

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU – FURB
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

**REUSO DE SOLUÇÕES DE CORANTES BÁSICOS, PÓS-TRATAMENTO
FOTOELETROQUÍMICO, PARA TINGIMENTOS DE FIBRAS ACRÍLICAS**

MÔNICA LUCAS

BLUMENAU

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MÔNICA LUCAS

**REUSO DE SOLUÇÕES DE CORANTES BÁSICOS, PÓS-TRATAMENTO
FOTOELETROQUÍMICO, PARA TINGIMENTOS DE FIBRAS ACRÍLICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Química do Centro de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Regional de Blumenau, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Química.

Prof. Dra. Ivonete Oliveira Barcellos – orientadora

Prof. Dr. Patrício Peralta – Zamora – coorientador

BLUMENAU

2006

AGRADECIMENTOS

Devo meus melhores agradecimentos a todos aqueles que, de uma maneira ou de outra, apoiaram-me durante o desenvolvimento deste trabalho. Assim, cabe-me agradecer em especial:

A Deus que iluminou os meus estudos, a minha determinação, deu-me força, a partir da minha fé, e fez com que continuasse na perseverança.

À Professora Dra. Ivonete Oliveira Barcellos pela orientação deste trabalho e confiança.

Ao Professor Dr. Patrício Peralta Zamora e ao seu grupo de pesquisa TECNOTRATER, em especial ao Elias, Carla, Cláudio, Elaine e demais. Sou eternamente grata pela ajuda, paciência e ao apoio que me deram nos momentos em que estava trabalhando no laboratório da UFPR.

À bolsista de Iniciação Científica e grande amiga Pâmela Freitas Pereira Toassi Jeremias que incansavelmente me auxiliou durante a realização de todo este trabalho.

À colega de laboratório de Pesquisa do Mestrado em Química Ana Maria Battisti pelo companheirismo e troca de idéias e informações.

Aos Professores do Curso do Mestrado em Química, demais Docentes do Departamento de Química, ao colega Joni do almoxarifado, à Giovana Aparecida Vieira e a minha grande amiga Michelle Jociane Corrêa por todo o apoio prestado.

À ACRILAN, em especial ao Lourival e Aires, pelo fornecimento de material e informações importantes para o trabalho.

Aos meus pais, Ingo e Elfi, e ao meu namorado, Agnaldo, pela paciência e compreensão nas horas mais difíceis.

RESUMO

Os problemas de contaminação de águas naturais vem ganhando atenção e preocupação ambiental na sociedade. Como segundo país mais rico em recursos hídricos, o Brasil tem água em abundância, porém o que está faltando é um bom gerenciamento destes recursos. Estima-se que até 2025, a indústria será responsável por 24% do consumo mundial de água. O desenvolvimento de propostas alternativas, visando a economia no consumo de água e o reuso da mesma, bem como melhorias nas características das fibras proporcionando processos com menor consumo de corantes e auxiliares é de suma importância para o setor têxtil. No presente trabalho avaliou-se o potencial do reuso de soluções aquosas de corantes básicos após tratamento por processo fotoeletroquímico para remoção da cor no tingimento de tecidos de malha de fibras acrílicas. O tratamento fotoeletroquímico resultou em remoção superior a 99% da cor das soluções dos corantes básicos Azul Astrazon FGGL 300%, Vermelho Astrazon GTLN 200% e Amarelo Ouro Astrazon GL 200%, e mais que 90% da carga orgânica pôde ser mineralizada.

Em escala laboratorial também se gerou efluentes a partir de tingimentos de tecidos de fibras acrílicas com bicromia. As soluções dos banhos residuais foram submetidos ao tratamento fotoeletroquímico e reutilizadas num segundo tingimento.

No estudo de reutilização, o esgotamento dos banhos de tingimento foi superior a 80% sob todas as condições usadas neste trabalho, sendo para água tratada e destilada. As diferenças de intensidade colorística (K/S) nos tecidos entre os tingimentos padrão com água destilada e os tingimentos com água tratada e a diferença de cor residual (ΔE) não foram satisfatórios, sendo que os valores de ΔE acima de 2,0 eram superiores aos valores aceitáveis para aprovação na indústria têxtil (entre 0,3 e 1,1). Nos estudos usando bicromia a substituição de 10 a 30% da água tratada por água destilada resultou em valores de ΔE entre 1,86 e 0,3, mostrando uma redução no desvio da cor até dentro dos limites aceitáveis.

Palavras-chave: corantes básicos, fibras acrílicas, processo fotoeletroquímico, reuso de águas tratadas.

ABSTRACT

The increasing contamination of natural water resources is gaining public attention and has roused environmental concern in the society. As the second richest country in water resources, Brazil has an abundant supply of water, but it lacks a good management plan for these resources. It is estimated that by 2025, the industry will be responsible for 24% of the world consumption of water. The development of alternative proposals / solutions that focus on water conservation and reuse, as well as improvements of fiber characteristics that result in processes with less consume of dyes and auxiliaries is of critical importance for the textile industry. In the present work the potential of the reuse of aqueous basic dye solutions for dyeing knitted fabrics of acrylic fibers was evaluated after the treatment by an photoelectrochemical process for color removal. The photoelectrochemical treatment resulted in the removal of more than 99% of the color of solutions of the basic dyes Blue Astrazon FGGL 300%, Red Astrazon GTLN 200% and Yellow Gold Astrazon GL 200% and more than 90% of the organic load was mineralized.

At a laboratory scale also effluents were produced from bichromic dyeing of acrylic fabrics. The residual dyeing baths were subjected to a photoelectrochemical treatment and reused in a second dyeing process.

In the reutilization study the dyeing bath exhaustion was above 80% on all conditions used in this study. Differences in colour intensity (K/S) between standard dyeings with distilled water and dyeings with treated water and residual colour differences (ΔE) were unsatisfactory. The obtained ΔE values above 2.0 were beyond the acceptable limits between 0.3 and 1.1 established in the textile industry. In bichromic dyeing studies the substitution of 10 to 30% of the treated water by distilled water resulted in ΔE values between 1.86 and 0.3, showing a reduction in color difference down to the acceptable limits.

Keywords: basic dyes, acrylic fibers, photoelectrochemical process, reuse of treated waster water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : corante catiônico com carga não-localizada.....	22
Figura 2 : corante catiônico com carga localizada.....	23
Figura 3: representação do mero (unidade) da Poliacrilonitrila (x – 85% de acrilonitrila e R, R` – 15% comonômero).....	23
Figura 4: Representação esquemática dos princípios da fotocatalise heterogênea.....	28
Figura 5: Curvas analíticas da variação da absorbância em função da concentração das soluções de corantes. a - corante azul ($y = a+bx$; $a = 0,04324$; $b =69,5514$ e $R = 0,99531$) a 609nm; b – corante vermelho ($y = a+bx$; $a = -0,00438$; $b=43,78183$ e $R = 0,99856$) a 487nm; c – corante amarelo ($y = a + bx$; $a = 0,03166$; $b =40,1$ e $R = 0,99885$) a 439nm.....	40
Figura 6: estrutura dos corantes. A: Azul Astrazon FGGL 300% (C.I. Basic Blue 41); B: Amarelo Ouro Astrazon GL 200% (C.I. Basic Yellow 28).....	41
Figura 7: Curvas analíticas da variação de absorbância em função da concentração das soluções de corantes para bicromia e tricromia. (a) - Solução de bicromia 1 utilizando água destilada (50% de corante azul e 50% de corante amarelo) a 609,5 nm ($y = a + bx$; $a = -0,0365$; $b =61,3252$ e $R = 0,99862$); (b) - Solução de bicromia 2 utilizando água destilada (25% de corante azul e 75% de corante amarelo) a 438,5nm ($y = a + bx$; $a = 0,0034$; $b =29,126$ e $R = 0,9997$); (c) - Solução de bicromia 3 utilizando água destilada (75% de corante azul e 25% de corante amarelo) a 609 nm ($y = a + bx$; $a = -0,0335$; $b =58,2056$ e $R = 0,9975$); (d) - Solução de tricromia utilizando água destilada (35% de corante azul, 35% de corante amarelo e 30% de corante vermelho) a 452,5 nm ($y = a + bx$; $a = -0,0226$; $b =29,3656$ e $R = 0,99947$); (e) – Solução de bicromia 1 utilizando água tratada ($y = a + bx$; $a = - 0,0365$; $b = 61,3252$ e $R = 0,9986$); (f) - Solução de bicromia 2 utilizando água tratada ($y = a + bx$; $a = 0,0034$; $b = 29,126$ e $R = 0,9997$); (g) - Solução de bicromia 3 utilizando água tratada ($y = a + bx$; $a = -0,0335$; $b = 58,2056$ e $R = 0,9975$).....	43
Figura 8: curvas analíticas da variação de K/S dos tecidos tintos em função da concentração de corante (a) – Banho de tingimento com solução de corante azul utilizando água destilada ($y = a + bx$; $a = 11,9816$; $b = 13,6391$ e $R = 0,9803$); (b) - Banho de tingimento com solução de corante azul utilizando água tratada ($y = a +$	

bx; a = -6,1434; b = 25,664 e R = 0,9984); (c) - Banho de tingimento com solução de corante amarelo utilizando água destilada ($y = a + bx$; a = -0,1228; b = 17,7232 e R = 0,9914); (d) - Banho de tingimento com solução de corante amarelo utilizando água tratada ($y = a + bx$; a = 0,0317; b = 40,1 e R = 0,9988); (e) - Banho de tingimento com solução de corante vermelho utilizando água destilada ($y = a + bx$; a = 1,7754; b = 16,8011 e R = 0,9930); (f) - Banho de tingimento com solução de corante vermelho utilizando água tratada ($y = a + bx$; a = -3,9076; b = 16,5398 e R = 0,9988); (g) - Banho de tingimento com solução de corante azul utilizando água tratada com retardante ($y = a + bx$; a = -4,2026; b = 15,1065 e R = 0,993); (h) - Banho de tingimento com solução de corante azul utilizando água tratada sem retardante ($y = a + bx$; a = 6,858; b = 6,909 e R = 0,9952).....	45
Figura 9: Representação esquemática do reator fotoeletroquímico. A: Reator convencional (300 mL); B: conjunto de eletrodos.....	47
Figura 10: reator fotoeletroquímico tratando uma solução de corante azul.....	48
Figura 11: malha 100% acrílica utilizada nos banhos de tingimentos com água tratada e água destilada. a - gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana®; b – gramatura 1,92g/m ² da Tapajós Têxtil LTDA; c - gramatura 3,205g/m ² da ACRILAN®.....	51
Figura 12: curva de tingimento da variação de temperatura em função do tempo....	53
Figura 13: solução de corante azul tratada após 45 minutos no reator fotoeletroquímico.....	60
Figura 14: Amostras da solução de corante azul tratadas pelo processo fotoeletroquímico (a = 0 minutos, b = 2 minutos, c = 4 minutos, d = 6 minutos, e = 10 minutos, f = 15 minutos, g = 30 minutos, h = 45 minutos).....	60
Figura 15: espectro de absorção da solução de corante azul antes do tratamento (tempo inicial = 0, a amostra foi diluída 1:100) e após o tratamento fotoeletroquímico (tempo final = 45 minutos).....	61
Figura 16: Amostras da solução de corante amarelo tratadas pelo processo fotoeletroquímico (a = 0 minutos, b = 2 minutos, c = 4 minutos, d = 6 minutos, e = 10 minutos, f = 15 minutos, g = 30 minutos, h = 45 minutos).....	62
Figura 17: espectro de absorção da solução de corante amarelo antes do tratamento (tempo inicial = 0, a amostra foi diluída 1:100) e após o tratamento fotoeletroquímico (tempo final = 45 minutos).....	63

Figura 18: Amostras da solução de corante vermelho tratadas pelo processo fotoeletroquímico (a = 0 minutos, b = 2 minutos, c = 4 minutos, d = 6 minutos, e = 10 minutos, f = 15 minutos, g = 30 minutos, h = 45 minutos, i = 60 minutos).....	64
Figura 19: espectro de absorção da solução de corante vermelho antes do tratamento (tempo inicial = 0, a amostra foi diluída 1:100) e após o tratamento fotoeletroquímico (tempo final = 60 minutos).....	64
Figura 20: soluções de corantes pós – tratamento fotoeletroquímico. a – solução de corante azul; b – solução de corante amarelo; c – solução de corante vermelho.....	66
Figura 21: Espectro visível da solução do rejeito do tingimento com retardante (tempo inicial = 0 minuto e tempo final = 45 minutos).....	67
Figura 22: Espectro visível da solução do rejeito do tingimento sem retardante (tempo inicial = 0 minuto e tempo final = 45 minutos).....	67
Figura 23: Espectro visível da variação da absorbância em função do comprimento de onda (nm) do rejeito do tingimento com bicromia 50% de corante azul e 50% de corante amarelo.....	68
Figura 24: Espectro visível da variação da absorbância em função do comprimento de onda (nm) do rejeito do tingimento com bicromia 75% de corante azul e 25% de corante amarelo.....	69
Figura 25: Amostras tratadas fotoeletroquimicamente da solução de tricromia. a: tempo inicial (t = 0); b: tempo final (t = 90 minutos).....	70
Figura 26: porcentagem de esgotamento dos tingimentos com diferentes corantes, utilizando água tratada pelo processo fotoeletroquímico e água destilada.....	72
Figura 27: porcentagem de esgotamento dos tingimentos com diferentes corantes, utilizando água tratada pelo processo fotoeletroquímico e água destilada.....	73
Figura 28: porcentagem de esgotamento dos tingimentos com diferentes corantes, utilizando água tratada pelo processo fotoeletroquímico e água destilada.....	74
Figura 29: Porcentagem de esgotamento dos banhos de tingimento de monocromia com corante azul com efluente tratado dos tingimentos com e sem retardante.....	75
Figura 30: esgotamento do tingimento de bicromia com efluente 1 e com água destilada.....	76
Figura 31: esgotamento do tingimento de tricromia com efluente 3 e com água destilada.....	76
Figura 32: esgotamento dos tingimentos com efluente 1 diluído a 10, 20 e 30% com água destilada.....	77

Figura 33: tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintos com água destilada (a) e solução aquosa de corante azul tratada (b). x – corante azul; y – corante amarelo; z – corante vermelho.....	84
Figura 34: tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintos com água destilada (a) e solução aquosa de corante amarelo tratada (b). x – corante azul; y – corante amarelo; z – corante vermelho.....	86
Figura 35: tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintos com água destilada (a) e solução aquosa de corante vermelho tratada (b). x – corante azul; y – corante amarelo; z – corante vermelho.....	87
Figura 36: Diferença de cor das amostras de malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintas com efluente 1 tratado diluído em 10, 20 e 30% com água destilada.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: diferentes condições das soluções usadas para a otimização do processo fotoeletroquímico.....	47
Tabela 2: esquema de banhos de tingimento de malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® utilizando água não-tratada e água tratada (solução aquosa de monocromia).....	52
Tabela 3: esquema de banhos de tingimento utilizando água tratada (rejeitos dos tingimentos com bicromia) e malha 100% acrílica de gramatura 3,205g/m ² da ACRILAN®.....	54
Tabela 4: esquema de banhos de tingimento utilizando água tratada diluída com água destilada.	55
Tabela 5: Leitura das absorvâncias das amostras de corante azul tratadas pelo método eletroquímico.....	59
Tabela 6: Leitura das absorvâncias das amostras tratadas pelo método fotoeletroquímico.....	61
Tabela 7: Leitura das absorvâncias das amostras de corante amarelo tratadas pelo método fotoeletroquímico.....	63
Tabela 8: Leitura das absorvâncias das amostras tratadas pelo método fotoeletroquímico.....	65
Tabela 9: Leitura das absorvâncias das amostras tratadas.....	70
Tabela 10: valores de TOC das amostras de solução aquosa de corantes azul, amarelo e vermelho tratadas pelo processo fotoeletroquímico.....	71
Tabela 11: resultados dos tingimentos com solução tratada empregando corantes azul, amarelo e vermelho.....	74
Tabela 12: Intensidade colorística das amostras de tecido acrílico tinto com corantes básicos azul, amarelo e vermelho, empregando água tratada (solução de corante azul) e água destilada.....	77
Tabela 13: Intensidade colorística das amostras de tecido acrílico tinto com corantes básicos azul, amarelo e vermelho, empregando água tratada (solução de corante amarelo) e água destilada.....	78
Tabela 14: Intensidade colorística das amostras de tecido acrílico tinto com corantes básicos azul, amarelo e vermelho, empregando água tratada (solução de corante vermelho) e água destilada.....	79

