos fios de urdume (fios no sentido do comprimento do tecido) e dos fios de trama (fios no sentido da largura do tecido).

Para determinar a variação do número de fios por centímetro linear do tecido de poliéster promovida pela termofixação, contou-se o número de fios por centímetro das amostras antes e depois da termofixação. A partir dos resultados encontrados, calculou-se o percentual de variação do número de fios por centímetro linear de tecido, e para isso usou-se a equação 6.

$$VN\% = \frac{N_f - N_0}{N_0} \cdot 100$$

Equação (6)

Onde:

$VN\%$ = Percentual da variação de número de fios por centímetro linear de tecido;

N_0 = Número de fios por centímetro linear de tecido antes da termofixação;

N_f = Número de fios por centímetro linear de tecido depois da termofixação.

III. 3.4. Tratamento corona

Nesse trabalho utilizou-se, para aplicar descarga corona no tecido, o sistema do tipo fio-plano como mostra a figura 22.



Figura 22: Sistema de descarga corona tipo fio-plano. Laboratório FATEC – Americana.

Trataram-se amostras de tecido de poliéster termofixadas e sem termofixar com descarga corona variando-se o tempo de tratamento de 1 a 20 min mantendo-se a altura de exposição fixa em 1 cm, em temperatura de 25 °C e umidade relativa do ar 55%. O potencial aplicado entre eletrodos foi de 5000 volts.

III. 3.5 Hidrofilidade

A fim de verificar possíveis alterações promovidas pela termofixação na capacidade do tecido absorver água, foram feitos testes de hidrofilidade em amostras de tecido de poliéster sem termofixar e em amostras termofixadas a 160, 180, 200 e 220 °C nos tempos de 30, 60 e 90s. Mediu-se a hidrofilidade do tecido através da análise de absorção de gota de solução de corante depositada na superfície do tecido, de acordo com a norma NBR 13000 - Determinação da Hidrofilidade do Tecido, cuja metodologia é a seguinte:

1. Montar o tecido em um bastidor de bordado.
2. Ajustar a bureta contendo a solução de corante, de modo a liberar uma gota de solução a (20 ± 2) °C. O tempo de formação da gota deve ser de 5s.
3. Segurar a superfície do tecido esticada, 40 mm abaixo da ponta da bureta.
4. Acionar o cronômetro exatamente no momento em que a gota tocar o tecido.
5. Parar o cronômetro quando a solução de corante sobre o tecido for completamente absorvida.

Também foram feitas análises pelo método de ascensão capilar que é baseado na norma JIS L1004 e consiste em colocar as amostras na posição vertical, e mergulhar uma das extremidades do tecido na solução de corante, como mostra a figura 23, e observar a altura da coluna de solução absorvida em um determinado tempo que para esse trabalho foi 15 min.

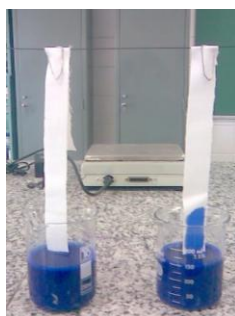


Figura 23: Medição de hidrofilidade por capilaridade

III. 3.6. Resistência à tração e alongamento

O Dinamômetro é o equipamento utilizado para medir a resistência dos tecidos à tração. O equipamento é composto basicamente de um motor de movimento, um suporte de garras, onde amostras de tecidos são fixadas e também de um sistema de registro de força, o qual mostra a carga necessária para romper determinada amostra de tecido (carga de ruptura) em kgf. Simultaneamente é registrado também o valor de alongamento da amostra em % no momento de ruptura.



Figura 24: Dinamômetro. Laboratório FATEC - Americana

Os testes de determinação de resistência à tração e alongamento do tecido foram feitos de acordo com a norma NBR 11912, cuja metodologia é a seguinte:

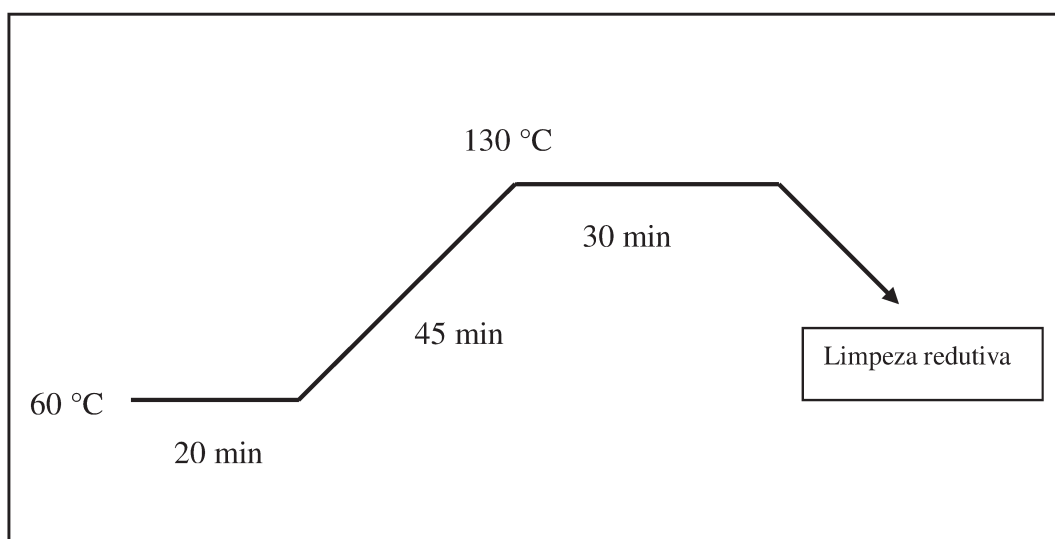
1. Cortar da amostra corpos-de-prova de 300 mm x 60 mm, no sentido do urdume e trama, de modo que o lado de maior dimensão esteja paralelo aos fios que estão sendo ensaiados. O número mínimo de corpos-de-prova é de cinco em cada sentido.
2. Desfiar os dois lados dos corpos de prova no sentido da dimensão maior até obter uma largura de 50 mm.
3. Regular a distância entre garras para 200 mm e velocidade de afastamento das garras para 300 mm/min.
4. Fixar nas garras um corpo-de-prova centralizado.

5. Ensaiar corpos-de-prova anotando os valores da carga e alongamento.

III. 3.7. Tingimento com corante disperso

Tingiram-se com corante disperso, amostras de tecido de poliéster termofixadas e sem termofixar, com e sem tratamento corona. Os processos de tingimento foram: esgotamento (figura 25) e pad termofix (foulardagem – secagem – fixação a 180 °C por 2 min).

A figura 25 mostra as condições utilizadas no tingimento por esgotamento.



colocados o banho de tingimento e amostra a ser tingida. Os recipientes são presos em uma haste que se movimenta através de um líquido aquecido. O equipamento possui controle de temperatura.



Figura 26: Aparelho de tingimento HT. Laboratório FATEC – Americana

Tingimento por processo “Pad Termofix”:

O foulard é um equipamento utilizado nos processos contínuos de beneficiamento têxtil. É constituído basicamente de dois cilindros que irão espremer o tecido impregnado com o banho. Possui regulagem de pressão entre os cilindros e controle de velocidade de passagem do tecido. A quantidade de líquido absorvido pelo tecido é expressa em porcentagem (%) e comumente denominado de pick up, Giordano (2007). O pick up é calculado utilizando a expressão:

$$\text{Pick up \%} = \frac{\text{PU} - \text{PS}}{\text{PS}} \cdot 100$$

Equação (7)

Onde:

PU – Peso do tecido úmido (após passagem pelo foulard)

PS – Peso seco (peso inicial do tecido)



Figura 27: Foulard. Laboratório FATEC – Americana

- Velocidade: 5 m/min
- Pressão entre os cilindros: 2 bar.
- Temperatura de banho: 25 °C
- Tempo de impregnação: 3 s

Receita usada no tingimento por processo “pad termofix”:

- 0,5 g/l de corante
- 2 g/l de dispersante

O corante utilizado nesse trabalho foi o Cl: Disperse Red 167:1.