Tabela 15: Intensidade colorística (K/S) das amostras de tecido acrílico tinto com corante básicos azul, empregando água tratada (rejeito do tingimento com corante azul com e sem retardante) e água destilada.....	80
Tabela 16: Intensidade colorística das amostras de tecido 100% acrílico de gramatura 3,205g/m ² da ACRILAN® tinto com bicromia (50% de corante azul e 50% de corante amarelo), empregando água tratada (efluentes 1, 2 e 3) e água destilada.....	81
Tabela 17: Intensidade colorística das amostras de tecido 100% acrílico de gramatura 3,205g/m ² da ACRILAN® tinto com tricromia (35% de corante azul, 35% de corante amarelo e 30% de corante vermelho), empregando água tratada (efluentes 1, 2 e 3) e água destilada.....	81
Tabela 18: Intensidade colorística das amostras de tecido malha 100% acrílica de gramatura 3,205g/m ² da ACRILAN® tinto, empregando água tratada (efluentes 1, 2 e 3) diluída com 10 e 20% de água destilada e somente água destilada.....	82
Tabela 19: Intensidade colorística das amostras de tecido malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tinto, empregando água tratada (efluentes 1 e 3), água destilada(não-tratada) e diluições de 10, 20 e 30% com água destilada.....	83
Tabela 20: Diferença de cor residual das amostras dos tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintas com diferentes cores (monocromia).....	84
Tabela 21: Diferença de cor residual das amostras dos tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintas com diferentes cores (monocromia).....	85
Tabela 22: Diferença de cor residual das amostras dos tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintas com diferentes cores (monocromia).....	87
Tabela 23: Diferença de cor residual das amostras dos tecidos malha 100% acrílicos de gramatura 1,92g/m ² da Tapajós Têxtil LTDA tintos com corante azul na presença e ausência de retardante.....	88
Tabela 24: Diferença de cor residual das amostras de diferentes tecidos malha 100% acrílica tintos com bicromia empregando diferentes efluentes tratados.....	89

Tabela 25: Diferença de cor residual das amostras de diferentes tecidos malha 100% acrílica tintos com tricromia empregando diferentes efluentes tratados.....	90
Tabela 26: diferença de cor residual das amostras de tecido malha 100% acrílica de gramatura 3,205g/m ² da ACRILAN® tinto, empregando água tratada (efluentes 1, 2 e 3), água destilada (não-tratada) e diluições de 10 e 20% com água destilada.....	91
Tabela 27: Determinação da solidez de cor à ação de lavagem – NBR 13062 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintos com solução de corante azul tratada e água destilada.....	93
Tabela 28: Determinação da solidez de cor à ação de lavagem – NBR 13062 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintos com solução de corante amarelo tratada e água destilada.....	93
Tabela 29: Determinação da solidez de cor à ação de lavagem – NBR 13062 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintos com solução de corante vermelho tratada e água destilada.....	94
Tabela 30: Determinação da solidez de cor à ação de lavagem – NBR 13062 para tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,92g/m ² da Tapajós Têxtil LTDA tintos com rejeito tratado do tingimento do corante azul com e sem retardante e água destilada.....	95
Tabela 31: Determinação da solidez de cor à fricção – NBR 8432 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintos com solução de corante azul tratada e água destilada.....	96
Tabela 32: Determinação da solidez de cor à fricção – NBR 8432 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintos com solução de corante amarelo tratada e água destilada.....	96
Tabela 33: Determinação da solidez de cor à fricção – NBR 8432 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintos com solução de corante vermelho tratada e água destilada.....	97
Tabela 34 : Determinação da solidez de cor ao suor ácido e básico– NBR 8431 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintos com solução de corante azul tratada e água destilada.....	98
Tabela 35: Determinação da solidez de cor ao suor ácido e básico– NBR 8431 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m ² da Malharia Diana® tintos com solução de corante amarelo tratada e água destilada.....	99

Tabela 36: Determinação da solidez de cor ao suor ácido e básico– NBR 8431 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tintos com solução de corante vermelho tratada e água destilada.....100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

POA – Processos oxidativos avançados
DQO – Demanda química de oxigênio
DBO – Demanda bioquímica de oxigênio
PAN – Poliacrilonitrila
K/S – Intensidade colorística
 ΔE – Diferença de cor residual
COT – Carbono orgânico total
OH \cdot - radical hidroxila
BV - banda de valência
BC - banda de condução
h $+$ - energia do “band gap”
h ν - radiação eletromagnética
 λ_m – comprimento de onda
R – remissão
 ΔH - desvio de tonalidade
 ΔC - desvio de pureza
 ΔL - desvio de claridade

SUMÁRIO

1– INTRODUÇÃO	19
1.1– Caracterização do Problema e Objetivos.....	19
1.2 - Fundamentação Teórica.....	21
1.2.1 – Corantes.....	21
1.2.1.1- Corantes Básicos.....	22
1.2.2 - Fibras Acrílicas.....	23
1.2.3 - Tingimento de Fibras Acrílicas.....	24
1.2.4 - Processos de Depuração dos Efluentes Têxteis.....	24
1.2.4.1 – Sistema de Lodo Ativado.....	25
1.2.4.2 – Processos Biológicos.....	25
1.2.4.3 – Processos Físico – Químicos.....	26
1.2.4.4 – Processos Oxidativos Avançados.....	27
1.2.4.4.1- Fotocatálise Heterogênea.....	27
1.2.4.4.2- Processos Oxidativos Avançados Envolvendo Processo Fotoeletroquímico.....	29
1.2.4.4.3- Processos Oxidativos Avançados Envolvendo H ₂ O ₂	29
1.2.4.5 - Tecnologia de Bioreatores de Membrana.....	30
1.3 - Revisão Bibliográfica.....	31
1.3.1 – Tratamentos por Adsorção.....	32
1.3.2 – Tratamentos Biológicos.....	34
1.3.3 – Tratamentos Oxidativos.....	36
2 – PARTE EXPERIMENTAL	40
2.1 – Preparação das Curvas Analíticas.....	40
2.1.1 - Soluções de Corante de Monocromia.....	40
2.1.2 - Soluções de Corante de Bicromia e Tricromia.....	42
2.1.3 – Tecidos Tintos com Diferentes Concentrações de Corante.....	44
2.2 – Método do Tratamento Fotoeletroquímico.....	46
2.2.1 - Otimização do Processo Fotoeletroquímico.....	47
2.2.2 - Tratamentos para a Remoção da Cor.....	48
2.2.2.1 – Soluções de Corante de Monocromia.....	48

2.2.2.1.1 – Soluções de Corante Azul com e sem o Retardante ASTRAGAL PAN.....	49
2.2.2.1.2 - Tratamento Eletroquímico na Solução do Corante Azul.....	49
2.2.2.2 – Soluções de Corante de Bicromia.....	49
2.2.2.3 – Solução de Corante de Tricromia.....	50
2.3 – Tecidos Acrílicos.....	50
2.4 – Tingimentos de Tecidos Acrílicos.....	51
2.4.1 - Preparação dos Tecidos Acrílicos para Tingimentos.....	51
2.4.2 – Preparo do Banho de Tingimento de Monocromia.....	51
2.4.2.1 – Preparo do Banho de Tingimento com e sem o Retardante ASTRAGAL PAN.....	53
2.4.3 – Preparo dos Banhos de Tingimentos de Bicromia e de Tricromia.....	53
2.4.3.1 - Diluição dos Rejeitos dos Tingimentos Tratados pelo Processo Fotoeletroquímico para Posterior Tingimento.....	54
2.5 - Controle Analítico.....	56
2.5.1 – Avaliação do Tratamento Fotoeletroquímico.....	56
2.5.1.1 – Porcentagem de Eficiência.....	56
2.5.1.2 - Carbono Orgânico Total.....	56
2.5.2 – Análise dos Tingimentos.....	56
2.5.2.1 – Determinação da Porcentagem de Esgotamento.....	56
2.5.2.2 – Determinação do K/S (intensidade colorística) e do ΔE (diferença de cor residual).....	57
2.5.2.3 – Ensaio de Solidez.....	57
2.5.2.3.1 – Solidez à Fricção.....	58
2.5.2.3.2 – Solidez à Lavagem.....	58
2.5.2.3.3 - Solidez ao Suor Ácido e Alcalino.....	58
3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
3.1 - Tratamento das Soluções de Corante e Rejeitos dos Banhos de Tingimentos.....	59
3.1.1 - Tratamento para a Degradação da Cor de Monocromia.....	59
3.1.1.1 - Tratamento Eletroquímico da Solução do Corante Azul.....	59

3.1.1.2 – Tratamento Fotoeletroquímico da Solução do Corante Azul.....	59
3.1.1.3 – Tratamento Fotoeletroquímico na Solução do Corante Amarelo.....	61
3.1.1.4 – Tratamento Fotoeletroquímico na Solução do Corante Vermelho.....	63
3.1.1.5 – Tratamento Fotoeletroquímico dos Rejeitos dos Tingimentos de Monocromia com e sem Retardante.....	66
3.1.2 - Tratamento para a Degradação da Cor do Rejeito do Tingimento com Bicromia.....	67
3.1.3 - Tratamento para a Degradação da Cor da Solução de Tricromia.....	69
3.2 – Controle Analítico.....	70
3.2.1 - Carbono Orgânico Total.....	70
3.2.2 – Determinação da Porcentagem de Esgotamento dos Tingimentos.....	71
3.2.2.1 – Solução de Corante Azul Tratada.....	71
3.2.2.2 – Solução de Corante Amarelo Tratada.....	72
3.2.2.3 – Solução de Corante Vermelho Tratada.....	73
3.2.2.4 – Solução de Corante Azul com e sem Retardante Tratada.....	74
3.2.2.5 - Rejeitos dos Tingimentos de Bicromia.....	75
3.2.3 - Determinação da Intensidade da Cor (K/S).....	77
3.2.3.1 – Solução de Corante Azul Tratada.....	77
3.2.3.2 – Solução de Corante Amarelo Tratada.....	78
3.2.3.3 – Solução de Corante Vermelho Tratada.....	78
3.2.3.4 – Solução de Corante Azul com e sem Retardante.....	80
3.2.3.5 - Rejeitos dos Tingimentos de Bicromia.....	81
3.2.4 - Determinação da Diferença de Cor Residual (ΔE).....	83
3.2.4.1 – Tingimento com Solução de Corante Azul Tratada.....	83
3.2.4.2 – Tingimento com Solução de Corante Amarelo Tratada.....	85
3.2.4.3 – Tingimento com Solução de Corante Vermelho Tratada.....	86

3.2.4.4 – Solução de Corante Azul com Retardante e sem Retardante Tratada.....	88
3.2.4.5 - Rejeitos dos Tingimentos de Bicromia Tratados.....	89
3.2.5 – Ensaio de Solidez.....	92
3.2.5.1 - Solidez à Lavagem.....	92
3.2.5.1.1 – Tingimento com Soluções de Monocromia Tratadas.....	92
3.2.5.1.2 – Tingimento com Reuso do Rejeito com Retardante e sem Retardante.....	94
3.2.5.2 -Solidez à Fricção.....	95
3.2.5.2.1 – Tingimento com Soluções de Monocromia Tratadas.....	95
3.2.5.3- Solidez ao Suor Ácido e Básico.....	97
3.2.5.3.1 – Tingimento com Soluções de Monocromia Tratadas.....	97
4 – CONCLUSÕES.....	101
5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

1– INTRODUÇÃO

1.1– Caracterização do Problema e Objetivos

A água é a substância mais abundante na terra, sendo o estoque natural de água existente no planeta da ordem de 1.386.000.000 de km³. Entretanto a água doce constitui uma fração mínima do capital hídrico mundial, onde 97,5% da água do mundo corresponde à massa líquida dos oceanos, mares e lagos salgados, portanto imprópria para consumo. Apenas 2,5% restante correspondem às águas doces e, desse total, 90% estão nos mananciais subterrâneos e apenas 10% estão na superfície. Do total de água disponível para o consumo mundial, cerca de 70% são utilizados na agricultura. A indústria é responsável por 22%, ficando apenas 8% para uso doméstico (TOLEDO, 2004). Diante desta fração de consumo de água doce, os problemas de contaminação destas águas naturais vem ganhando atenção e preocupação ambiental da sociedade. O Brasil, sendo o segundo país mais rico em recursos hídricos, torna a água um meio abundante. O que está faltando é gerenciamento (FRANK, 2004).

Estima-se que até 2025, a indústria será responsável por 24% do consumo mundial de água. As indústrias despejam de 300 a 500 milhões de toneladas de metais pesados e outros dejetos nas águas. Ainda para 2025 projeta-se um aumento de 50% no consumo de água nos países em desenvolvimento e de 18% nos países desenvolvidos. Da parte da indústria, o setor têxtil consome por volta de 15% da água, gerando rejeito na maioria dos casos extremamente contaminado depois dos processos. A presença de corantes que não se fixam na fibra tornam os efluentes têxteis altamente coloridos.

A água é usada na indústria têxtil como meio de transporte para os produtos químicos que entram em cada processo, bem como para remoção do excesso destes produtos empregados para o beneficiamento de fios e tecidos. Contudo, com a escassez de recursos naturais, a água já está sendo avaliada como um componente a mais nas planilhas de custos das empresas (TWARDOKUS; SOUZA A.; SOUZA S., 2005).

Recentemente, algumas questões têm desafiado a indústria têxtil. Uma dessas questões, que provocou um grande número de mudanças, é a preocupação com o meio ambiente. Diante da crescente competitividade de um mundo globalizado, a indústria, especialmente a têxtil, deve dirigir seus esforços no sentido de reduzir

custos, melhorando processos e tornando seus produtos competitivos num mercado cada vez mais disputado. Portanto, propostas alternativas visando economia no consumo de água e o reuso da mesma, bem como, melhorar as características das fibras proporcionando processos com menor consumo de corantes e auxiliares é de suma importância para o setor têxtil. Revelando ser inadmissível o descarte do uso de corantes na indústria têxtil, pois a sua utilidade é de extrema importância para a sociedade como, por exemplo, os corantes sintéticos que, além da área têxtil, são utilizados na indústria gráfica, fotográfica e como aditivos em derivados de petróleo (NIGAM, 1995).

Diante dos problemas ambientais gerados pelas indústrias têxteis, estas buscam alternativas para tratamento de resíduos industriais, sendo que os corantes são os compostos mais difíceis de serem tratados por serem de origem sintética e aromáticos de estrutura complexa (YUZHU e colaboradores, 2001). Por não apresentarem 100% de fixação no artigo têxtil, são perdidos no efluente após o processo de tingimento.

Em presença destas situações de aspectos ambientais, a proposta deste projeto de pesquisa foi avaliar o potencial de reuso de soluções de uma classe de corantes, os corantes básicos, que foram produzidas no laboratório no tingimento de fibras acrílicas e tratadas para remoção da cor por processo fotoeletroquímico. Com isso o trabalho apresenta os seguintes objetivos:

- Otimizar as condições de tratamento fotoeletroquímico de soluções de corante que resulte em características necessárias para reutilizá-las em tingimentos;
- Preparar receitas de tingimentos adaptadas as características da solução tratada de cada corante;
- Testar receitas de tingimentos com corantes de cores claras, médias e escuras;
- Determinar a porcentagem de esgotamento nos tingimentos e o rendimento colorístico;
- Determinar a intensidade de cor (K/S) e a diferença de cor residual (ΔE) das amostras dos tecidos tintos;
- Avaliar a solidez à lavagem, ao suor e a fricção nos tingimentos;

- Testar novos meios de reuso da água utilizada em banhos de tingimento de monocromia e bicromia.

1.2- Fundamentação Teórica

1.2.1 – Corantes

Os corantes são compostos solúveis ou dispersáveis em água e aplicados a vários substratos que podem ser materiais têxteis, couro, papel, entre outros. Durante o processo de tingimento, os corantes são adsorvidos, difundindo-se para o interior da fibra a partir de interações físico-químicas ou ligações entre corante e fibra (BARCELLOS, 2004).

Os corantes absorvem seletivamente radiações luminosas de comprimento de onda correspondente à região do visível (400 a 800nm). Esta absorção está relacionada a um estado de insaturação da molécula. Os grupamentos químicos responsáveis pelo aparecimento da cor são os grupos cromóforos, como, por exemplo, $-N=N-$, $-ON=O$, $-N=O$, $-S=S-$, entre outros.

Uma substância é classificada como corante pelo seu grupo cromóforo e pelos agrupamentos adicionais que irão lhe conferir afinidade com a fibra denominados grupos auxocromos cujos principais são: $-OH$, $-COOH$, $-NH_2$, $-SO_3R$, entre outros (MENEGAZZI, 1997).

Os corantes podem se classificar em (SHREVE; BRINK Jr., 1977):

- Reativo: ligam-se quimicamente às fibras celulósicas e são solúveis em água. Caracterizado quimicamente pela presença do grupamento azo ($-N=N-$);
- Redução (à tina): é a classe mais antiga que se tem conhecimento e é caracterizada pelo grupo cetônico ($C=O$);
- Dispersos: apresentam baixa solubilidade em água e foram especialmente desenvolvidos para tingir o acetato de celulose e algumas fibras sintéticas, principalmente Poliéster;
- Diretos (aniônicos): usados para tingir fibras celulósicas, pertencendo freqüentemente à classe azo;
- Ao Enxofre (sulfurosos): caracterizam-se por um sistema de redox reversível, com ruptura da ligação do dissulfeto e posterior reação oxidativa

de condensação, sendo que os grupos tióis (SH) facilmente oxidam na fibra à sua forma original;

- Ácidos (aniônicos): bastante solúveis em água e tingem fibras protéicas (lã, seda, outros) e poliamídicas, caracterizada quimicamente pela presença de um ou mais grupamentos sulfônicos (-SO₃H);
- Básicos (catiônicos): apresentam carga positiva e são aplicados a fibras acrílicas.

1.2.1.1 – Corantes Básicos

Estes corantes se apresentam em forma de pó. São sensíveis ao pH, embora dependendo de sua constituição química. A maioria deste corantes apresentam boa estabilidade à hidrólise. Os cátions do corante, em estado dissociado no banho de tingimento, podem migrar para os sítios aniônicos da fibra e são adsorvidos na sua superfície; podem se difundir da superfície para o interior da fibra e podem se ligar aos grupos ácidos da fibra, estabelecendo ligações iônicas com a mesma (BARCELLOS, 2004).

Os corantes catiônicos podem ser divididos em dois grupos importantes:

- *Corantes com a carga positiva não-localizada ou mesomérica*: a carga positiva está no cromóforo, não está em um exclusivo átomo de N, mas distribuída como uma carga não-localizada (ressonância). A **figura 1** mostra um corante catiônico com a carga não-localizada.

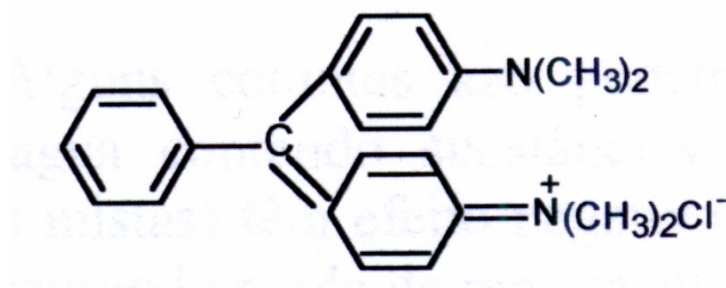


Figura1 : corante catiônico com carga não-localizada.

- *Corantes com carga positiva localizada*: a carga positiva está localizada nas extremidades da molécula e são separadas do cromóforo por uma cadeia alifática. A **figura 2** mostra um corante catiônico com a carga localizada.

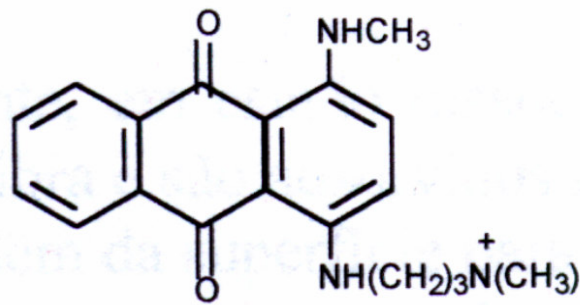


Figura 2 : corante catiônico com carga localizada.

1.2.2 - Fibras Acrílicas

A fibra acrílica é uma fibra sintética contendo no mínimo 85% de acrilonitrila (**figura 3**) e no máximo 15% de um comonômero que pode ser: acetato de vinila, cloreto de vinila, metacrilato ou acrilato de metila. Na polimerização, são agregados monômeros neutros tais como acetato de vinila, para aumentar a solubilidade ao solvente e facilitar os processos de fiação e tingimento. Monômeros ácidos como estireno sulfonato são adicionados para aumentar as ligações ácidas do polímero. E monômeros básicos como o vinil piridina quando se deseja capacidade tintorial ácida. Na produção de fibras sintéticas cerca de 9,5 % são correspondentes as fibras acrílicas.

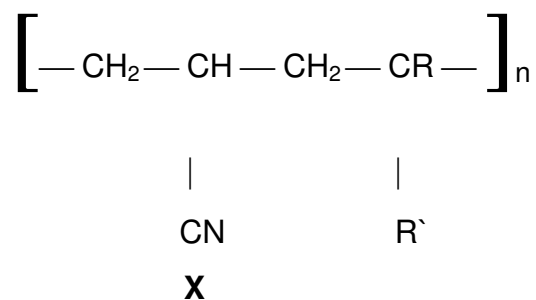


Figura 3: representação do mero (unidade) da Poliacrilonitrila (**x** – 85% de acrilonitrila e R, R` – 15% comonômero).

As fibras acrílicas podem ser tintas com corantes dispersos e preferencialmente com corantes básicos (catiônicos). Os corantes dispersos têm baixos valores de saturação e oferecem tonalidades médias, não apresentando boa solidez, enquanto que os corantes básicos apresentam uma afinidade muito boa

pela fibra, esgotando-se rapidamente no banho de tingimento. Oferecem tonalidades intensas e brilhantes com boa solidez a lavagem e a luz.

1.2.3 – Tingimento de Fibras Acrílicas (SCHÜTZ Jr., 2006)

Nos banhos de tingimentos industriais de fibras acrílicas, além dos corantes básicos, podem ser utilizados ácidos (ácido sulfúrico ou ácido acético); sais (sulfato de sódio, sulfato de amônio ou clorito de sódio) e os auxiliares têxteis (dispersantes, igualizantes, retardantes, amaciantes, essências) que são responsáveis pela alta carga orgânica dos efluentes, sendo que, na sua maioria, são compostos etoxilados, ácidos graxos, álcoois, ésteres e aminas.

O volume de banho de tingimento de 300kg de fios, por exemplo, é de 2750L. Em média, ocorrem dois banhos por processo. Sendo assim, são gastos cerca de 5500L em média pois a quantidade de banhos de tingimentos varia de acordo com o artigo (espessura do fio) e da cor que está sendo produzida (cores claras, médias ou escuras).

1.2.4 - Processos de Depuração dos Efluentes Têxteis (TOLEDO, 2004)

Na indústria têxtil, a água é a matéria-prima mais usada na manufatura dos produtos. O efluente têxtil é a água residual rica em substâncias orgânicas (combinação de carbono, hidrogênio, oxigênio e, em alguns casos, nitrogênio, enxofre e fósforo) que abrangem uma enorme preocupação com a presença de materiais sintéticos e metais pesados (OLIVEIRA, 1996).

As águas residuais da indústria têxtil, com exceção das produzidas nos processos de lavagem da lã (carregadas de matéria orgânica, graxas e matéria em suspensão), são caracterizadas por:

- sua grande variabilidade caudal e de carga contaminante;
- baixo conteúdo em materiais coloidais e em suspensão, a maior parte de sua contaminação está na forma solúvel;
- geralmente são fortemente coloridas;
- sua carga orgânica média é o dobro da encontrada em águas residuais urbanas;
- geralmente não contêm produtos de toxidez acentuada;
- são deficitárias em nutrientes e isentas de microorganismos patogênicos.

A depuração conjunta de efluentes têxteis com águas urbanas dariam bom resultados se o caudal de águas urbanas for predominante. Caso contrário é

necessário modificar a depuradora para eliminar a cor, ou ainda eliminar a cor, previamente, na indústria mediante processos de oxidação catalisada como por exemplo, ozônio, oxidação eletroquímica.

1.2.4.1 – Sistema de Lodo Ativado

O processo de lodos ativados é extremamente eficiente para a remoção de matéria biodegradável presente nos despejos de indústrias (COSTA e colaboradores, 2003). Este tratamento promove uma redução de cerca de 95% de DBO e os corantes removidos numa proporção de 70% (BUBLITZ, 2003).

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) são dois padrões de monitoramento durante as análises do efluente. Com o DBO mede-se o consumo de oxigênio durante o processo de oxidação bioquímica por bactérias durante usualmente cinco dias, podendo durar até trinta. E o DQO determina a quantidade de matéria orgânica biodegradável e não-biodegradável presente no efluente através de uma oxidação com dicromato de potássio em meio fortemente ácido. Este teste dura aproximadamente 2,5 horas (BONATTI, 1999).

1.2.4.2 – Processos Biológicos

Os tratamentos baseados neste tipo de processo são freqüentemente utilizados nas indústrias, uma vez que permitem o tratamento de grandes volumes de efluente transformando compostos orgânicos tóxicos em CO_2 e H_2O ou CH_4 e H_2O , com custos relativamente baixos (FREIRE e colaboradores., 2000). O processo biológico de lodos ativados apresentam boa redução de DQO e DBO entretanto pobre eliminação de cor.

O sistema de lodos ativados inclui um índice de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, implicando em uma operação mais sofisticada e em maiores consumos de energia elétrica. O tanque de aeração (reator), o tanque de decantação e a recirculação de lodo são unidades integrantes da etapa biológica (SPERLING, 1997). No reator ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica e, em determinadas condições, da matéria nitrogenada. No decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos, permitindo que o efluente final saia clarificado. Os sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário são recirculados para o reator, aumentando a concentração de biomassa no mesmo, o que é responsável pela elevada eficiência do sistema.

Os processos aeróbios, aplicados comumente em lagoas aeradas industriais, fundamentam-se na utilização de bactérias e fungos que requerem oxigênio molecular. Já a biodegradação sob condições anaeróbias tem sido objeto de muito interesse e os processos enzimáticos correspondem a uma das mais recentes tecnologias.

1.2.4.3 – Processos Físico - Químicos

Devido aos choques de cargas orgânicas e por repentinas variações de teores de alguns poluentes (sais inorgânicos e substâncias orgânicas tóxicas), o lodo biológico pode ser afetado de forma prejudicial. Contudo o uso de carvão ativado combinado com o processo de lodos ativados tem sido proposto para desenvolver a eficiência do tratamento de efluentes industriais complexos, variando relativamente sua composição (SHER e colaboradores, 2000; MEIDL e colaboradores, 1997; DALMACIJA e colaboradores, 1996; BELKIN e colaboradores, 1994).

No entanto, apesar da eficiência significativa no uso do carvão ativado, a superfície química do carvão é positiva e, com isso, a adsorção de corantes de caráter catiônico é uma limitação bastante importante (KUNZ; PERALTA-ZAMORA, 2001).

Nestes processo pode ocorrer uma adsorção física, ocorrendo uma interação de van der Waals entre o adsorvato e o adsorvente, ou uma adsorção química onde as moléculas ou átomos se unem a superfície do adsorvente através de ligações químicas (usualmente covalentes), acomodando-se em sítios que propiciem o número de coordenação máximo com o substrato (ATKINS, 1997).

O método químico pode ser utilizado na remoção de material orgânico e coloidal, cor, turbidez, odor, ácidos e álcalis. Feito em tanques de equalização, o processo de neutralização dos despejos é importante pois a variação de pH reflete e influencia, normalmente, em tratamentos posteriores. A decantação das partículas suspensas no efluente resulta na adição de Sulfato de Alumínio ou Cloreto Férrico e de polímero coadjuvante (LAGUNAS, 1998). Este tratamento diminui a DQO e DBO, mediante controle adequado de homogeneização e aeração (manutenção da vida bacteriana); apresenta boa redução da cor e de materiais em suspensão; gera uma quantidade considerável de lodos; combinado com o processo de lodo ativado, apresenta resultados excelentes, porém custos elevados; combinando com filtro percolador os resultados globais são bons e o custo moderado.

1.2.4.4 – Processos Oxidativos Avançados

Dentre as novas alternativas para o tratamento de poluentes orgânicos recalcitrantes destacam-se os Processos Oxidativos Avançados (POAs), fundamentados na geração de radicais hidroxilas ($\text{OH}\cdot$). Estes reagem rápida e indiscriminadamente com muitos compostos orgânicos, ou por adição à dupla ligação ou por abstração do átomo de hidrogênio em moléculas orgânicas alifáticas, resultando em radicais orgânicos que reagem com o oxigênio para iniciar uma série de reações de degradação podendo terminar nos produtos de mineralização, como CO_2 e H_2O (AMIRI; BOLTON; CATER, 1997). Vários processos de produção do radical hidroxila têm sido estudados, geralmente utilizando ozônio, peróxido de hidrogênio, semicondutores e reagente de Fenton (FREIRE; PELEGRINE; KUBOTA; DURÁN; PERALTA-ZAMORA, 2000).

1.2.4.4.1- Fotocatálise Heterogênea

Dentro do contexto dos POAs, a fotocatálise heterogênea pode ser considerada uma técnica de caráter universal, a partir da qual grande parte dos conceitos envolvidos nos processos oxidativos avançados foram elucidados. Além disso, a literatura relacionada com a aplicação destes processos é bastante abundante, o que faz com que a eficiência de qualquer nova proposta possa ser facilmente avaliada, tomando-se como referência os resultados já reportados.

A degradação de compostos orgânicos através de fotocatálise heterogênea, assim como os princípios que fundamentam o processo, têm sido o norteador nos estudos de investigação (HOFFMANN; MARTIN; CHOI; BAHNEMANN, 1995; LINSEBIGLER; GUANGQUAN; YATES, 1995; SOUZA; TIBURTIUS; WYPYCH; MORAES; CAMARGO; DURÁN; PERALTA-ZAMORA, 2004).

A fotocatálise heterogênea envolve a ativação de um semicondutor (geralmente TiO_2) por luz solar ou artificial. Um semicondutor é caracterizado por bandas de valência (BV) e bandas de condução (BC) sendo a região entre elas chamadas de “band gap” (**Figura 4**). A absorção de fótons com energia superior à energia do “band gap” resulta na promoção de um elétron da banda de valência para a banda de condução com geração concomitante de uma lacuna (h^+) na banda de valência. Estas lacunas mostram potenciais bastante positivos, na faixa de +2,0 a 3,5 eV. Este potencial é suficientemente positivo para gerar radicais hidroxilas $\text{HO}\cdot$ a partir das moléculas de água adsorvidas na superfície do semicondutor (**equação 1 e 2**), os

quais podem subseqüentemente oxidar o contaminante orgânico (BERTAZOLLI; PELEGRINI, 2002).

Dentro do contexto das espécies químicas relacionadas com o tipo de contaminação aqui tratado, a fotocatalise heterogênea tem sido utilizada com bastante sucesso na degradação de inúmeros substratos de interesse, utilizando-se principalmente TiO_2 como catalisador (MURUGANANDHAM; SWAMINATHAN, 2004; ARABATZIS; STERGIOPOULOS; ANDREEVA; NEOPHYTIDES; FALARAS, 2003).

A literatura sobre métodos heterogêneos orientados à remediação de efluentes industriais, ou pelo menos a substratos de interesse ambiental, é abundante. Entretanto, a aplicação destes procedimentos em níveis industriais é bastante discutida, principalmente em função de desvantagens que derivam do seu caráter heterogêneo. Neste sentido, as dificuldades na penetração da radiação num meio que contém uma fina suspensão de partículas opacas, a dificuldade na remoção dos fotocatalisadores uma vez terminando o processo e a presença de um sistema de oxigenação, constituem-se como as principais desvantagens do processo. Deste ponto de vista, a utilização de processos que operam em fase homogênea mostra-se mais conveniente, uma vez que viabiliza o desenvolvimento de processos fotoquímicos contínuos, aplicáveis em maior escala.

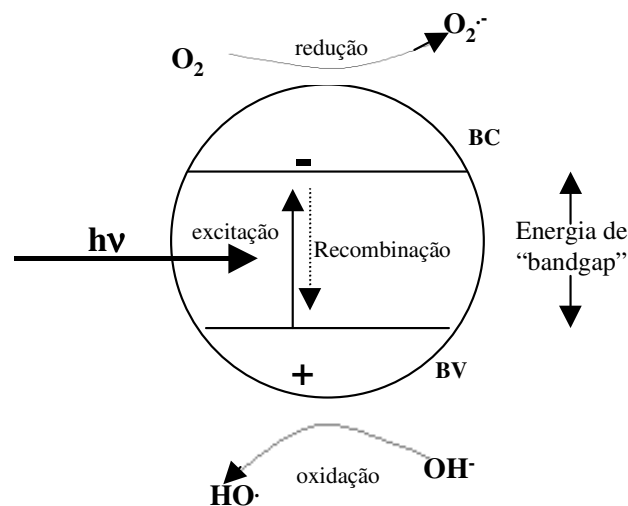


Figura 4: Representação esquemática dos princípios da fotocatalise heterogênea



1.2.4.4.2- Processos Oxidativos Avançados Envolvendo Processo Fotoeletroquímico

O processo fotoeletroquímico que está descrito no **item 2.2** envolve também a formação de radicais hidroxila representado na **figura 4**, porém ocorre com a implementação de sistemas que operam com fotocatalisadores (KUNZ; PERALTA-ZAMORA, 2001) imobilizados e não há a necessidade de conectar um sistema de oxigenação pois a mesma é substituída pelo processo eletroquímico do sistema.

1.2.4.4.3- Processos Oxidativos Avançados Envolvendo H₂O₂

O radical hidroxila, principal agente oxidante nos processos denominados “oxidativos avançados”, pode ser gerado com eficiência a partir de sistemas que envolvem radiação ultravioleta e peróxido de hidrogênio (**equação 3**).



A elevada eficiência de degradação dos sistemas fotoquímicos e assistidos por H₂O₂ tem sido bastante relatada na literatura. Dentre outros importantes resultados destacam-se a completa e rápida degradação de corantes azo (MURUGANANDHAM; SWAMINATHAN,2004; MALIK; SANYAL, 2004).

É importante salientar que, quando em elevadas concentrações, o peróxido de hidrogênio apresenta uma elevada capacidade para “capturar” radicais hidroxilas (**equação 4 e 5**). Desta maneira existe um importante compromisso entre eficiência de degradação e concentração de H₂O₂, tal como demonstrado por Ince em estudo de degradação de azo-corantes (INCE, 1999).