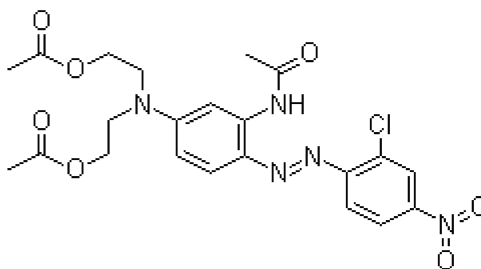


Figura 28: Estrutura química do corante Cl: Disperse Red 167:1

III. 3.8. Estampagem

Preparou-se pasta para estampagem usando a seguinte receita:

- 15 g/kg de espessante
- 10 g/kg de amoníaco
- 10 g/kg de emulsionante
- 100 g/kg de ligante
- 865 g/kg de água

Usou-se 25 g do pigmento Azul Sinter Dye ASRB-1 para cada quilo de pasta.

Estamparam-se amostras de tecido de poliéster com e sem tratamento corona usando-se quadro manual.

CAPITULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo apresentam-se os resultados e discussões desenvolvidas nesse trabalho. Apresentam-se aqui resultados para tecido de poliéster sem termofixar e termofixado em várias condições de tempo e temperatura e resultados para tecido de poliéster com e sem termofixação tratados com descarga corona.

IV. 1. Termofixação sem tratamento corona

IV. 1. 1. Encolhimento

A figura 29 apresenta os resultados das amostras do tecido de poliéster submetidas aos ensaios de encolhimento em função da temperatura de termofixação para trama (Fig. 29A) e urdume (Fig. 29B).

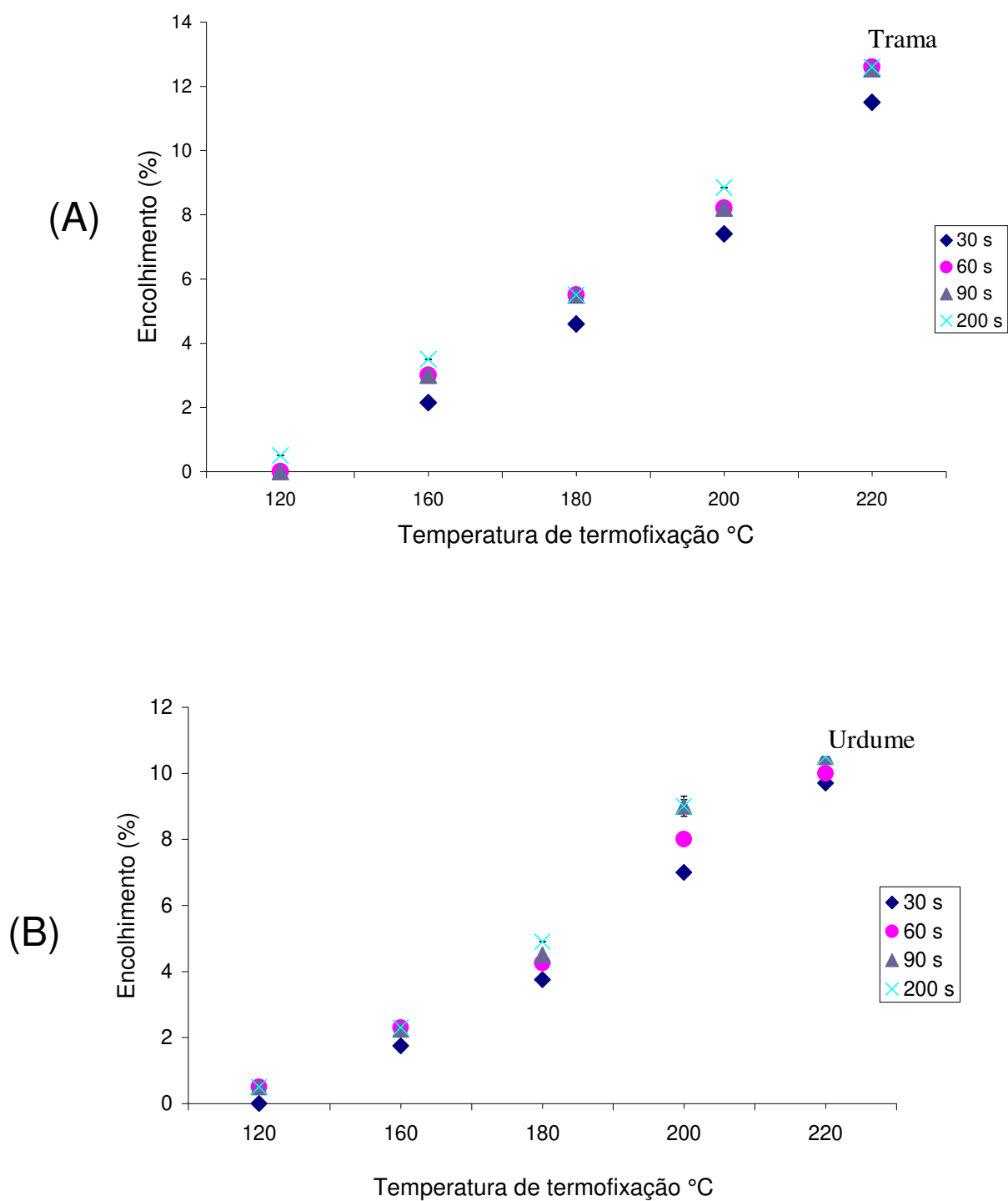


Figura 29: Encolhimento (%) em função da temperatura de termofixação para amostras de tecido de poliéster no sentido da trama (A) e no sentido do urdume (B) para tempos de termofixação de 30, 60, 90 e 200s.

Observa-se na figura 29, que o processo de termofixação promove encolhimento do tecido de poliéster no sentido da trama e do urdume, e esse encolhimento varia com a temperatura de termofixação. Pode-se observar que o encolhimento aumenta com o aumento da temperatura do processo. Observa-se que para temperatura de 120 °C o encolhimento é pequeno em comparação às demais temperaturas. Observa-se também que as porcentagens de encolhimento são muito semelhantes em relação à trama e urdume.

Observa-se também que para o tempo de termofixação 60s o tecido praticamente atinge seu encolhimento máximo em cada temperatura de termofixação, ou seja, mesmo que o tempo aumente não se observa diferença dos resultados em relação àqueles obtidos a 60s.

Pode-se notar também que independente da temperatura de termofixação o encolhimento teve o mesmo comportamento tanto para a trama como para o urdume, ou seja, aumentando-se a temperatura aumenta-se também o encolhimento do tecido.

O encolhimento pode ser observado também através da variação da densidade de fios no tecido termofixado em relação ao sem termofixar.

A figura 30 apresenta os resultados dos cálculos do percentual de variação de números de fios por centímetro linear de tecido para amostras termofixadas em relação às mesmas amostras sem termofixar.

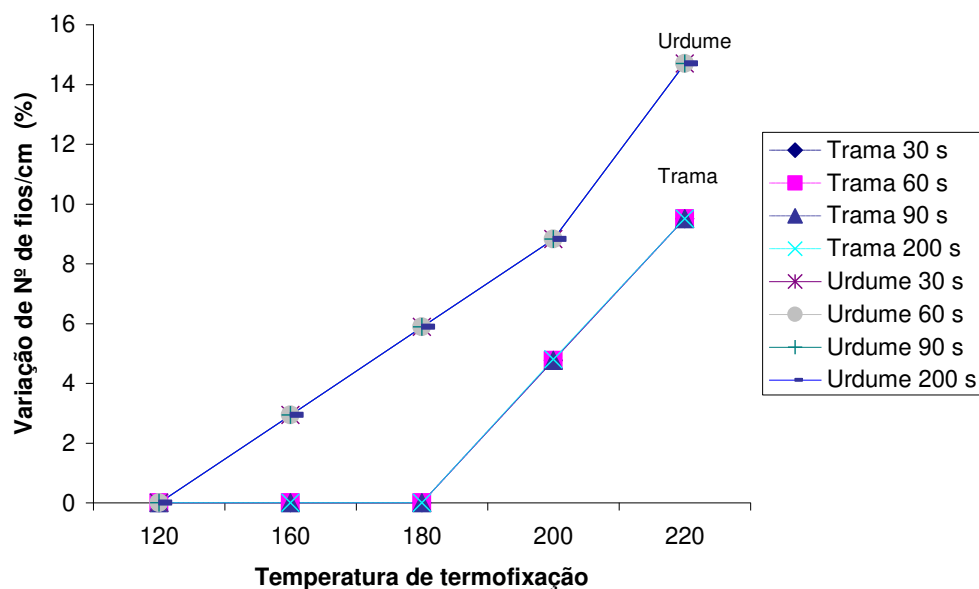


Figura 30: Variação do número de fios de trama e urdume por centímetro de tecido em função da temperatura de termofixação.

Observa-se na figura 30 que o processo de termofixação promove o aumento do número de fios por centímetro linear do tecido de poliéster. Pode-se observar que o número de fios por centímetro linear de tecido aumenta com o aumento da temperatura de termofixação, sendo que para os fios de trama esse aumento é observado a partir da temperatura de termofixação 200 °C. Observa-se também que o tempo de termofixação não influencia essa propriedade do tecido.

O comportamento observado nas figuras 29 e 30 para o tecido de poliéster pode ser explicado da seguinte forma: o estado físico-mecânico borrachoso, para polímeros semicristalinos como o PET, acontece em temperaturas entre T_g e T_m que no caso do PET são ~ 69 e ~ 265 °C respectivamente. Nessa faixa de temperatura o PET tem um comportamento parecido com o da borracha, ou seja, ao ser aquecido tende a encolher. Isso acontece porque as cadeias poliméricas da fibra que foram estiradas durante o processo de fabricação se contraem com o aumento da temperatura. Essa contração acontece porque para aumentar a entropia do sistema, é necessário aumentar o número de conformações possíveis da cadeia, que pode ser conseguido com a aproximação das suas duas pontas. Esse comportamento se repete para todas as cadeias gerando o efeito macroscópico de contração ou encolhimento.

IV. 1.2. Alongamento e ruptura

A figura 31 apresenta os resultados das amostras do tecido de poliéster submetidas aos ensaios de alongamento em função da temperatura de termofixação para trama (Fig. 31A) e urdume (Fig. 31B).

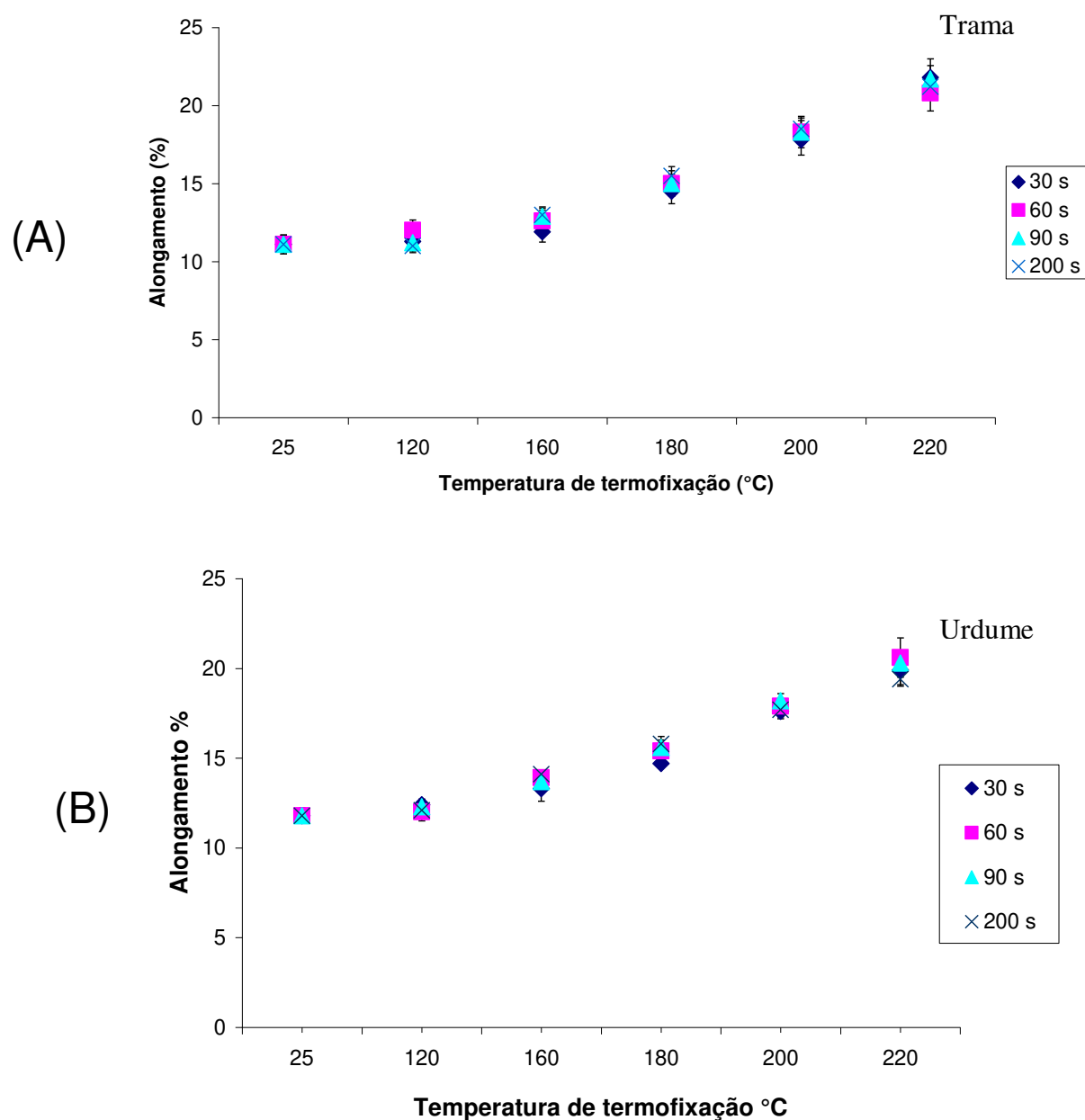


Figura 31: Alongamento (%) em função da temperatura de termofixação para amostras de tecido de poliéster no sentido da trama (A) e no sentido do urdume (B) para os tempos de termofixação 30, 60, 90 e 200s.

Observa-se na figura 31 que o processo de termofixação promove o aumento do alongamento do tecido de poliéster nos sentidos da trama e do urdume, e esse aumento varia com a temperatura de termofixação, ou seja, aumentando a temperatura de termofixação aumenta-se também o percentual de alongamento do tecido.

Esse comportamento está associado ao fato de as cadeias poliméricas terem se encolhido durante a termofixação, tornando possível um alongamento maior quando submetidas a uma força de tração. Isso pode ser visto ao comparar as figuras 29 e 31, onde se observa que as amostras que tiveram maior encolhimento na termofixação, foram as mesmas que alcançaram maior alongamento nos ensaios de alongamento e ruptura.

A figura 32 apresenta os resultados das amostras do tecido de poliéster termofixadas e não termofixadas submetidas ao ensaio de alongamento em função do tempo de tratamento corona.