O radical hidroxila também pode ser gerado através da reação de Fenton (**equação 6**), processo que tem permitido a eficiente degradação de muitos poluentes (SEDLAK; ANDREN, 1991; ARNOLD; HICKEY; HARRIS, 1995). Recentemente, importantes melhoras na eficiência do processo têm sido relatadas, recorrendo-se à utilização de sistemas assistidos por radiação ultravioleta (**equação**

7). Nestas condições, a formação de radical hidroxila é favorecida, o que propicia a rápida degradação de espécies químicas resistentes. Dentre outros importantes estudos, destacam-se a degradação de corantes (NEAMTU; YEDILER; SIMINICEANU; KETTRUP, 2003; RATHI; RAJOR; SHARMA, 2003).



Certamente, uma das principais vantagens do sistema Fenton fotoassistido está representado pela necessidade de fontes de irradiação menos energéticas. Enquanto a geração de radical hidroxila a partir de H_2O_2 (**equação 3**) requer energia correspondente a comprimentos de onda menores que 300nm, o sistema foto-Fenton (**equação 7**) pode se processar com radiação da ordem de 410nm, entretanto a presença de ferro residual deste sistema pode comprometer a resistência do algodão no caso de um interesse em reutilização.

1.2.4.5 - Tecnologia de Bioreatores de Membrana

No futuro quando a tecnologia de bioreatores de membrana (MBR) for mais barata, permitirá com toda probabilidade depurar os efluentes têxteis com elevados rendimentos, permitindo talvez uma elevada porcentagem de reutilização. Na atualidade não se conhece nenhuma indústria têxtil brasileira, com tinturaria e acabamento que disponha de uma estação de tratamento de efluentes com MBR. A maioria das aplicações, são encontradas nas indústrias de química fina, de alimentos ou ainda tratamento de águas domésticas (TOLEDO, 2004).

1.3 - Revisão Bibliográfica

Neste item descreve-se uma série de métodos visando a eliminação da cor de soluções.

Os processos têxteis são grandes consumidores de água, geradores de efluentes volumosos e complexos, com elevada carga orgânica aliada a elevado teor de sais inorgânicos, principalmente quando se trata de tingimentos de fibras de algodão. Os corantes sintéticos são extensivamente empregados na indústria têxtil, onde estima-se que 10 a 15% são perdidos no efluente (CEGARRA, 2000). A preocupação com a estética e qualidade do ambiente atingido por efluentes coloridos leva à busca de alternativas de descoloração, especialmente dos corantes têxteis (DUENSER, 1992; TZANOY, 2001).

Têm sido utilizados vários métodos para remoção de corantes e outros produtos químicos presentes no efluente, nomeadamente processos físico-químicos como coagulação, floculação, precipitação, oxidação (por cloro, com ozônio ou com peróxido de hidrogênio), tecnologias de membrana (ultrafiltração, microfiltração e nanofiltração) (BAUGHMAN; PERKINS, 2001; UYGUR, 2001) e processos biológicos convencionais (BALAN, 2000). A diversificação destes métodos relaciona-se com as variações das características dos efluentes provenientes da indústria têxtil, que resultam do uso de diferentes matérias primas e da tecnologia de produção. No entanto ainda não foi encontrado, economicamente viável, uma tecnologia combinada eficaz que permita a eliminação total da coloração presente nas águas residuais que possibilite a reutilização desta água em processos de tingimento ou lavagem.

São poucos os estudos com relação a efluentes provenientes de tingimentos de fibras sintéticas, principalmente acrílicas, encontrados na literatura (KOH; SHIM; KIM; 2001a; KOH; SHIM; KIM; 2001b). Entretanto encontram-se inúmeros trabalhos que abordam tratamentos alternativos de efluentes têxteis, mas em sua totalidade tratam-se de estudos com efluentes provenientes de tingimentos de fibras celulósicas, ou seja com corantes reativos, diretos e à redução por apresentarem uma porcentagem de esgotamento menor (DAVIS, 1991; FITZ; BISHOP, 1995; GROSS; SCHÄFER; JANITZA; TRAUTER, 1999).

Koh e colaboradores estudaram a influência do controle do pH no esgotamento e na condutividade do banho de tingimento poliamidas com corantes ácidos. Em outro estudo estes autores avaliaram o efeito de diferentes doadores ácidos no

controle de pH no tingimento de poliamidas, visando a reutilização do banho em vários ciclos (KOH; SHIM; KIM; 2001a; KOH; SHIM; KIM; 2001b).

1.3.1 – Tratamentos por Adsorção

Estudos realizados com o biopolímero Quitosana para a remoção de corantes reativos de efluentes têxteis mostram uma redução de cor de aproximadamente 99% (ASEN; BARCELLOS, 2003) e, na remoção da cor do efluente de uma indústria têxtil, obteve-se uma redução em torno de 95% (BONATTI; BARCELLOS; REBELO, 1999), tornando-se uma material adsorvente alternativo para a remoção de cor.

Um compósito fibrilar formado por poliacrilonitrila (PAN) e quitosana foi preparado para mistura de PAN/quitosana e foi usado uma certa quantidade de ácido acético diluído, como plastificante. A água plastifica o PAN e o ácido acético a quitosana. A fibra obtida apresentou uma estrutura porosa e fibrilar, a qual pode ser convertida facilmente em flocos pelo processo de floculação. Os flocos da blenda PAN/quitosana mostraram uma afinidade maior, que a quitosana em pó e o carvão ativo, pelo corante ácido. Considerou-se que esta melhora na capacidade de adsorção do corante é devido a maior área superficial dos flocos fibrilares de PAN/Quitosana. Os autores observaram que a temperatura e o pH influenciaram o comportamento de adsorção do corante, pois a adsorção é exotérmica e procede por reação ácido-base (MIN; KIM, 2002).

No estudo cujo objetivo foi avaliar a isoterma de adsorção de 30 °C a 60 °C do corante ácido amarelo Erionyl RXL no adsorvente blenda náilon 6.6/quitosana 80/20 na forma de flocos, as determinações da eficiência do tratamento mostram que em todos os casos obteve-se valores acima de 80%, sendo o melhor resultado 97% para a concentração de 2% do corante. A partir da variação do $\ln K$ em função do inverso da temperatura, obteve-se a entalpia de adsorção (ΔH_{ads}) de 104,62 KJ/mol, que significa uma adsorção química (BATTISTI; SPENGLER; BARCELLOS, 2006).

Outro trabalho realizado com o biopolímero quitosana foi na possibilidade de reuso de um efluente têxtil proveniente de processos de tingimento com corantes reativos em processos de beneficiamento de artigos de algodão. Este efluente foi tratado com o biopolímero quitosana e sulfato de alumínio sob diferentes concentrações, temperaturas e tempos de contato. Após o tratamento, o efluente foi reutilizado em processos de pré-tratamento como purga e alvejamento. Obteve-se com o tratamento do efluente por adsorção com quitosana e com a mistura

quitosana/sulfato de alumínio uma remoção da cor acima de 60% e 90% para efluente proveniente das máquinas de tingimento e o efluente proveniente do tanque de equalização, respectivamente. Concluiu-se que este tratamento de efluentes pode ser usado em escala industrial numa empresa de pequeno porte onde não haja um grande volume de efluente devido ao tempo de tratamento para a remoção da cor e posterior estocagem deste efluente para o reuso nos pré-tratamentos e tingimentos (QUADROS; BARCELLOS, 2005).

Os processos de coagulação e adsorção são os mais utilizados na remoção de corantes têxteis. Neste trabalho, foram testados dois materiais adsorventes: carvão ativado de casca de coco e a serragem como material alternativo. Foram utilizadas soluções de corante reativo remazol vermelho RG para o estudo cinético e para o levantamento da isoterma de adsorção. Os resultados mostraram que o carvão ativo necessita de um tempo maior para atingir o equilíbrio, porém sua capacidade de adsorção é maior (BONAN; KOROISHI; SILVA, 2001).

Em outros estudos para a remoção de cor, foram utilizados resíduos sólidos de curtume. O couro residual “wet blue” foi o material adsorvente de corantes têxteis em solução aquosa. Os corantes têxteis usados foram Vermelho Drimarem X6BN, Amarelo Cibacrone, Azul Procion e Indigo. O couro curtido “wet blue” apresentou maior capacidade de adsorção, em pH ácido, quando comparado ao couro natural, ressaltando que o emprego deste material alternativo não polui o meio aquoso, pois não se observou possível lixiviação do cromo (DALLAGO; SMANIOTTO; OLIVEIRA, 2005).

Peruch e Moreira utilizaram carvão ativado comercial para remoção de corantes de tonalidades amarela do grupo monoclorotriazina e diclorotriazina (PERUCH; MOREIRA, 1996). Foram monitoradas isoterma de adsorção dos corantes para temperaturas entre 30 e 60°C. As isotermas de adsorção se ajustaram tanto ao modelo de Langmuir como Freundlich. Os autores verificaram que o aumento na temperatura promove um aumento na capacidade de adsorção dos corantes. A adsorção de uma solução binária de corantes em carvão ativo também foi estudada por Chern e Wu (CHERN; WU, 1999). Eles realizaram testes em batelada em diferentes concentrações iniciais para se determinar a isoterma de adsorção. Observaram que os modelos de Fritz-Schlunder foi o que melhor se ajustou aos dados obtidos.

Beltrame e colaboradores estudaram a utilização de uma microemulsão (tensoativo catiônico de cadeia longa, álcool isoamílico, querosene e efluente) como agente na remoção da cor através dos processos de extração e adsorção (BELTRAME; DANTAS; NETO; NASCIMENTO, 2004). No efluente utilizado havia um banho de exaustão de corantes reativos (Procion Amarelo H-E4D, Procion Azul H-ERD e Procion Vermelho H-E3B). A remoção da cor alcançou índices superiores a 98% e, juntamente com a cor, os metais pesados também foram removidos com índices superiores a 98%. E este processo de remoção foi repetido por até 15 vezes com resultados ótimos com o propósito de determinar a capacidade de carga da microemulsão.

1.3.2 – Tratamentos Biológicos

Há diversas formas físicas, químicas e biológicas de tratamento para efluentes têxteis. O sistema biológico de lodo ativado é reconhecidamente o mais representativo dentre os utilizados por indústrias têxteis. Em lagoas aeradas, o efluente é submetido à oxidação por microorganismos, reduzindo-se eficientemente a carga poluidora lançada no ambiente.

Estudos de degradação de compostos químicos têm mostrado vários microorganismos extremamente versáteis em catabolizar moléculas recalcitrantes. Os caminhos atuais da biotecnologia indicam os fungos basidiomicetos da “podridão branca da madeira”, degradadores de lignina, como eficientes na degradação de grande variedade de compostos e corantes, com alto potencial de ação na recuperação de ambientes contaminados (CHUN; YIZHONG, 1999).

Brás e colaboradores realizaram seus estudos objetivando a degradação biológica de um corante monoazo (CI acid orange 7) usado na indústria têxtil (BRÁS e colaboradores, 2001). Em uma primeira fase foi estudada a descoloração por via anaeróbia e analisada a influência da concentração do corante (entre 60 e 300 mg/L) na remoção da matéria orgânica, obtendo-se uma taxa de descoloração sempre superior a 90%. Posteriormente foram ainda efetuados alguns ensaios de biodegradação aeróbia de aminas aromáticas, que resultam da redução da ligação azo do corante em condições anaeróbias, observaram que uma das aminas (ácido sulfanílico) foi alterada nestas condições. Estes testes foram monitorados por controle de pH, DQO, sólidos suspensos voláteis, oxigênio dissolvido. A remoção do

corante e aminas aromáticas foi acompanhada por espectrofotometria de UV-Visível e cromatografia de camada fina.

Em função de algumas desvantagens dos sistemas biológicos tradicionais de tratamento de efluentes, muitos estudos visando verificar o potencial de novas propostas estão sendo realizados no momento. Dentro deste contexto, destacam-se os estudos envolvendo enzimas lignolíticas, produzidas a partir de culturas de fungos de decomposição branca. Estima-se que grande parte dos problemas apresentados pelos processos biológicos convencionais, poderiam ser contornados com a utilização de reatores enzimáticos (WADA; ICHIKAWA; TATSUMI, 1993). Alguns tratamentos enzimáticos vêm sendo estudados com objetivo de remover grupamentos fenólicos do meio ambiente. A enzima peroxidase é conhecida por sua capacidade de remoção de grupamentos fenólicos e aminas aromáticas de soluções aquosas e também de descoloração de efluentes da indústria têxtil (TONG e colaboradores, 1998).

Peralta-Zamora e colaboradores avaliaram no estudo realizado o potencial de algumas enzimas lignolíticas (peroxidase comercial – HRP), lignina peroxidase e lacase, em relação à degradação de corantes reativos extensivamente utilizados nas atividades de tingimentos de fibras celulósicas (PERALTA-ZAMORA e colaboradores, 2001). Na sua forma livre, estas enzimas permitiram alcançar graus médios de descoloração maiores que 50 % em tempo de reação próximos a uma hora. Quando imobilizadas em diversos suportes, o processo de descoloração atingiu valores superiores a 90 %. No entanto, foi verificado que grande parte desta capacidade de descoloração foi devida a adsorção dos substratos no suporte. A aplicação de tratamentos fotoquímicos prévios, de curta duração (15-30 min), promoveu descolorações próximas a 100%.

Cammarota e Coelho avaliaram a potencialidade da remoção da cor de efluentes da indústria têxtil empregando-se a enzima tirosinase (CAMMAROTA; COELHO, 2001). A enzima atua sobre agupamentos fenólicos presentes na estrutura dos corantes, a fim de removê-los por polimerização, seguida de precipitação. Para tal empregaram um extrato enzimático obtido de cogumelos *Agaricus bispora* e soluções de corantes reativos (Procion Orange MX-2R, Remazol Red 3B e Remazol black GF), diferentes combinações de enzima e corante foram avaliadas. Resultados preliminares apontam para viabilidade técnica do tratamento, haja visto que remoções de cor de 80, 78 e 56% foram obtidas para os corantes

Remazol black GF, Remazol Red 3B e Procion Orange MX-2R, respectivamente, após 24 h de tratamento com atividade enzimática de 85 U/mL e concentração inicial de corante de 83 mg/L.

Na indústria papelreira e de celulose também ocorrem preocupações no tratamento de seus efluentes. Fonseca e colaboradores relatam que os processos biológicos são os mais utilizados. O processo de lodo ativado é o mais eficiente e que melhor atende aos padrões exigidos pela lei. Contudo, na remoção da cor, esses processos biológicos não se mostram eficientes, gerando interesse em pesquisas no uso do tratamento fotoeletroquímico. A indústria papelreira e de celulose exige um grande consumo de água, produzindo, assim, uma grande quantidade de efluentes que, além de apresentar intensa coloração, mostra um grande potencial poluidor devido à etapa de branqueamento da celulose. Diante desta situação preocupante, outras técnicas também têm sido estudadas onde destacam-se, além dos processos fotoeletroquímicos, a Tecnologia Kaldness e tratamento por Filtros Biológicos (FONSECA e colaboradores, 2003).

1.3.3 – Tratamentos Oxidativos

De acordo com a análise de Almeida e colaboradores o tratamento de efluentes industriais (papeleiro, têxtil, farmacêutico e pesticidas) por processos oxidativos na presença de ozônio apresenta-se eficiente na descoloração, remoção de compostos refratários e aumento da biodegradabilidade. Para o efluente têxtil este processo de ozonização tem sido recentemente o mais promissor, pois não gera resíduos sólidos (lodo ativado) e é de fácil instalação e operação (ALMEIDA; ASSALIN; ROSA, 2004).

Uygur estudou a possibilidade de reutilizar o efluente têxtil proveniente do tingimento do algodão (UYGUR, 2001). Após descoloração por um processo de oxidação avançada (H_2O/UV). O efluente foi usado novamente no tingimento de algodão. A reutilização da água num tingimento com corante Yellow Procion seguida da remoção de H_2O_2 residual, resultou numa força colorística de 98,4% comparada ao tingimento padrão (100%). Numa fase seguinte, foi utilizado novamente essa água reciclada, resultando em uma ligeira redução da força colorística cerca de 94% comparada ao tingimento padrão. Pode ser concluído dos resultados dessa pesquisa, que a reutilização de efluentes tratados é possível, porém havendo talvez a necessidade de uma preparação adicional da água tratada para a sua reutilização.

Estudos da degradação de corantes azo Laranja Reativo 16, Preto Reativo 5 e Amarelo Brilhante 3G-P, todos da Aldrich, pelo processo oxidativo por reação entre Fe^{+2} (lã de aço) e peróxido de hidrogênio (reação de Fenton), gerando radical hidroxila, representa uma nova e simples alternativa de tratamento de grandes volumes de resíduos. O trabalho se completa com a eliminação dos sinais correspondentes aos grupos cromóforos, assim como uma remoção bastante significativa das estruturas aromáticas (SOUZA, PERALTA-ZAMORA, 2005).

Outros estudos realizados com corantes reativos por processos Fenton, envolvendo ferro (Nitrato Férrico) imobilizado por uma resina de poliestireno linear e peróxido de hidrogênio, originando um fotocatalisador de elevada atividade, e, posteriormente, aplicado um tratamento fotoquímico mostram uma alta eficiência de degradação, permitindo uma ampliação da faixa operacional de pH (SOUZA e colaboradores, 2005).