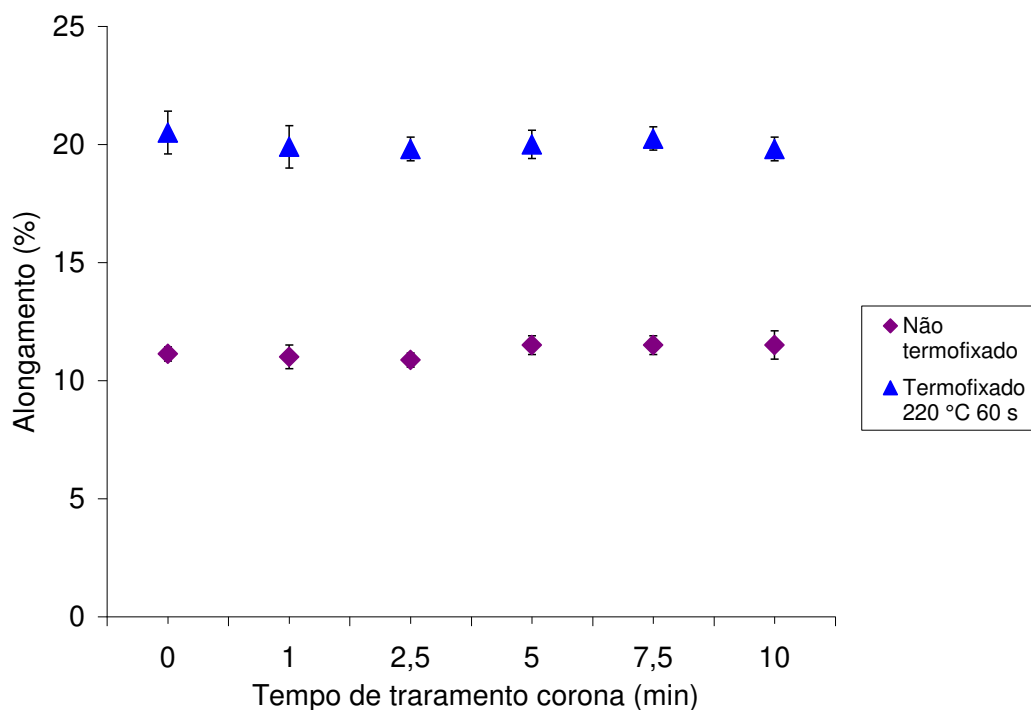


Figura 32: Alongamento (%) em função do tempo de tratamento corona para amostras de tecido de poliéster não termofixadas e termofixadas a 220 °C por 60 s.

Observa-se na figura 32 que o tratamento corona não promove alterações na propriedade de alongamento do tecido de poliéster termofixado e não termofixado.

A figura 33 apresenta os resultados das amostras do tecido de poliéster submetidas ao ensaio de ruptura em função do tempo termofixação para trama (Fig. 33A) e urdume (Fig. 33B).

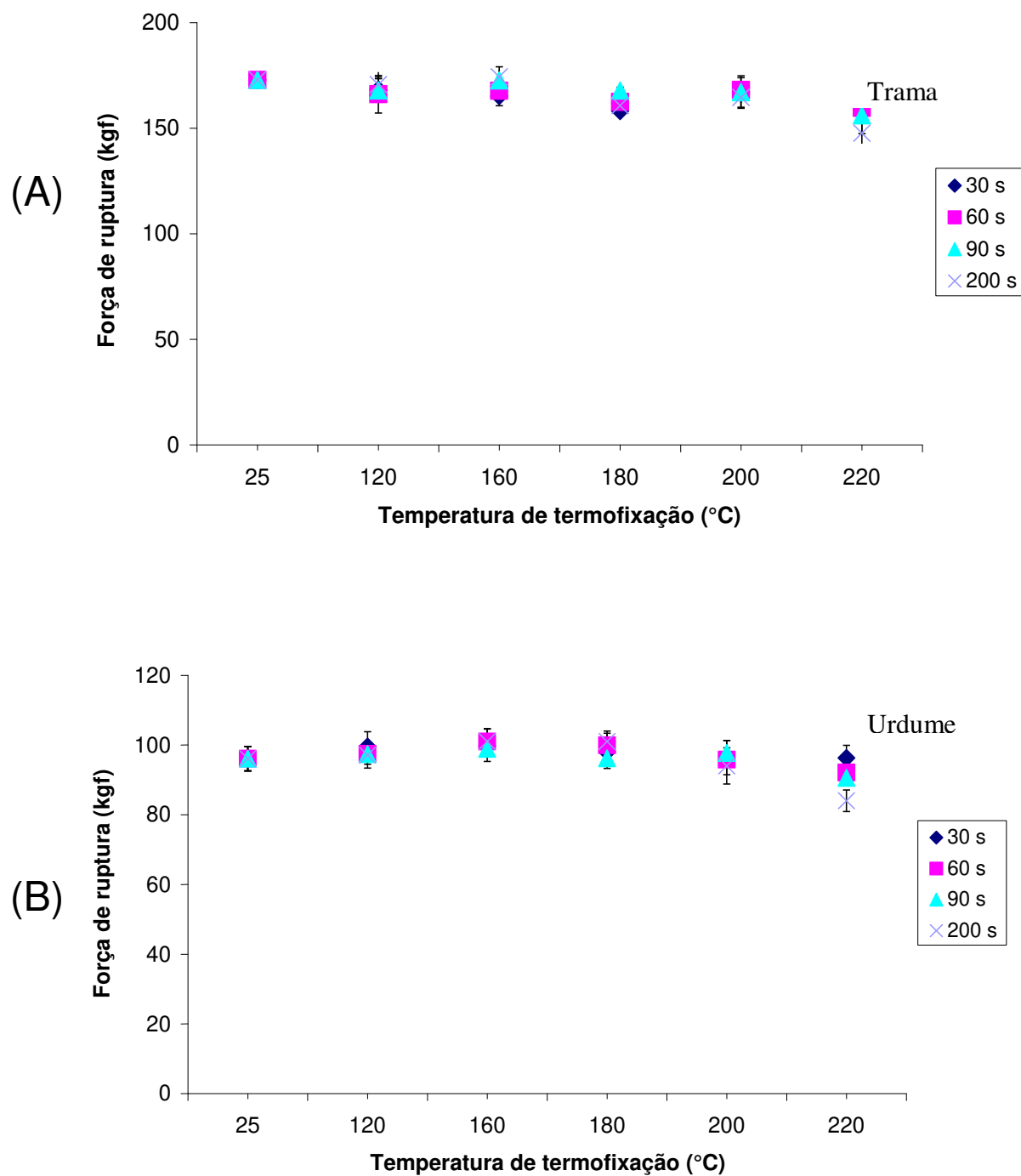


Figura 33: Força de ruptura (kgf) em função da temperatura de termofixação para amostras de tecido de poliéster no sentido da trama (A) e no sentido do urdume (B) para os tempos de termofixação 30, 60, 90 e 200s.

Observa-se na figura 33 que o processo de termofixação pouco influencia na força de ruptura das amostras de poliéster nos sentidos da trama e do urdume.

A figura 34 apresenta os resultados das amostras de tecido de poliéster não termofixadas e termofixadas a 220 °C por 60 s submetidas ao ensaio de ruptura em função do tempo de tratamento corona.

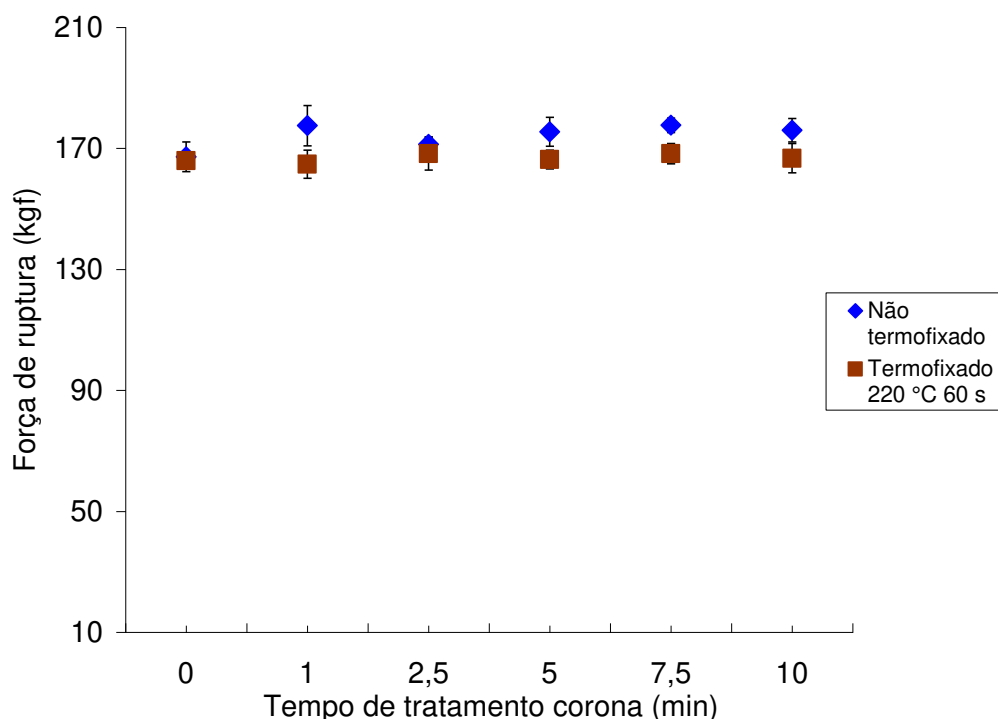


Figura 34: Força de ruptura (kgf) em função do tempo de tratamento corona para amostras de tecido de poliéster não termofixadas e termofixadas a 220 °C por 60 s.

Observa-se na figura 33 que o tratamento corona não promove modificações na força de ruptura do tecido de poliéster termofixado e não termofixado.

O comportamento mecânico dos polímeros está associado ao grau de cristalinidade, quantidade de ligações cruzadas, e aos valores de T_g e T_m . Acredita-se que o processo de termofixação e o tratamento corona, nas condições praticadas nesse trabalho, não proporcionam mudanças significativas nessas

propriedades e isso explicaria a pouca influência do processo termofixação e do tratamento corona na força de ruptura do tecido de poliéster, como se observa nas figuras 33 e 34.

IV. 1.4. Hidrofilidade

A figura 35 apresenta os resultados das amostras de tecido de poliéster submetidas aos ensaios de hidrofilidade em função da temperatura de termofixação.

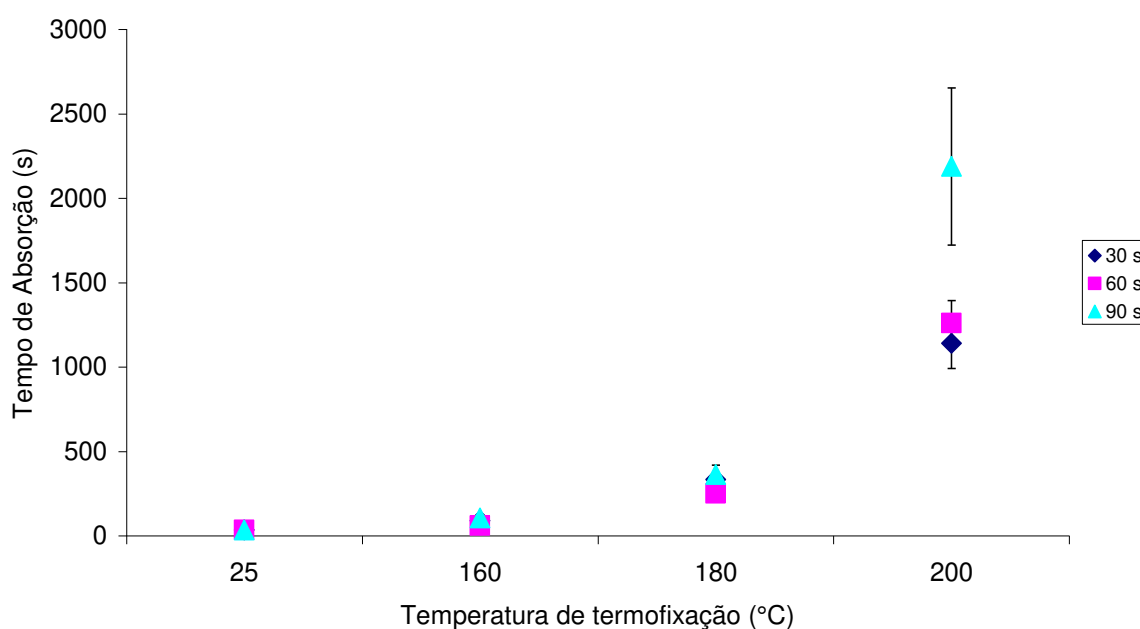


Figura 35: Tempo de absorção de uma gota de solução de corante em função do tempo de termofixação

Observa-se na figura 35 que o processo de termofixação promove a diminuição da hidrofilidade do tecido de poliéster, ou seja, as amostras termofixadas apresentam tempos maiores para absorção da gota de solução de corante. Pode-se observar que a hidrofilidade diminui com o aumento da temperatura e do tempo de termofixação.

Não foi possível obter resultados de hidrofiliidade para amostras do tecido termofixado na temperatura de 220 °C, ou seja, a gota de solução evaporava antes de ser absorvida pelo tecido. Então amostras termofixadas a 220 °C por 60s foram submetidas a tratamento corona e em seguida submetidas ao ensaio de determinação de hidrofiliidade.

A figura 36 apresenta os resultados das amostras de tecido de poliéster termofixadas a 220 °C por 60s submetidas ao ensaio de hidrofiliidade em função do tempo de tratamento corona.

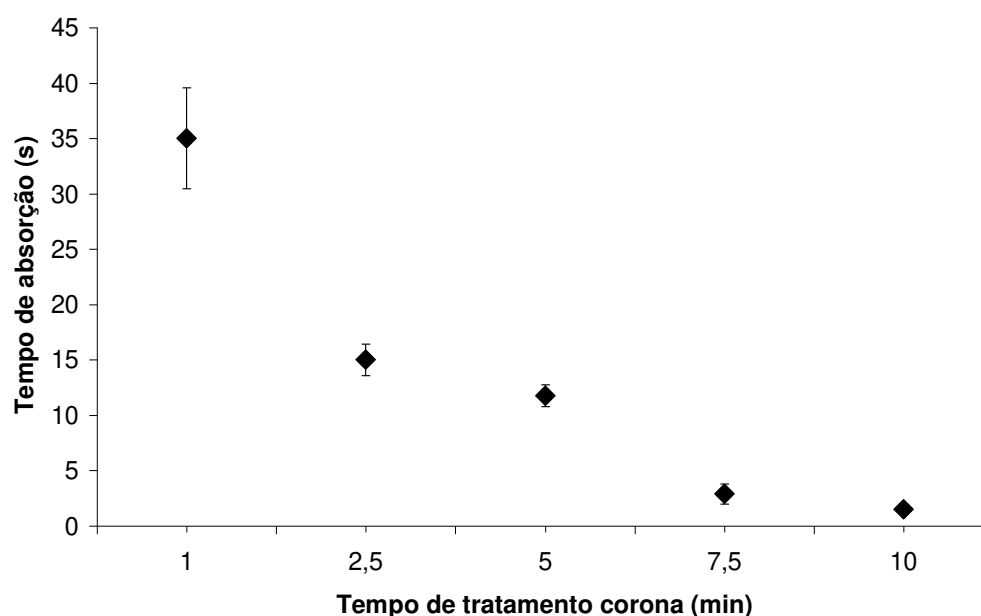


Figura 36: Tempo de absorção de uma gota de solução de corante pelo tecido de poliéster termofixado a 220 °C por 60s em função do tempo de tratamento corona.