Em um estudo aplicando a metodologia fotocatalítica com TiO_2 no tratamento de efluente real derivado de uma indústria têxtil (pós-tratamento biológico) foi possível observar reduções na ordem de 88% em 240 minutos de tratamento, sendo que em 180 minutos o efluente já apresentou uma transparência similar à da água produzida pela estação de tratamento da indústria. Reduções de DQO de 169 para 60mg.L^{-1} que correspondem a 65% foram observadas após 240 minutos de tratamento, mostrando que o processo fotocatalítico demonstra ser uma importante metodologia de depuração de efluentes pois o tratamento biológico não consegue, usualmente, baixar os níveis de DQO (BRITO-PELEGRINI; PELEGRINI, 2005).

Outro trabalho realizado com efluente de uma indústria têxtil foi o tratamento a partir de um processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. O pré-tratamento com o ozônio é um método promissor de oxidação dos corantes transformando-os em degradáveis. E a ozonização no final do tratamento está sendo realizada para a eliminação de cor e de outras substâncias persistentes. O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio PA com solução de 5% e, como auxiliar de floculação, foi utilizado uma solução de polímero sintético não iônico a 0,01%. Os principais corantes utilizados foram os corantes reativos Laranja BF 2R, Amarelo BF 3R, Azul BF GN e o Preto Direto NF 700%. Os ensaios de ozonização demonstraram que o ozônio reage rapidamente com os corantes presentes no efluente têxtil, permitindo uma descoloração eficaz (HASSEMER; SENS, 2002).

Na literatura ainda se encontra muitas propostas para tratamento de efluentes têxteis por métodos eletroquímicos e processos oxidativos avançados (CHERN; WU, 1999; PEPIÓ; GUTIÉRREZ; CRESPI, 2002; UYGUR, 2002). Pepió, Gutiérrez e Crespi em seu trabalho de otimização da descoloração eletroquímica de efluentes têxteis realizaram experimentos baseados numa planificação seqüencial, com o propósito de determinar os fatores de controle do processo que influem sobre sua viabilidade. Os fatores estudados foram: fluxo de água, diferença de potencial, pH, condutividade, temperatura, concentração do corante e dos eletrólitos. A viabilidade foi avaliada através da descoloração obtida, da redução do carbono orgânico total (COT) e o rendimento e consumo elétricos. O método foi aplicado para corantes reativos e seu estudo estatístico deu lugar a modelos, representados na forma de superfícies de resposta, que permitiram determinar as condições ótimas de trabalho. A otimização proporcionou o aumento da descoloração com o mínimo de consumo elétrico, pois atuou sobre os fatores de controle do processo, principalmente a diferença de potencial e o fluxo de água. Utilizaram como eletrólitos o Na_2SO_4 e o NaCl , sendo 40% maior a descoloração quando trabalharam com o NaCl . Verificaram que a descoloração foi máxima para diferenças de potencial elevadas e volumes baixos de vazão, sendo que o consumo minimiza quando a diferença de potencial é baixa e o fluxo de água elevado. A redução do carbono orgânico não foi afetada por nenhum dos fatores de controle do processo eletroquímico, dentro dos intervalos experimentais ensaiados. Os autores consideram a necessidade de maiores esforços na construção de uma célula de tratamento eletroquímico que permita obter um rendimento elétrico mais elevado.

Resultados positivos, mesmo que ainda se deva completar os estudos antes de passar para um escala industrial, foram adquiridos ao analisar a viabilidade de substituir reagentes redutores, que solubilizam os corantes sulfurosos, por um processo eletrolítico. Os eletrodos utilizados por Folch e colaboradores foram de platina e de grafite. Os estudos foram realizados sem oxigênio e nas temperaturas de 50 e 90°C. Ocorrendo esta substituição, permite o reuso do banho de tingimento e impede a elevação dos índices de contaminação do efluentes (FOLCH, 2006).

Uygur estudou a oxidação e fotooxidação em tratamento de efluentes, concluindo que a aplicação simultânea de irradiação ultravioleta com peróxido de hidrogênio ou ozônio aumenta a taxa de oxidação e a força de oxidação (UYGUR, 2002). Segundo os autores o efluente é descolorido rapidamente e as substâncias

químicas nocivas também são degradadas, sugerindo assim, a possibilidade de reutilizar essa água. Porém é um processo bastante caro.

Tendo em vista não somente a área têxtil, Tauchert, E. e Peralta-Zamora, P. avaliaram processos fotoeletroquímicos no tratamento de líquidos lixiviados de aterros sanitários. Preliminarmente, foram aplicados processos de precipitação, permitindo uma redução de cor e da carga orgânica. Devido à elevada carga orgânica apresentada e à forte coloração, surgiam dificuldades no uso somente do processo fotoquímico. Observaram que, com a pré - eliminação de substâncias húmicas em meio ácido, o tratamento fotoeletroquímico posterior permitiu descolorações superiores a 95% e remoções de DQO da ordem de 70%, sendo que o tempo de tratamento foi de 300 minutos (PERALTA-ZAMORA; TAUCHERT; 2004).

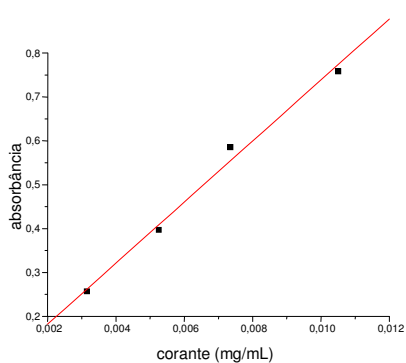
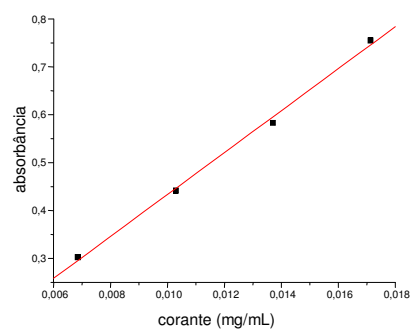
Foram estudadas três alternativas (coagulação-floculação, adsorção e Fenton) para o tratamento do efluente de uma lavanderia industrial. No ensaio de coagulação-floculação adicionou-se 600mg/L de sulfato de alumínio e 2mg/L de uma poliacrilamida catiônica de alto peso molecular, ajustando pH para 6,0. No ensaio coagulação-floculação-adsorção adicionou-se 600mg/L de sulfato de alumínio com hidróxido de sódio, 2mg/L de uma poliacrilamida catiônica de alto peso molecular (floculante), ajustando pH para 6,0 e 2g/L de carvão ativado pulverizado. E no ensaio através da Reação de Fenton houve um ajuste de pH para 3,0 com NaOH, adição de 0,66g/L de Fe_2SO_4 e de 8mL/L de H_2O_2 . Concluiu-se que os padrões de qualidade exigidos para o lançamento na rede pluvial ou corpos d'água receptores pode ser alcançado através de coagulação-floculação-adsorção ou Reação de Fenton. Entretanto, ambos apresentam como inconveniente uma geração elevada de lodo (MENEZES; SCHNEIDER, 2005).

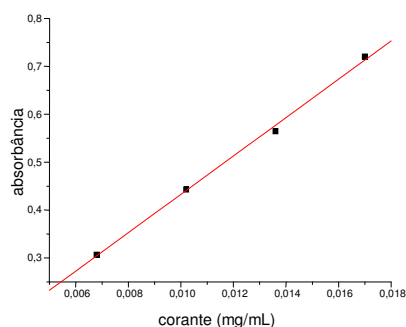
2 – PARTE EXPERIMENTAL

2.1 – Preparação das Curvas Analíticas

2.1.1 - Soluções de Corante de Monocromia

Foi preparada uma solução mãe na concentração de 0,001g/100mL para cada corante e foi determinado por espectrofotometria de UV-Visível (UV – 160 1PC – Shimadzu) o comprimento de onda de maior absorbância para cada um dos corantes (λ_m). Posteriormente, foram feitas diluições das soluções mães ($1 \cdot 10^{-5}$ a $7 \cdot 10^{-6}$ g/mL) e, na seqüência, as leituras de absorbância de cada diluição no comprimento de onda de máxima absorção adequado para cada corante. As leituras de absorbância foram feitas na região do visível (400nm – 800nm) utilizando-se cubetas de vidro de 1 cm de caminho ótico. Construindo-se a partir destes dados, a curva analítica para cada corante (**figura 5 a, b, c**). Os corantes básicos empregados neste estudo foram: Azul Astrazon FGGL 300% (**figura 6a**), Vermelho Astrazon GTLN 200% e Amarelo Ouro Astrazon GL 200% da marca Dystar (**figura 6b**).

**a****b**



c

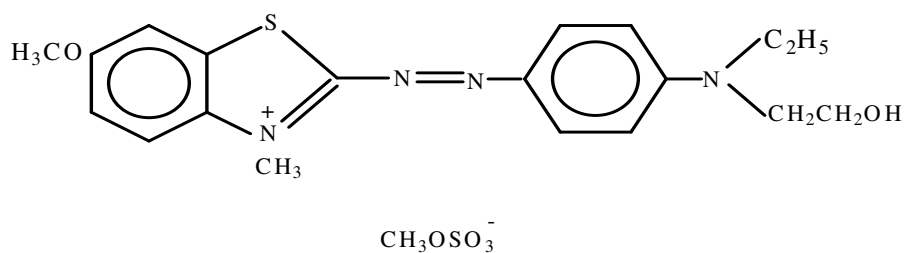
Figura 5: Curvas analíticas da variação da absorvância em função da concentração das soluções de corantes.

a - corante azul ($y = a+bx$; $a = 0,0432$; $b = 69,5514$ e $R = 0,9953$) a 609nm;

b – corante vermelho ($y = a+bx$; $a = -0,0044$; $b = 43,7818$ e $R = 0,9985$) a 487nm;

c – corante amarelo ($y = a + bx$; $a = 0,0317$; $b = 40,1$ e $R = 0,9988$) a 439nm.

A **figura 6 (a e b)** representam as estruturas dos corantes azul e amarelo, respectivamente, empregados neste estudo. A estrutura do corante vermelho não se encontra no Colour Index nem foi disponibilizada pelo fabricante.



a

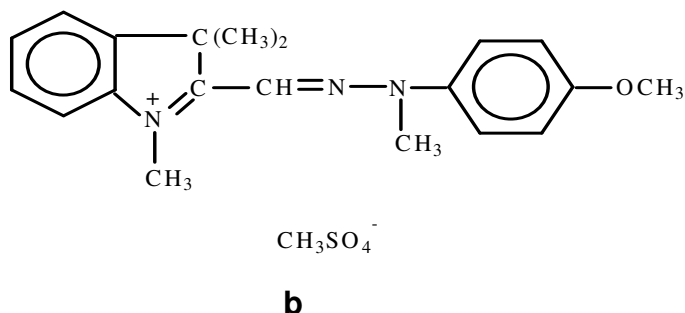
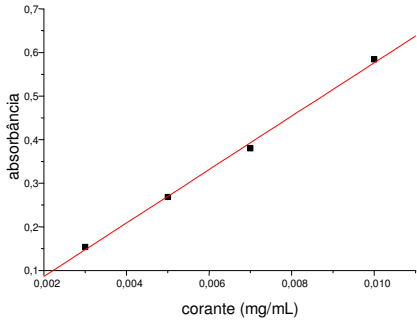


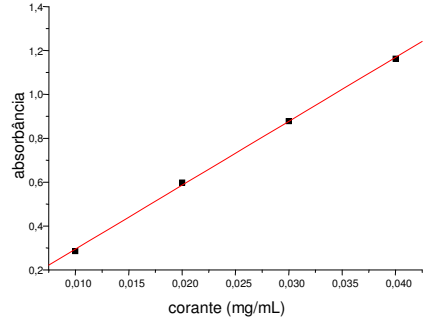
Figura 6: estrutura dos corantes. (a): Azul Astrazon FGGL 300% (C.I. Basic Blue 41); (b): Amarelo Ouro Astrazon GL 200% (C.I. Basic Yellow 28).

2.1.2 - Soluções de Corante de Bicromia e Tricromia

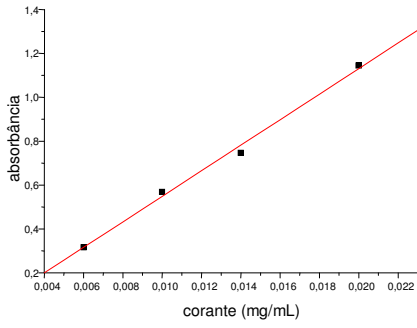
Foi preparada uma solução mãe na concentração de 0,005g/100mL para a solução de bicromia contendo 50% de corante azul e 50% de corante amarelo, bem como para a solução de tricromia correspondendo a 35% de corante azul, 35% de corante amarelo e 30% de corante vermelho. Para as bicromias, contendo 25% de corante azul e 75% de corante amarelo e 75% de corante azul e 25% de corante amarelo, foram preparadas soluções mãe na concentração de 0,002g/100mL. Através da espectrofotometria de UV-Visível determinou-se o comprimento de onda de maior absorbância para cada uma das soluções (λ_m). Posteriormente foram feitas diluições da solução mãe ($2 \cdot 10^{-5}$ a $3 \cdot 10^{-6}$ g/mL) e fez-se as leituras de absorbância de cada diluição no λ_m determinado para cada corante. Os corantes básicos empregados neste estudo foram os mesmos utilizados nas soluções de monocromia (item 2.1.1). Sendo que estes corantes foram misturados, em diferentes proporções, para obtenção de soluções de bicromia e tricromia. Com estes resultados construiu-se a curva de calibração (figura 7) de cada solução. O comprimento de onda de máxima absorção determinado experimentalmente para as misturas de corantes foi 609,5; 609; 438,5; 452,5nm para bicromia – efluente 1 (50% de corante azul e 50% de corante amarelo); bicromia - efluente 2 (25% de corante azul e 75% de corante amarelo); bicromia - efluente 3 (75% de corante azul e 25% de corante amarelo) e tricromia (35% de corante azul, 35% de corante amarelo e 30% de corante vermelho), respectivamente.



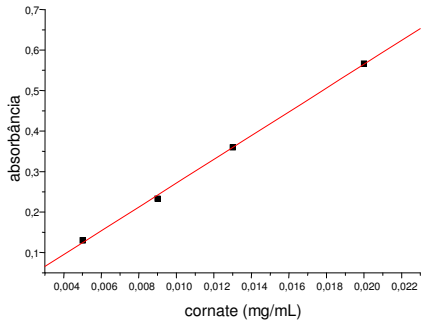
a



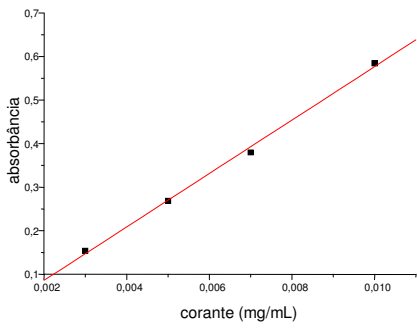
b



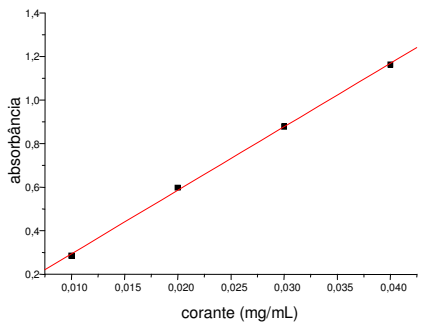
c



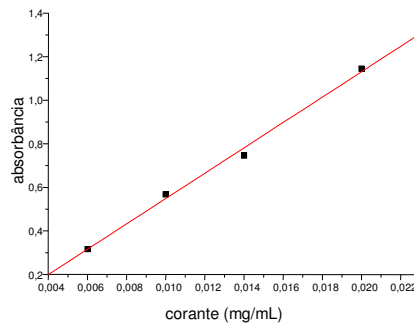
d



e



f



g

Figura 7: Curvas analíticas da variação de absorbância em função da concentração das soluções de corantes para bicromia e tricromia.

a - Solução de bicromia 1 utilizando água destilada (50% de corante azul e 50% de corante amarelo) a 609,5 nm ($y = a + bx$; $a = -0,0365$; $b = 61,3252$ e $R = 0,9986$);

b - Solução de bicromia 2 utilizando água destilada (25% de corante azul e 75% de corante amarelo) a 438,5nm ($y = a + bx$; $a = 0,0034$; $b = 29,1260$ e $R = 0,9997$);

c - Solução de bicromia 3 utilizando água destilada (75% de corante azul e 25% de corante amarelo) a 609 nm ($y = a + bx$; $a = -0,0335$; $b = 58,2056$ e $R = 0,9975$);

d - Solução de tricromia utilizando água destilada (35% de corante azul, 35% de corante amarelo e 30% de corante vermelho) a 452,5 nm ($y = a + bx$; $a = -0,0226$; $b = 29,3656$ e $R = 0,9995$);

e - Solução de bicromia 1 utilizando água tratada ($y = a + bx$; $a = -0,0365$; $b = 61,3252$ e $R = 0,9986$);