Observa-se na figura 36 que o tratamento corona promove aumento considerável na propriedade de hidrofiliidade do tecido de poliéster termofixado e o tempo de tratamento influencia nessa propriedade, ou seja, para os tempos estudados nesse trabalho, a hidrofiliidade aumenta com o aumento do tempo de tratamento corona.

As amostras de tecido de poliéster termofixadas a 220 °C que praticamente não absorviam a gota de solução, passaram a ter absorção semelhante ao tecido

sem termofixar (cerca de 35 s) após 1 min de tratamento corona, chegando ao tempo de 1s para absorver a gota de solução de corante após 10 min de tratamento corona.

A figura 37 apresenta amostras de tecido de poliéster sem termofixar e termofixada na temperatura de 220 °C por 60 s submetidas ao ensaio de hidrofilidade por ascensão capilar.

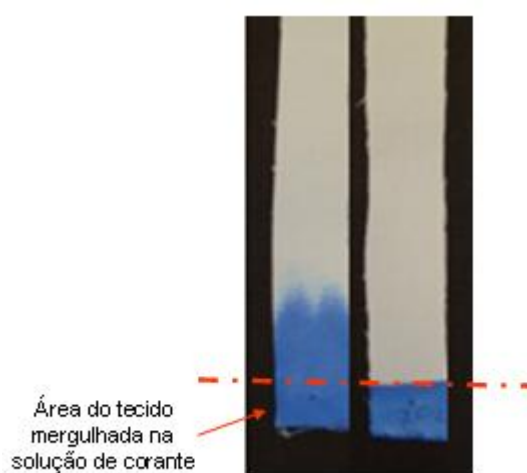


Figura 37: Amostras de tecido de poliéster sem termofixar (esquerda) e termofixada a 220 °C por 60s (direita) submetidas a teste de hidrofilidade.

Observa-se na figura 37 que na amostra de tecido de poliéster sem termofixar a solução de corante se espalhou para regiões do tecido que não estavam mergulhadas na mesma. Na amostra termofixada observa-se que a solução de corante molhou apenas a região do tecido que estava mergulhada na mesma, confirmando assim que o processo de termofixação promove a diminuição da hidrofilidade do tecido de poliéster.

A figura 38 apresenta amostras de tecido de poliéster sem termofixar e termofixada na temperatura de 220 °C por 60 s, sem tratamento corona e com

tratamento corona (em toda sua área) nos tempos de 05 e 10 min submetidas ao ensaio de hidrofiliidade por ascensão capilar.

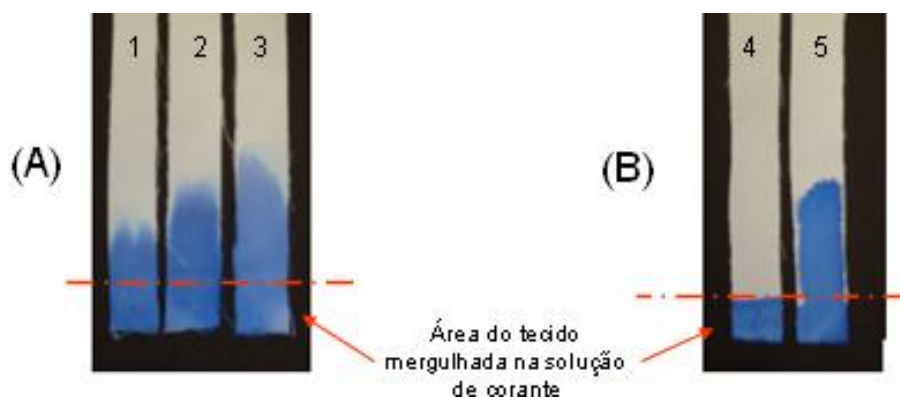


Figura 38: Amostras de tecido de poliéster sem termofixar (A) e termofixadas a 220 °C por 60s (B) submetidas a teste de hidrofiliidade

- (1) - Amostra sem termofixar e sem tratamento corona;
- (2) – Amostra sem termofixar e com 5 min de tratamento corona;
- (3) – Amostra sem termofixar e com 10 min de tratamento corona;
- (4) – Amostra termofixada a 220 °C por 60 s e sem tratamento corona;
- (5) – Amostra termofixada a 220 °C por 60 s e com 10 min de tratamento corona.

Observa-se na figura 38 que a descarga corona promove o aumento da hidrofiliidade de amostras de tecido de poliéster sem termofixar e termofixadas. Pode-se observar que o aumento o tempo do tratamento (para os tempos aqui estudados) promove aumento da hidrofiliidade do tecido de poliéster. Pode-se destacar o aumento da hidrofiliidade proporcionado pelo tratamento corona nas amostras de tecido termofixadas (Fig 38B).

O processo de termofixação promove a diminuição da hidrofiliidade do tecido de poliéster como já foi visto acima, e o tratamento corona demonstra ser uma opção para melhorar essa propriedade não só no tecido termofixado, no sentido de recuperar a hidrofiliidade afetada pelo processo de termofixação, mas

também em tecido sem termofixar melhorando efetivamente a propriedade hidrofiliidade.

Provavelmente, o aumento de hidrofiliidade promovido pelo tratamento corona em tecido de poliéster, está relacionado com as modificações de superfície que esse tratamento promove no PET. MENDES e SINÉZIO (2005) observaram que o tratamento corona diminui o ângulo de contato e promove a formação de grupos funcionais $-OH$, $C=O$ e $C-O$ em filmes de PET.

IV. 1.5. Tingimento

IV. 1.5.1. Tingimento por esgotamento

Tingiram-se amostras de tecido de poliéster sem termofixar e termofixadas nas temperaturas de 120, 160, 180, 200 e 220 °C nos tempos de 30, 60, 90 e 200s. Adotou-se o método de tingimento por esgotamento em alta temperatura. Tingiram-se todas as amostras juntas no mesmo recipiente.

As discussões a respeito de modificações de cor que se seguem, foram feitas a partir de observação visual das amostras.

Para as amostras termofixadas em temperaturas até 200 °C não se observou variação aparente de cor entre elas, já as amostras termofixadas a 220 °C ficaram mais escuras em relação às demais, como mostra a figura 39, indicando uma concentração maior de corante no tecido.

Os tempos de termofixação não promoveram nenhuma variação nas cores das amostras.

A figura 39 apresenta amostras de tecido sem termofixar e termofixada submetidas a tingimento pelo processo de esgotamento em alta temperatura (130 °C).

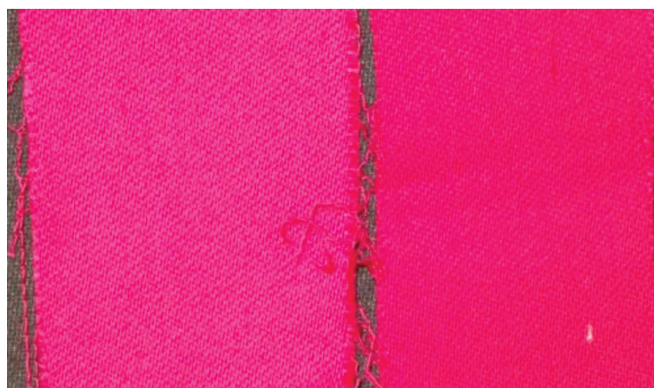


Figura 39: Amostras de tecido sem termofixar (esquerda) e termofixada (direita) submetidas a processo de tingimento por esgotamento.

Tingiram-se também por esgotamento no mesmo banho as seguintes amostras de tecido de poliéster:

- Sem termofixar e sem tratamento corona,
- Sem termofixar e com 10 min de tratamento corona;
- Termofixadas a 220 °C por 60 s e sem tratamento corona;
- Termofixadas a 220 °C por 60 s e com 10 min de tratamento corona;

Não notaram-se diferenças de cor entre as amostras com e sem tratamento corona, ou seja, as amostras sem termofixar com e sem tratamento corona aparentemente apresentaram a mesma cor e o mesmo ocorreu com as amostras termofixadas.