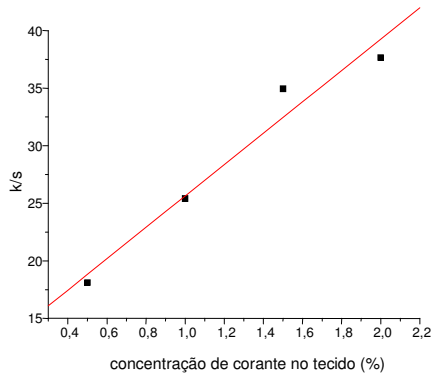
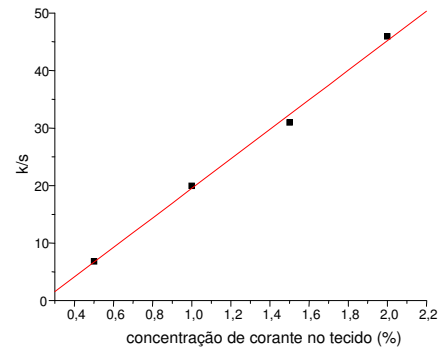
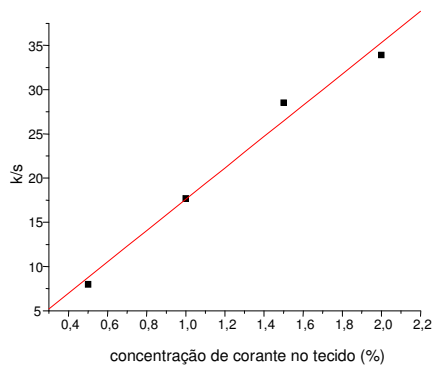
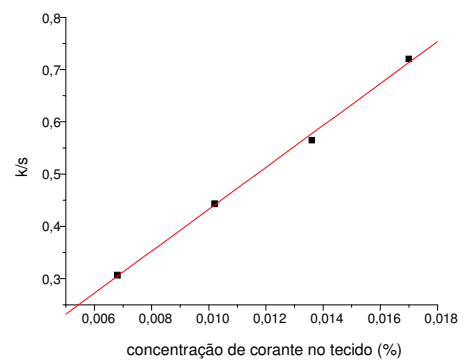
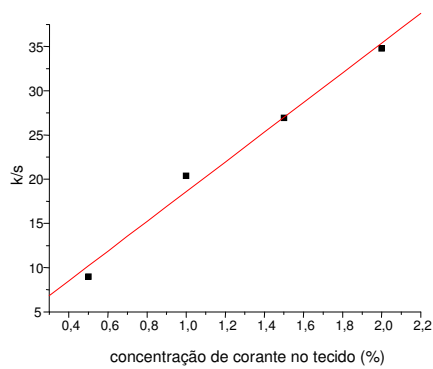
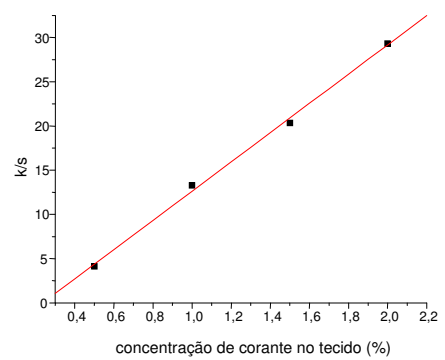
f - Solução de bicromia 2 utilizando água tratada ($y = a + bx$; $a = 0,0034$; $b = 29,1260$ e $R = 0,9997$);

g - Solução de bicromia 3 utilizando água tratada ($y = a + bx$; $a = -0,0335$; $b = 58,2056$ e $R = 0,9975$).

2.1.3 – Tecidos Tintos com Diferentes Concentrações de Corante

Foram preparados banhos de tingimentos em diferentes concentrações conhecidas de corantes (0,5%; 1,0%; 1,5%; 2,0%). Foram utilizadas as soluções dos corantes básicos azul, amarelo e vermelho juntamente com os auxiliares. Também foram utilizadas as soluções de corantes azul com e sem a presença do auxiliar ASTRAGAL PAN. Após tingimentos, foram feitas as leituras de K/S no espectrofotômetro de remissão da Mathis. Com isso, foram construídas as curvas de calibração (**figura 8**) da variação de K/S dos tecidos tintos em função da variação de

concentração de corante, segundo Kubelka-Munke, permitindo determinar a concentração de corante fixada no tecido.

**a****b****c****d****e****f**

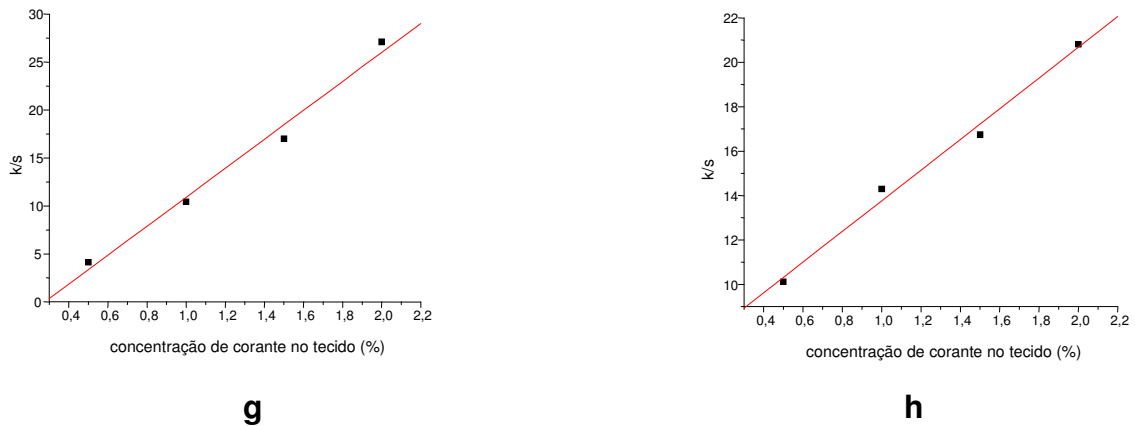


Figura 8: curvas analíticas da variação de K/S dos tecidos tintos em função da concentração de corante.

a – Banho de tingimento com solução de corante azul utilizando água destilada ($y = a + bx$; $a = 11,9816$; $b = 13,6391$ e $R = 0,9803$);

b - Banho de tingimento com solução de corante azul utilizando água tratada ($y = a + bx$; $a = -6,1434$; $b = 25,664$ e $R = 0,9984$);

c - Banho de tingimento com solução de corante amarelo utilizando água destilada ($y = a + bx$; $a = -0,1228$; $b = 17,7232$ e $R = 0,9914$);

d - Banho de tingimento com solução de corante amarelo utilizando água tratada ($y = a + bx$; $a = 0,0317$; $b = 40,1000$ e $R = 0,9988$);

e - Banho de tingimento com solução de corante vermelho utilizando água destilada ($y = a + bx$; $a = 1,7754$; $b = 16,8011$ e $R = 0,9930$);

f - Banho de tingimento com solução de corante vermelho utilizando água tratada ($y = a + bx$; $a = -3,9076$; $b = 16,5398$ e $R = 0,9988$);

g - Banho de tingimento com solução de corante azul utilizando água tratada com retardante ($y = a + bx$; $a = -4,2026$; $b = 15,1065$ e $R = 0,9930$);

h - Banho de tingimento com solução de corante azul utilizando água tratada sem retardante ($y = a + bx$; $a = 6,8580$; $b = 6,9090$ e $R = 0,9952$).

2.2 – Método do Tratamento Fotoeletroquímico

Inicialmente, os estudos foram conduzidos em um reator fotoeletroquímico de bancada (700 mL de capacidade), equipado com refrigeração por circulação de água e agitação magnética. Este sistema está acoplado a uma fonte de condutibilidade elétrica conforme ilustra a **figura 9**. A corrente aplicada foi mantida constante em valores próximos a 4,14A, o que permitiu uma densidade de corrente de 30mA/cm².

A radiação ultravioleta é proporcionada por uma lâmpada a vapor de mercúrio de 125 W (sem o bulbo protetor), inserida na solução por meio de um bulbo de quartzo. Com relação à radiação visível, esta é proporcionada nas mesmas condições anteriores, com a lâmpada a vapor de mercúrio inserida na solução por meio de um bulbo de vidro Pyrex.

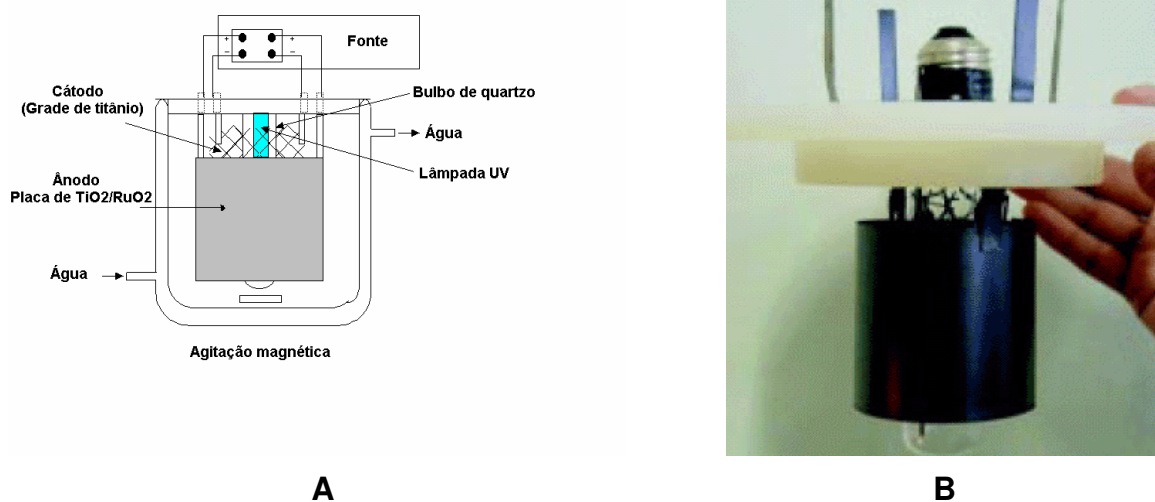


Figura 9: Representação esquemática do reator fotoeletroquímico.

A: Reator convencional (300 mL); **B:** conjunto de eletrodos

2.2.1 - Otimização do Processo Fotoeletroquímico

O corante azul foi utilizado para a otimização deste processo. Foram preparadas seis soluções 0,2g/L do corante em diferentes condições, de acordo com a **tabela 1**.

Tabela 1: diferentes condições das soluções usadas para a otimização do processo fotoeletroquímico.

pH da solução	Eletrólito (0,05mol/L)
3,92*	Na ₂ SO ₄
3,92*	NaCl
6,1	Na ₂ SO ₄
6,1	NaCl
8,2	Na ₂ SO ₄
8,2	NaCl

* pH da solução de corante sem ajustes

Após o preparo destas soluções foi feito o tratamento fotoeletroquímico (**figura 10**) onde amostras foram coletadas nos tempos iniciais, de 15 minutos e 30 minutos para fazer o monitoramento através da leitura da absorbância no espectrofotômetro UV – Visível HP Hewlett Packard 8452A.



Figura 10: reator fotoeletroquímico tratando uma solução de corante azul.

2.2.2 - Tratamentos para a Remoção da Cor

Os tratamentos fotoeletroquímico e eletroquímico foram aplicados a diferentes condições de solução de corantes para remoção da cor como mostram os itens a seguir.

2.2.2.1 – Soluções de Corante de Monocromia

Foram preparadas soluções aquosas 0,2g/L dos corantes básicos azul, amarelo e vermelho. Estas foram tratadas pelo processo fotoeletroquímico (**figura 10**) baseado em experiências anteriores do grupo com outros tipos de corantes (LIMA; PERALTA-ZAMORA, 2005).

Na condição de pH da solução de corante sem ajustes e utilizando NaCl como eletrólito foram feitas coletas de amostra nos seguintes intervalos de tempo: 0, 2, 4, 6, 10, 15, 30 e 45 minutos para as soluções dos corantes azul e amarelo; 0, 2, 4, 6, 10, 15, 30, 45 e 60 minutos para a solução de corante vermelho. Em seguida foram feitas as leituras das absorbâncias destas soluções no λ_m para determinação da eficiência do tratamento, no espectrofotômetro UV-visível (UV – 160 1PC da Shimadzu).

2.2.2.1.1 – Soluções de Corante Azul com e sem o Retardante ASTRAGAL PAN

Com a proposta de verificar se a presença do retardante empregado no tingimento influencia na fixação do corante básico na fibra bem como no tratamento fotoeletroquímico, foram feitos tingimentos com a presença e ausência deste auxiliar para a produção de rejeito (efluente sintético) para posterior tratamento.

Foram feitos banhos de tingimento com o corante Azul Astrazon FGGL 300% segundo receita do fabricante do corante. Em um banho foram utilizados os auxiliares dispersante e retardante e, no outro, apenas o dispersante.

Os resíduos (efluentes) dos banhos de tingimento de monocromia (corante azul com e sem o auxiliar retardante) foram submetidos ao tratamento fotoeletroquímico, nas condições já otimizadas com as soluções contendo apenas o corante (LUCAS e colaboradores, 2005). Na condição de pH natural da solução e utilizando NaCl como eletrólito, procedeu-se o tratamento, sendo este de 45 minutos. Durante o tratamento fotoeletroquímico, foram coletadas amostras no tempo inicial e no tempo de 45 minutos para análise da eficiência do tratamento por espectrofotometria (UV – 160 1PC da Shimadzu) na região do visível.

2.2.2.1.2 - Tratamento Eletroquímico na Solução do Corante Azul

Com o propósito de verificar se haveria necessidade de utilizar o processo fotoeletroquímico, foi feito um tratamento utilizando somente o processo eletroquímico para fins de comparação, empregando as mesmas condições citadas no **item 2.2.2.1**.

2.2.2.2 – Soluções de Corante de Bicromia

Com a finalidade de produzir rejeito para tratamento de resíduos, foram preparados tingimentos de bicromia para avaliar a eficiência do método quando este é empregado em tratamento contendo mistura de corantes. Essas soluções de bicromia foram preparadas em três condições: 50% de corante azul e 50% de corante amarelo (**efluente 1**); 25% de corante azul e 75% de corante amarelo (**efluente 2**) e 75% de corante azul e 25% de corante amarelo (**efluente 3**) segundo receita proposta pelo fabricante do corante. Optou-se pela utilização dos corantes Azul Astrazon FGGL 300% e Amarelo Ouro Astrazon GL 200% no tratamento, de acordo com resultados anteriores dos experimentos positivos a esse respeito e,

também, levando em consideração o desconhecimento da estrutura química do corante vermelho.

Os resíduos (efluentes) dos banhos de tingimentos de bicromia (efluentes 1, 2 e 3) foram submetidos ao tratamento fotoeletroquímico, nas condições já otimizadas com as soluções contendo apenas um corante.

Na condição de pH natural da solução e utilizando NaCl como eletrólito, procedeu-se o tratamento, sendo este de 45 minutos. Foram feitas coletas de amostra nos tempos inicial e final do tratamento, ou seja, 0 e 45 minutos, respectivamente. Em seguida foram feitas as leituras das absorvâncias para determinação da eficiência do tratamento por espectrofotometria UV-visível (UV – 160 1PC da Shimadzu) na região do visível.

2.2.2.3 – Solução de Corante de Tricromia

Foi preparada uma solução empregando uma tricromia utilizando os corantes básicos azul, vermelho e amarelo juntamente com os auxiliares ASTRAGAL PAN (retardante) e AVOLAN® IW (dispersante) conforme especificações do fabricante. O tratamento foi feito empregando NaCl como eletrólito de acordo com a **tabela 1**. Foram coletadas amostras no tempo inicial ($t = 0$) e no tempo de 90 minutos para o monitoramento por espectrofotometria (UV – 160 1PC da Shimadzu) na região do visível.

2.3 – Tecidos Acrílicos

Os tecidos utilizados (**figura 11**) para os processos de tingimentos foram malhas 100% acrílica de gramaturas $1,81\text{g/m}^2$; $1,92\text{g/m}^2$ e $3,205\text{g/m}^2$ da Malharia Diana®, da Tapajós Têxtil LTDA e da ACRILAN®, respectivamente.

utilizados os auxiliares ASTRAGAL PAN (retardante) e AVOLAN® IW (dispersante). Os banhos de tingimento foram preparados com água destilada com o propósito de as amostras servirem como padrões para posteriores análises comparativas. Uma vez tratada as soluções de corante (monocromia), estas foram reutilizadas em processos de tingimentos de malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® por esgotamento, empregando corante básico. As condições de tingimento (**figura 12**) foram adaptadas de acordo com as características das soluções tratadas e seguindo receitas do fabricante dos produtos auxiliares têxteis para processos industriais. Os tingimentos foram feitos no aparelho Tubotest Kimak em duplicata.

Foram preparados banhos de tingimento, de acordo com o esquema da **tabela 2**, utilizando água destilada e água tratada fotoeletroquimicamente proveniente da solução dos corantes azul, amarelo e vermelho de monocromia.

Tabela 2: esquema de banhos de tingimento de malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® utilizando água não-tratada e água tratada (solução aquosa de monocromia).