Para o processo de tingimento por esgotamento em alta temperatura onde há um tempo maior de contato entre a solução e o tecido, não observou-se influência do tratamento corona na cor do tecido.

IV. 1.5.2. Tingimento contínuo (Pad-termofix)

Tingiu-se pelo processo “Pad-termofix” as seguintes amostras de tecido de poliéster:

- Sem termofixar e sem tratamento corona,

- Sem termofixar e com 10 min de tratamento corona;
- Termofixadas a 220 °C por 60 s e sem tratamento corona;
- Termofixadas a 220 °C por 60 s e com 10 min de tratamento corona;

A figura 40 apresenta amostras de tecido de poliéster sem termofixar sem tratamento e com tratamento corona (em toda sua área) submetida a tingimento pelo processo “Pad-termofix”.



Figura 40: Amostras de tecido sem termofixar. Sem tratamento corona (esquerda) e com 10 min de tratamento corona (direita).

Observa-se na figura 40 que o tratamento corona aparentemente não promove alterações na cor do tecido sem termofixação submetido ao processo de tingimento contínuo em relação ao tecido sem termofixar não tratado com descarga corona, ou seja, as amostras aparentemente apresentam a mesma cor.

A figura 41 apresenta amostra de tecido de poliéster termofixada e com tratamento corona (apenas no centro) submetida a tingimento pelo processo “Pad-termofix”.



Figura 41: Amostra de tecido de poliéster termofixada a 220 °C por 60s com 10 min de tratamento corona.

Observa-se na figura 41 que houve melhor absorção e fixação de corante na região central da amostra, onde ocorreu com maior incidência o tratamento corona. Então podemos dizer que o tratamento corona promove melhora na absorção de corante pelo tecido de poliéster termofixado tingido pelo processo “pad-termofix”.

No processo de tingimento contínuo a propriedade de hidrofiliidade é importante porque nesse processo o tecido passa pelo banho de tingimento rapidamente, em seguida passa pelo Foulard e segue para rama onde ocorre a fixação do corante na fibra. De acordo com a hidrofiliidade que possui, o tecido irá absorver uma quantidade maior ou menor de solução ao passar pelo banho, e isso vai determinar uma maior ou menor intensidade de cor no tecido, considerando iguais todas as condições de processo. Sendo assim o aumento de hidrofiliidade proporcionado pelo tratamento corona resulta em maior absorção e fixação de corantes em tecido de poliéster termofixados submetidos a tingimento por processo contínuo.

IV. 2.6. Estampagem

A figura 42 apresenta frente e verso de amostras de tecido de poliéster submetidas ao processo de estampagem com pigmento, sendo que na figura 42A temos amostra termofixada a 220 °C por 60s e na figura 42B amostra termofixada nas mesmas condições e com 10 min de tratamento corona.

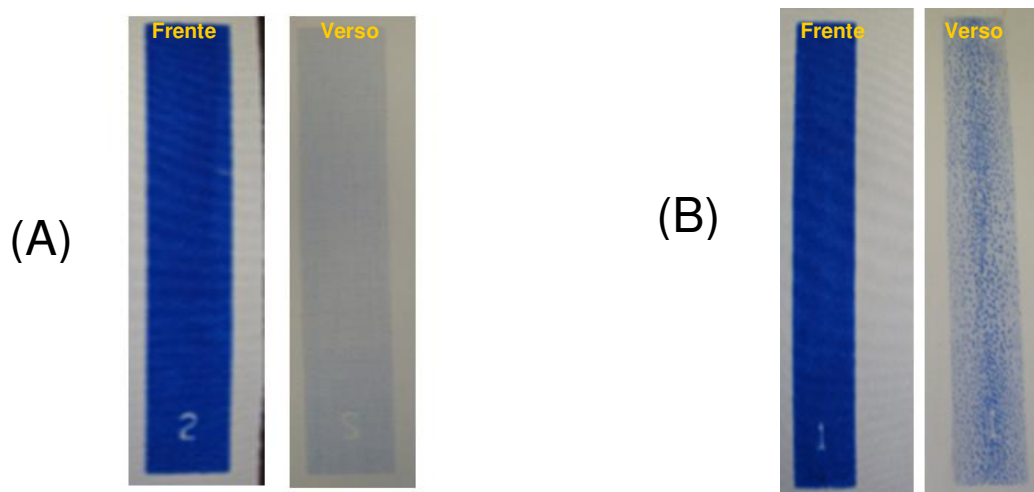


Figura 42: Frente e verso de amostras de tecido de poliéster termofixadas a 220 °C por 60 s. Sem tratamento corona (A) e com 10 min de tratamento corona (B).

Observa-se na figura 42A que amostras sem tratamento corona não apresentam pigmento no verso. Observa-se na figura 42B que amostras tratadas com descarga corona apresentam pigmento no verso, isso indica que o tratamento corona promove melhor penetração da resina de estampar na estrutura do tecido de poliéster.

SCHULTS (1994) cita um trabalho de Borroff e Wake no qual os autores medem a adesão entre tecidos e borracha, e concluem que a adesão mecânica é o parâmetro que mais contribui para a adesão entre esses materiais.

A melhor penetração da resina de estampar na estrutura do tecido de poliéster promovida pelo tratamento corona pode melhorar a adesão entre esses materiais, resultando em estampas com maior solidez.

Nas amostras de tecido de poliéster sem termofixar com e sem tratamento corana submetidas à estampagem, demonstraram os mesmos comportamentos observados nas amostras termofixadas.

CAPÍTULO V - Conclusões

V.1. Termofixação

1. A termofixação promove encolhimento do tecido de poliéster, sendo que quanto maior a temperatura de processo maior é o encolhimento do tecido.
2. O tempo de termofixação pouco influência no índice de encolhimento do tecido de poliéster, sendo que para o tempo de 60s o tecido praticamente atinge seu encolhimento máximo em todas as temperaturas de termofixação.
3. A termofixação promove aumento do número de fios por centímetro linear do tecido de poliéster, sendo que se aumentando a temperatura de termofixação, aumenta-se também o número de fios por centímetro linear de tecido. O tempo de processo não influencia nessa propriedade.
4. A termofixação promove o aumento do índice de alongamento do tecido de poliéster e o alongamento aumenta com aumento da temperatura de termofixação. O tempo de termofixação não promove nenhuma alteração no índice de alongamento do tecido de poliéster.
5. A termofixação não promove alterações consideráveis na força de ruptura do tecido de poliéster.
6. A termofixação diminui a hidrofiliidade (absorção de água) do tecido de poliéster e aumentando-se a temperatura de termofixação a hidrofiliidade diminui.
7. No processo de tingimento por esgotamento, a termofixação em temperaturas de 220 °C melhora absorção de corante pelo tecido de poliéster.
8. No processo de tingimento contínuo, a termofixação promove diminuição da absorção de corante pelo tecido de poliéster.

V.2. Tratamento corona

1. O tratamento corona não promove alterações nas propriedades mecânicas (alongamento e ruptura) do tecido de poliéster.
2. O tratamento corona promove aumento da hidrofiliidade de tecido de poliéster termofixado e não termofixado, sendo que para as condições estudadas nesse trabalho, a hidrofiliidade aumenta com o aumento do tempo de tratamento.
3. No tingimento por processo contínuo, onde a capacidade de absorção do tecido influencia diretamente na cor, o tratamento corona melhora a absorção de corante pelo tecido de poliéster termofixado.
4. O tratamento corona promove melhoria na penetração da resina de estampagem na estrutura do tecido de poliéster termofixado e sem termofixar.

Trabalhos Futuros

- Estudos sobre velocidade de difusão de corantes em fibras têxteis antes e após tratamento corona;
- Tratamento corona em costados de lixa;
- Estudos de superfície em poliéster antes e após tratamentos térmico e corona.