Água utilizada para a preparação do banho	Corantes básicos utilizados nos banhos de tingimento
Água tratada da solução de corante azul	Azul
	Amarelo
	Vermelho
Água tratada da solução de corante amarelo	Azul
	Amarelo
	Vermelho
Água tratada da solução de corante vermelho	Azul
	Amarelo
	Vermelho
Água destilada	Azul
	Amarelo
	Vermelho

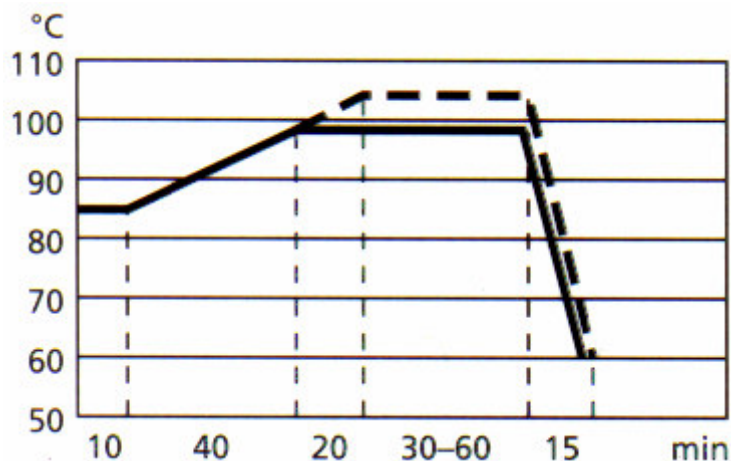


Figura 12: curva de tingimento da variação de temperatura em função do tempo.

2.4.2.1 – Preparo do Banho de Tingimento com e sem o Retardante ASTRAGAL PAN

Foram preparados banhos de tingimento, nas condições estabelecidas na **figura 12**, de monocromia com e sem o retardante utilizando água destilada como padrão. Para a reutilização dos rejeitos dos tingimentos de monocromia com e sem retardante, foram feitos banhos de tingimento com o corante Azul Astrazon FGGL. No caso da reutilização do efluente sem retardante, foi utilizado como auxiliar somente o AVOLAN[®] IW (dispersante). Para a reutilização do efluente com retardante, foram utilizados os auxiliares AVOLAN[®] IW e o ASTRAGAL PAN. O tecido utilizado neste tingimento foi malha 100% acrílica de gramatura 1,92g/m² da Tapajós Têxtil LTDA.

2.4.3 – Preparo dos Banhos de Tingimentos de Bicromia e de Tricromia

Para a reutilização dos efluentes (efluentes 1, 2 e 3) com mistura de corantes, foram preparados banhos de tingimentos de bicromia e tricromia, também utilizando os auxiliares, seguindo condições estabelecidas na **figura 12**. Como método comparativo, foram preparados banhos de tingimentos, nas mesmas condições utilizando água destilada.

Foram feitos tingimentos de bicromia na condição 50% de corante azul e 50% de corante amarelo e de tricromia nas condição de 35% de corante azul, 35% de corante amarelo e 30% de corante vermelho.

A **tabela 3** mostra o esquema de tingimento desta etapa do trabalho, ressaltando que foram feitos, nas mesmas condições, banhos de tingimento com

água destilada para efeitos comparativos e com a água tratada (rejeitos dos tingimentos com bicromia).

Tabela 3: esquema de banhos de tingimento utilizando água tratada (rejeitos dos tingimentos com bicromia) e malha 100% acrílica de gramatura 3,205g/m² da ACRILAN®

Rejeitos dos tingimentos	Condição
Efluente 1 50% de corante azul e 50% de corante amarelo	Bicromia e Tricromia*
Efluente 2 25% de corante azul e 75% de corante amarelo	Bicromia e Tricromia
Efluente 3 75% de corante azul e 25% de corante amarelo	Bicromia e Tricromia

* foi feito, também, nas mesmas condições de bicromia e tricromia, o tingimento do tecido malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® para efeitos comparativos.

2.4.3.1 - Diluição dos Rejeitos dos Tingimentos Tratados pelo Processo Fotoeletroquímico para Posterior Tingimento

Com o propósito de melhorar os resultados em termos de reprodutibilidade comparando aos tingimentos em que foi utilizada água destilada (padrões), foram feitas diluições em soluções dos rejeitos de tingimentos tratados, como alternativa, para aplicação do método em questão proposto para o tratamento e abrindo perspectiva de continuidade do trabalho.

Conforme a **tabela 4**, com o rejeito tratado pelo processo fotoeletroquímico do tingimento com bicromia de 50% corante azul e 50% corante amarelo (**efluente 1**) foi feito um tingimento com monocromia (corante básico amarelo). Com os rejeitos tratados dos tingimentos com bicromia de 25% corante azul e 75% corante amarelo (**efluente 2**) e com bicromia 75% de corante azul e 25% de corante amarelo

(**efluente 3**) foi feito um tingimento com monocromia (corante básico azul). O tecido utilizado nestes tingimentos foi malha 100% acrílica de gramatura 3,205g/m² da ACRILAN®.

Para fins comparativos foram feitas outras diluições com o tingimento do tecido malha 100% acrílica 1,81g/m² da Malharia Diana®. Com o efluente da bicromia contendo 75% de corante azul e 25% de corante amarelo (**efluente 3**) foram feitas diluições de 10 e 20% com água destilada. Com o efluente da bicromia contendo 50% de corante azul e 50% de corante amarelo (**efluente 1**), foi feita diluição de 30% com água destilada.

A **tabela 4** mostra o esquema de tingimento feito nesta etapa do trabalho, ressaltando que foram feitos, nas mesmas condições, banhos de tingimento com água destilada para efeitos comparativos. Os tingimentos foram realizados nas condições estabelecidas na **figura 12**, empregando corantes azul e amarelo.

Tabela 4: esquema de banhos de tingimento utilizando água tratada diluída com água destilada.

Água tratada	Malha 100% acrílica/gramatura	Diluição (% de água destilada)	Corante
Efluente 1	ACRILAN®/3,205g/m ²	10 e 20	Amarelo
Efluentes 2 e 3	ACRILAN®/3,205g/m ²	10 e 20	Azul
Efluente 1	Malharia Diana®/1,81g/m ²	30	Azul
Efluente 3	Malharia Diana®/1,81g/m ²	10 e 20	Azul

2.5 - Controle Analítico

2.5.1 – Avaliação do Tratamento Fotoeletroquímico

A eficiência das metodologias de tratamento propostas foram avaliadas em função dos seguintes parâmetros experimentais.

2.5.1.1 – Porcentagem de Eficiência

Os espectros de absorção na região do visível (400nm – 800nm) para determinação da porcentagem de eficiência do tratamento (decaimento de cor) foram obtidos em espectrofotômetro UV – 160 1PC da Shimadzu, utilizando-se cubetas de 1 cm de caminho ótico.

Foram coletadas amostras no tempo inicial de tratamento fotoeletroquímico e no tempo final. Estas amostras analisadas foram as soluções aquosas de monocromia (azul, amarelo e vermelho) e os rejeitos dos banhos dos tingimentos de monocromia (azul) com retardante e sem retardante e de bicromia (75% de corante azul e 25% de corante amarelo, 25% de corante azul e 75% de corante amarelo e 50% de corante azul e 50% de corante amarelo).

Também foram coletadas amostras de solução aquosa de corante azul nos tempos inicial ($t = 0$) e final ($t = 45$ minutos) tratadas pelo processo eletroquímico.

2.5.1.2 - Carbono Orgânico Total

As determinações de carbono orgânico total foram realizadas *via* método de oxidação catalisada em alta temperatura, utilizando um analisador de carbono total marca Shimadzu, modelo TOC - VCPH, equipado com analisador infravermelho não-dispersivo para determinar CO_2 .

As amostras analisadas foram as soluções aquosas de monocromia (azul, amarelo e vermelho). Foram analisadas nos tempos inicial e final de tratamento fotoeletroquímico.

2.5.2 – Análise dos Tingimentos

2.5.2.1 – Determinação da Porcentagem de Esgotamento

A partir das medidas de absorbância e empregando a curva de calibração das soluções de corante básico, foi determinado o esgotamento do banho de tingimento

e a quantidade de corante que migrou para fibra.

Foram coletadas amostras dos banhos de tingimentos antes e após o tingimento para a determinação da porcentagem de esgotamento. As leituras de absorvância das amostras foram feitas na região do visível (400nm – 800nm) por espectrofotometria (UV – 160 1PC da Shimadzu), utilizando-se cubetas de vidro de 1cm de caminho ótico.

2.5.2.2 – Determinação do K/S (intensidade colorística) e do ΔE (diferença de cor residual)

A determinação da intensidade colorística (K/S) a partir da equação de Kubelka e Munke (**equação 8**) e da diferença de cor residual (ΔE) de acordo com **equação 9** dos tecidos tintos foi realizada no espectrofotômetro de remissão da Mathis. Os tecidos tintos analisados foram os de monocromia (azul, amarelo, vermelho e azul com e sem retardante), de bicromia (75% de corante azul e 25% de corante amarelo, 25% de corante azul e 75% de corante amarelo e 50% de corante azul e 50% de corante amarelo), de tricromia (35% de corante azul, 35% de corante amarelo e 30% de corante vermelho) e os de monocromia (azul e amarelo) onde os banhos foram diluídos na proporção de 10, 20 e 30% com água destilada.

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad \text{(equação 8)}$$

Onde:

R = remissão

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta H)^2 + (\Delta C)^2 + (\Delta L)^2} \quad \text{(equação 9)}$$

Onde:

ΔH = desvio de tonalidade; ΔC = desvio de pureza; ΔL = desvio de claridade.

A partir das curvas de calibração (**figura 8**) dos tecidos foi determinada a concentração de corante fixada no tecido.

2.5.2.3 – Ensaio de Solidez

Com a finalidade de analisar a resistência dos corantes à remoção, com relação à manutenção, foram realizados diversos ensaios de solidez. Os tecidos

analisados foram os tintos com monocromia (azul, amarelo e vermelho) utilizando água destilada e água tratada pelo processo fotoeletroquímico.

Os ensaios de solidez à úmido foram também realizados com as amostras de tecidos tintas com corante azul com e sem retardante.

2.5.2.3.1 – Solidez à Fricção

Este ensaio foi realizado no aparelho Crockmeter-Kimak de acordo com normas técnicas NBR8432 para avaliação do índice de solidez à fricção.

2.5.2.3.2 – Solidez à Lavagem

Este ensaio foi realizado segundo as normas técnicas NBR13062 para lavagem caseira e industrial e a determinação da alteração da cor é realizada na escala cinza – ESC - 01 e no espectrofotômetro de remissão.

2.5.2.3.3 - Solidez ao Suor Ácido e Alcalino

Este ensaio foi realizado em um perspirômetro marca KIMAK com onze placas de acrílico de dimensões 115 x 60 x 1,5 mm. Pressão aplicada de 12,5 KPa sobre o corpo de prova 100 x 40 mm, segundo as normas técnicas NBR8431.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 - Tratamento das Soluções de Corante e Rejeitos dos Banhos de Tingimentos

3.1.1 - Tratamento para a Degradação da Cor de Monocromia

3.1.1.1 - Tratamento Eletroquímico da Solução do Corante Azul

Visando verificação da necessidade de combinar o tratamento eletro e fotoquímico, analisou-se a eficiência do tratamento somente eletroquímico, empregando as mesmas condições citadas no **item 2.2.2.1**, com a solução do corante azul resultou em 99,96% de acordo com os dados da **tabela 5**. Este resultado de eficiência é ótimo, propondo uma continuidade de trabalho com este tipo de tratamento, pois, de acordo com Freire e colaboradores, este processo pode oferecer opções viáveis para remediar problemas ambientais, particularmente de efluentes aquosos (FREIRE e colaboradores, 2000).

Tabela 5: Leitura das absorvâncias das amostras de corante azul tratadas pelo método eletroquímico.

Tratamento eletroquímico da solução de corante azul		
Tempo (minutos)	Absorbância	Eficiência (%)
0	2,8721	99,96
45	0,0009	

3.1.1.2 – Tratamento Fotoeletroquímico da Solução do Corante Azul

A otimização do processo fotoeletroquímico com a solução de corante azul mostrou que as melhores condições deste tratamento foi: pH próprio da solução (3,92) e uso do eletrólito cloreto de sódio (NaCl) 3,13g/L de acordo com a **tabela 1**.

A **figura 13** mostra o reator fotoeletroquímico contendo solução de corante azul, após 45 minutos de tratamento, na qual pode-se observar total transparência e incolor, quando comparado com a **figura 10**.



Figura 13: solução de corante azul tratada após 45 minutos no reator fotoeletroquímico.

De acordo com a **figura 14**, observa-se visualmente que foi removida praticamente toda a cor da solução azul nos primeiros quatro minutos registrados.



Figura 14: Amostras da solução de corante azul tratadas pelo processo fotoeletroquímico (a = 0 minutos, b = 2 minutos, c = 4 minutos, d = 6 minutos, e = 10 minutos, f = 15 minutos, g = 30 minutos, h = 45 minutos).

A partir dos dados obtidos nas leituras de absorvância (**figura 15 e tabela 6**) da amostra tratada da solução, a eficiência calculada resultou em 99,98%, mostrando ser o método adequado para a remoção da cor desta solução aquosa de

corante azul, comparando este resultado da eficiência com a literatura (BERTAZZOLI; PELEGRINI, 2002) que, utilizando o mesmo tratamento com uma solução 15mg/L do corante Azul Reativo 19, mostrou 90% de descoloração em uma hora de tratamento, sendo que, o citado neste trabalho, apresentou uma eficiência maior em 45 minutos, embora trata-se de outra classe de corante.

A **figura 15** mostra os resultados antes e depois do tratamento e, a partir destes dados, foi determinada a eficiência do método.

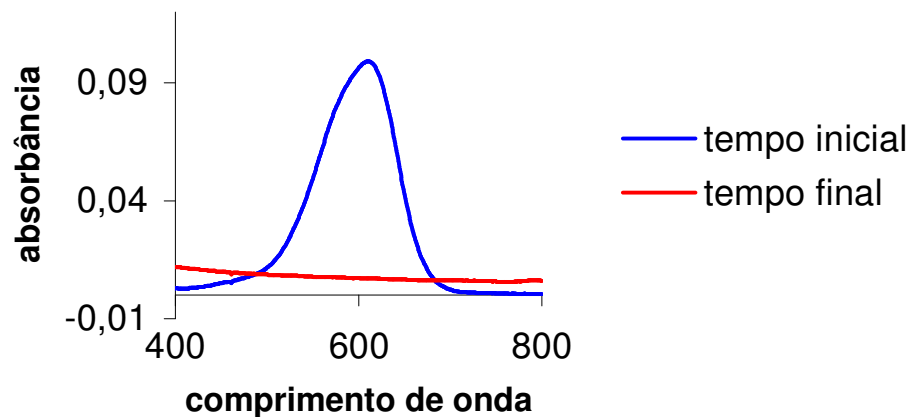


Figura 15: espectro de absorção da solução de corante azul antes do tratamento (tempo inicial = 0, a amostra foi diluída 1:100) e após o tratamento fotoeletroquímico (tempo final = 45 minutos).

Tabela 6: Leitura das absorbâncias das amostras tratadas pelo método fotoeletroquímico.

Tratamento da solução de corante azul		
Tempo (minutos)	Absorbância	Eficiência (%)
0	0,096*	99,98
45	0,001	

** para possibilitar leitura no espectrofotômetro, a amostra sem tratamento (t=0) foi diluída 1:100*

3.1.1.3 – Tratamento Fotoeletroquímico na Solução do Corante Amarelo

A otimização do processo fotoeletroquímico com a solução de corante amarelo mostrou que as melhores condições deste tratamento foi: pH próprio da solução e

uso do eletrólito cloreto de sódio (NaCl) de acordo com a **tabela 1**, ou seja, as mesmas para o corante azul, o que se torna interessante no uso de bicromia.

De acordo com a **figura 16**, visualmente se verifica um decaimento quase que total da cor da solução amarela nos primeiros quatro minutos registrados.

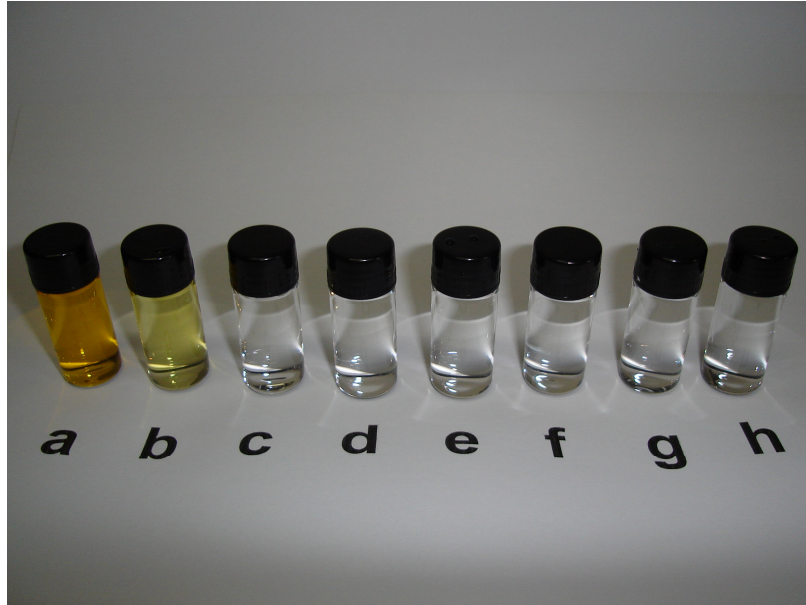


Figura 16: Amostras da solução de corante amarelo tratadas pelo processo fotoeletroquímico (a = 0 minutos, b = 2 minutos, c = 4 minutos, d = 6 minutos, e = 10 minutos, f = 15 minutos, g = 30 minutos, h = 45 minutos).