CAPÍTULO VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, M. R., DALTIN, D. A.. *Química do processo Têxtil*. Química Nova, Vol. 10, nºs três, p. 320 – 330 mai/jun 1996.

ARAUJO, MÁRIO de CASTRO, E. M. de Melo. Manual de Engenharia Têxtil. V. 2. Fundação Cauloste Gulbenkia. Lisboa. Portugal, 1984. 948 P..

BARBOSA, M. C., ROSA, S. E. S., CORREA, A. R., DVORSAK, P., GOMES, G. L., Setor de fibras sintéticas e suprimento de intermediários petroquímicos, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 20, p. 77-126, set. 2004.

BRIGGS, D., RANCE, D. G., KENDALL, C. R., BLYTTIC, A. R., *Surface modification of poly (etilene terephthalate) by electrical discharge treatment*. Polymer, vol 21, p. 895 -900, 1980.

CARNEIRO, M. P., *Caracterização das Propriedades de Superfície de Filmes de Polipropileno Tratado Com Descarga Corona*. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP 2001. Dissertação de Mestrado.

CHAN, C. M., *Polymer surface modificacion and characterization*. Munich: Hanser/Gardner Publications INC.,1994, p.285.

COMYN, J. Adhesion science. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1997, 149 p.

DUTRA, J. C. N., *Modificação da superfície de borracha EPDM tratada por meio de processo de plasma frio*. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP 2002. Tese de Doutorado.

DOLZAN, N., *Tingimento de fibras sintéticas com corantes dispersos*. Florianópolis: Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. Dissertação de Mestrado.

FERREIRA, S. R., *Modificação da Fibra de Carbono por Processo de Descarga Corona e Estudo das Características de Adesão*. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP 2000. Tese de Doutorado.

GARCÉN, I., MAILLO, J., CAYUELA, D., PUENTE, P., GARCÉN, J., *Comportamento tintorial do poliéster termofixado em diferentes temperaturas tingimento separados e simultâneos*. Revista Química Têxtil, Nº 86, Mar 2007, pág. 26 a 36.

GARCÉN, I., MAILLO, J., CAYUELA, D., PUENTE, P., GARCÉN, J., *Influência da temperatura de termofixação do poliéster (PET) na velocidade de difusão de corantes dispersos*. Revista Química Têxtil, Nº 89, Dez 2007, pág. 26 a 36.

GIORDANO, J. B., *Tratamento corona sobre superfícies têxteis*. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, 2007. Tese de Doutorado.

GIORDANO, J. B., Sinézio, J. C.C., *Estudo dos Parâmetros Tempo e temperatura na Termofixação em tecidos de Poliéster*. Revista Química Têxtil, Nº 85, Dez 2006, pág. 44 a 54.

GIORDANO, J. B., *Efeitos causados pela descarga corona em tecidos de poliéster*. Revista Química Têxtil nº 81, Dez.2005, pg 64-77.

GUILLÉN, J. G., *Nomes genéricos das fibras químicas normativas e legislação*. Revista Química Têxtil, ano XXVI, nº 70, pg. 29, Mar. 2003.

HOSSAIN, M. M., HERRMANN, A. S., HEGEMANN D. *Plasma hydrophilization on different textile structures*. Plasma Process. Polim. Vol. 3, p.299 – 307, 2006.

HOCKER, H. , *Plasma Treatment of Textile Fibers*, Pure Appl. Chem., vol. 74, No. 3, p.423 – 427, 2002.

HOLME, I., *Adhesion to textile fibres and fabrics*. International Journal of Adhesion & Adhesives n 19, 1999, pp 455 – 463.

HOSSAIN, M. M.; HERGEMANN, D.; HERRMANN A. S., Plasma hydrophilization effect on different textile structures – Plasma Process, vol. 3, pg. 299 – 307, 2006.

HOSSAIN, M. M.; HERGEMANN, D.; HERRMANN A. S., CHABRECEK, P., Contact angle determination on plasma-treated poly(ethylene terephthalate) fabrics and foils – Journal of applied polymer science, vol. 102, pg 1452 – 1458, 2006.

LINS, V. F. C., CURY, F. M., FILHO, G. F. S., BRANCO, J. R. T.. *Fotodegradação de recobrimentos de poli (tereftalato de etileno) pós-consumo e suas blendas depositadas em aço*. Rev. Esc. Minas vol.61 no.2 - Ouro Preto Apr./June 2008

LUDEWIG, H., *Polyester fibres chemistry and technology*, New York: Wiley-Interscience Publication, pg. 453, 1964.

MENDES, L. H., Sinézio, J. C. C. *Efeitos do tratamento corona em filmes de Poliéster*. VI congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2005.

NAVARO, R. M. S., Análise de Ensaio de Lagens em Tecidos de Poliéster com Diferentes Concentrações de Sabão e de Uso Doméstico, Campinas: Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP 2007. Tese de Doutorado.

NBR 13000 – Determinação da hidrofiliabilidade do tecido.

NBR 11912 – Determinação da resistência à tração e alongamento de tecido plano.

ODIAN, G., *Principles of polymerization*, third edition, New York: Wiley-Interscience Publication, pg. 12-194, 1991.

OWENS, D.K., *The mechanism of corona and ultraviolet light-induced self-adhesion of poly(ethylene terephthalate) film*. Journal Applied Polymer Science, Vol.19, p.3315-3326, 1975.

REYES, LUCIANA FRIAS. *Estudo da Degradação de Polietileno Tereftalato (PET) por Fungos Basidiomicetos Lignólicos*. Campinas: FEA-UNICAMP, 2003. Dissertação de Mestrado.

RODRIGUES, E. C., Controle de Qualidade em Química Têxtil Métodos Práticos. SENAI/Cetiq, 1997, 224 p..

ROUETTE, H. K., *Encyclopedia of Textile Finishing*. Woodhead Publishing, 2001. 3011p.

VASCONCELOS, ANDREIA J. C., *Obtenção de Tecidos de Poliéster de Baixo Peso por Tratamento Enzimático*. Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil, Universidade do Minho, Portugal 2005. Dissertação de Mestrado.

SALEM, V., *Tingimento Têxtil*. Apostila Curso de Tingimento Têxtil, Módulo 1, Pg 144, Nov. 2000.

SALEM, V., DE MARCHI, A., MENEZES, F.G., *O Beneficiamento têxtil na prática*. Golden Química do Brasil LTDA. São Paulo, 2005.

SANCHEZ, J. C., *As aplicações do plasma nos processos têxteis de tingimento e acabamento* – Química Têxtil, nº 77, pg 10 – 28, 2004.

SAVILLE, P.B., *Physical testing of textiles*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge Engande, 1999.

SELLIN, N., *Análise da superfície de polímeros Pós-tratamento corona*. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP 2001. Tese de Doutorado.

SCHULTZ, J., NARDIM, M. *Theories and mechanisms of adhesion*, Marcel Dekker Inc., N.Y., 1994. Cap 2: Handbook of Adhesive Technology. p. 19-33.

SINÉZIO, J.C.C., *Novo Triodo Corona e Sua Aplicação nas propriedades elétricas do Polímero PVDF*, Tese de doutorado, Instituto de Física e Química de São Carlos – Universidade de São Paulo – São Carlos, 1990.

SOUTO, A. P., SILVA, E., CARNEIRO, N., MARIMBA, A., TENA, B., FERREIRA, H., MAGALHÃES, V., *Dyeability of corona-treated fabrics*. Coloration Technology, vol. 117, p. 298-302, 2001.

SNOGREN, R. C. Handbook of surface preparation. Palmerton publishing, N. Y., 1974. Cap. 9: Surface Modification Engineering, p. 285-312

XU, W., LIU X., *Surface modification of polyester fabric by corona discharge irradiation*, European Polymer Journal, vol. 39, p.199 –202, 2003.

WOLF, R. A. and SPARAVING A., The Plasma Advantage, Textile World November/December 2005, 49-51.