A **figura 17** mostra os resultados antes e depois do tratamento e, a partir destes dados, foi determinada a eficiência do método. A partir dos dados obtidos nas leituras de absorvância (**figura 17** e **tabela 7**) da amostra tratada da solução, a eficiência calculada resultou em 99,97%. De acordo com a literatura e a eficiência do tratamento citada anteriormente, o processo fotoeletroquímico confirma um importante efeito sinérgico entre processos eletro e fotoquímicos, pois, quando aplicado na sua forma plena, permitiu uma completa remoção da cor (PERALTA-ZAMORA; LIMA, 2005).

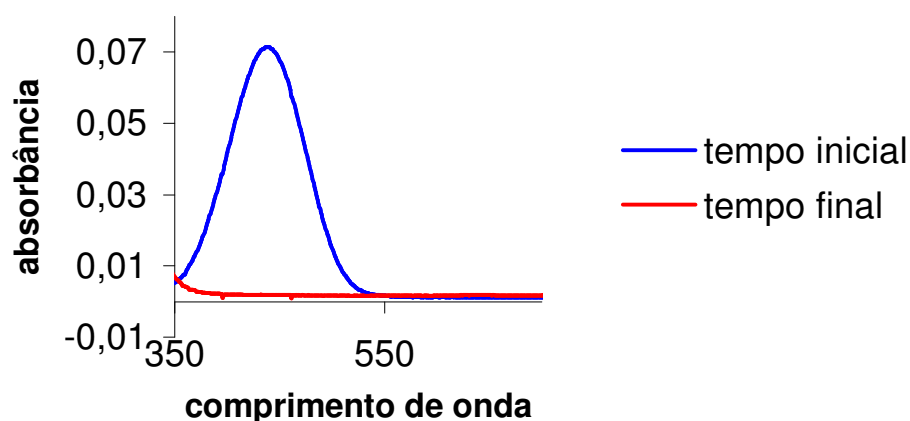


Figura 17: espectro de absorção da solução de corante amarelo antes do tratamento (tempo inicial = 0, a amostra foi diluída 1:100) e após o tratamento fotoeletroquímico (tempo final = 45 minutos).

Tabela 7: Leitura das absorbâncias das amostras de corante amarelo tratadas pelo método fotoeletroquímico.

Tratamento da solução de corante amarelo		
Tempo (minutos)	Absorbância	Eficiência (%)
0	0,071*	99,97
45	0,002	

* para possibilitar leitura no espectrofotômetro, a amostra sem tratamento ($t=0$) foi diluída 1:100

3.1.1.4 – Tratamento Fotoeletroquímico na Solução do Corante Vermelho

A otimização do processo fotoeletroquímico com a solução de corante vermelho mostrou que as melhores condições deste tratamento foi também: pH próprio da solução e uso do eletrólito cloreto de sódio (NaCl) de acordo com a **tabela 1**, como para as soluções de corante azul e amarelo, o que é interessante no caso de tricromia.

De acordo com a **figura 18**, foi removida a cor da solução vermelha, em somente 45 minutos, mesmo assim, após 60 minutos de tratamento fotoeletroquímico, resultou ainda uma solução de tonalidade amarelada, não sendo propícia para reuso da água em tingimentos, mas que, dependendo das análises de

DBO, DQO, carbono orgânico total, entre outras, poderá ser descartada no ambiente.



Figura 18: Amostras da solução de corante vermelho tratadas pelo processo fotoeletroquímico (a = 0 minutos, b = 2 minutos, c = 4 minutos, d = 6 minutos, e = 10 minutos, f = 15 minutos, g = 30 minutos, h = 45 minutos, i = 60 minutos).

A **figura 19** mostra os resultados antes e depois do tratamento e, a partir destes dados, foi determinada a eficiência do método.

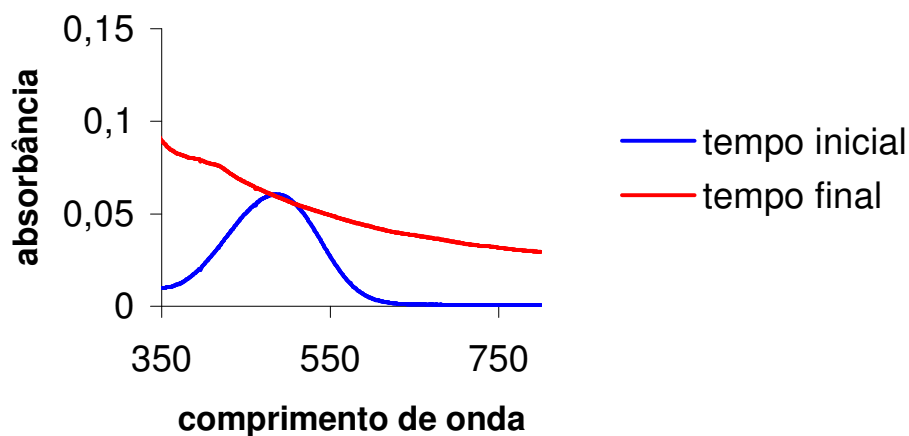


Figura 19: espectro de absorção da solução de corante vermelho antes do tratamento (tempo inicial = 0, a amostra foi diluída 1:100) e após o tratamento fotoeletroquímico (tempo final = 60 minutos).

Tabela 8: Leitura das absorvâncias das amostras tratadas pelo método fotoeletroquímico.

Tratamento da solução de corante vermelho		
Tempo (minutos)	Absorbância	Eficiência (%)
0	0,058*	99,07
60	0,054	

*** para possibilitar leitura no espectrofotômetro, a amostra sem tratamento (t=0) foi diluída 1:100**

Entretanto, a partir dos dados obtidos nas leituras de absorvância (**figura 19 e tabela 8**) da amostra tratada da solução, a eficiência calculada resultou em 99,07%, após 60 minutos, mostrando ser um método, a princípio, adequado para a remoção da cor desta solução, assim como para os demais corantes testados, embora necessita de mais tempo de tratamento para chegar em um nível próximo de eficiência.

Comparando as soluções tratadas no tempo final (**figura 20**), verifica-se que realmente a solução de corante vermelho, após 60 minutos de tratamento fotoeletroquímico, resultou numa solução de tonalidade amarelada, limitando provavelmente seu reuso para cores muito escuras. Tal consequência poderá ser observada nos resultados de tingimentos usando reutilização. Este comportamento também pode afetar receitas com tricromia contendo corante vermelho, se as condições de tratamento forem as mesmas.

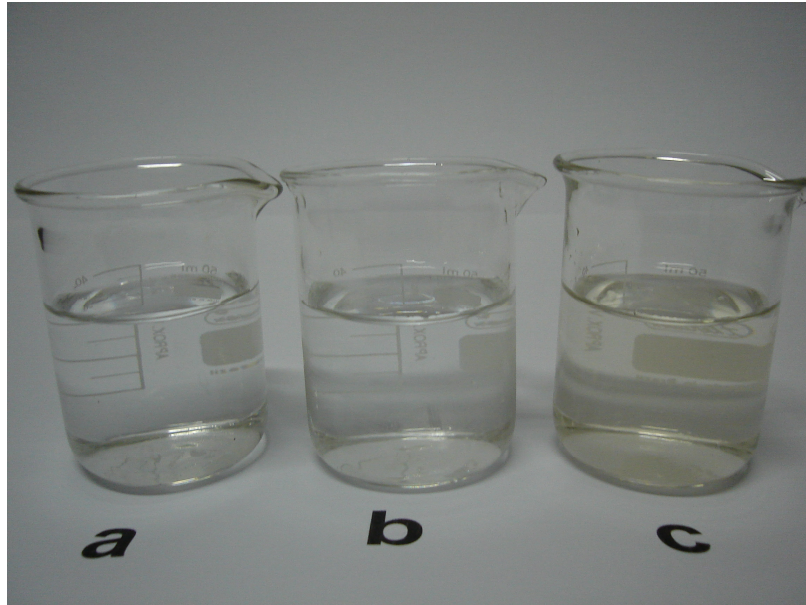


Figura 20: soluções de corantes pós – tratamento fotoeletroquímico.

a – solução de corante azul; **b** – solução de corante amarelo;

c – solução de corante vermelho.

3.1.1.5 – Tratamento Fotoeletroquímico dos Rejeitos dos Tingimentos de Monocromia com e sem Retardante

A eficiência calculada para os tratamentos dos efluentes de monocromia de corante básico azul com e sem retardante (**figuras 21 e 22**) foi de 75,25% e de 44,63%, respectivamente. Estes resultados indicam que a presença de retardante não promove redução na eficiência do tratamento fotoeletroquímico. Contudo os valores das eficiências neste processo não apresentam bons resultados, comparadas as das soluções dos corante sem os auxiliares (**tabelas 6, 7 e 8**), pois são inferiores a 80%.

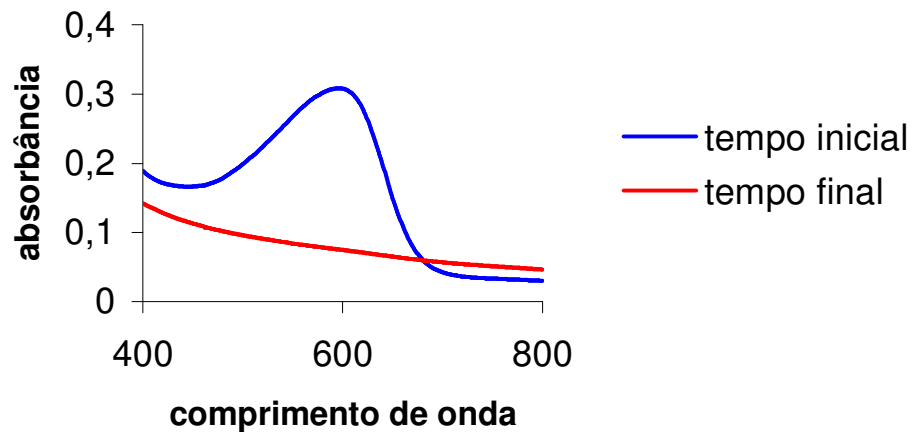


Figura 21: Espectro visível da solução do rejeito do tingimento com retardante (tempo inicial = 0 minuto e tempo final = 45 minutos).

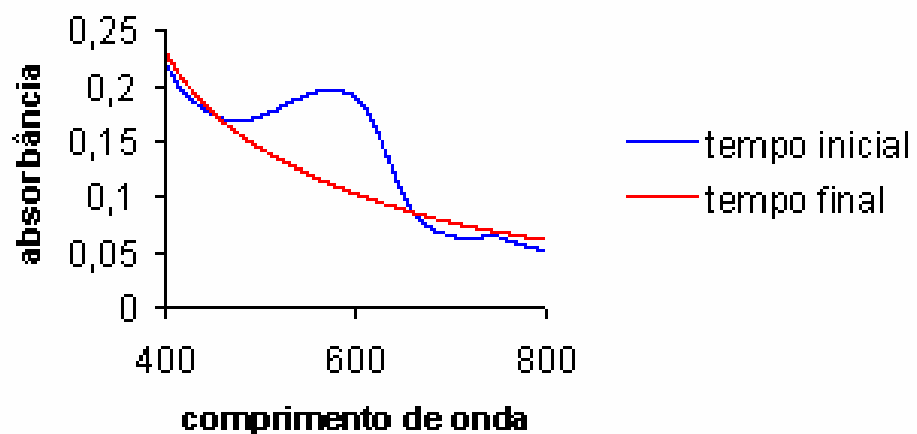


Figura 22: Espectro visível da solução do rejeito do tingimento sem retardante (tempo inicial = 0 minuto e tempo final = 45 minutos).

3.1.2 - Tratamento para a Degradação da Cor do Rejeito do Tingimento com Bicromia

Considerando que as indústrias empregam em suas receitas de tingimento misturas de corante (com bicromia e tricromia) e com base nos resultados obtidos para monocromia, foi necessário dar continuidade aos estudos para serem avaliados outros parâmetros, visando a otimização para reutilização destas soluções tratadas, com o máximo de reprodutibilidade da cor.

A figura abaixo mostra o decaimento da absorbância do rejeito do tingimento de bicromia (50% de corante azul e 50% de corante amarelo) após o tratamento fotoeletroquímico. A partir dos dados do espectro, a eficiência determinada pelo tratamento foi de 32,72%, o que significa que a cor não foi totalmente degradada, permanecendo uma tonalidade residual.

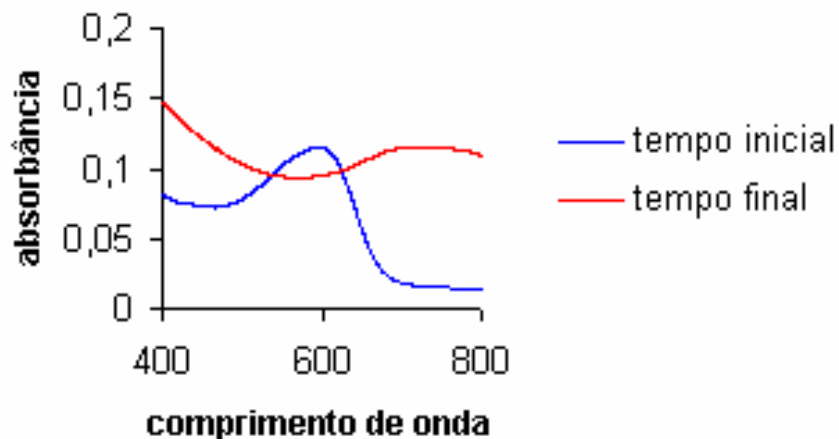
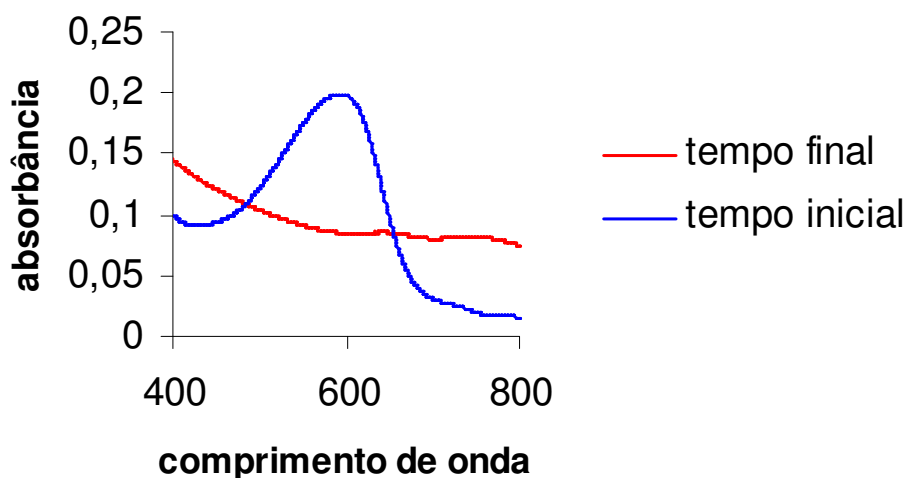


Figura 23: Espectro visível da variação da absorbância em função do comprimento de onda (nm) do rejeito do tingimento com bicromia 50% de corante azul e 50% de corante amarelo.

A figura a seguir mostra o decaimento da absorbância do rejeito do tingimento com bicromia (75% de corante azul e 25% de corante amarelo) antes e após o tratamento fotoeletroquímico. A partir dos valores de absorbância obtidos na **figura 23**, a eficiência determinada pelo tratamento foi de 60%, que também não representa um bom resultado tendo em vista que o objetivo é de reutilização desta solução tratada, e para tal é necessário uma eficiência superior a 90%.

Figura 24: Espectro visível da variação da absorbância em função do comprimento



de onda (nm) do rejeito do tingimento com bicromia 75% de corante azul e 25% de corante amarelo.

O rejeito gerado do tingimento com bicromia (25% de corante azul e 75% de corante amarelo) foi descartado pois apresentou pouca intensidade de cor residual, tornando inviável a leitura da sua absorbância no espectro UV – visível antes do tratamento fotoeletroquímico. As leituras antes e após o tratamento foram feitas, contudo, os valores foram insuficientes para calcular a eficiência do processo.

3.1.3 - Tratamento para a Degradação da Cor da Solução de Tricromia

Após o tratamento fotoeletroquímico, nas condições do pH da solução (2,73) e eletrólito NaCl, da solução empregando uma tricromia dos corantes e os auxiliares ASTRAGAL PAN (retardante) e AVOLAN® IW (dispersante) conforme especificações do fabricante para receita do tingimento, foram coletadas amostras no tempo inicial e no tempo de 90 minutos para o monitoramento por espectrofotometria na região do visível. A coleta não foi feita nos tempos de 45 ou 60 minutos, como em tratamentos anteriores, porque a solução de tricromia apresentava uma tonalidade amarelada significativa em tempos inferiores.

A partir dos dados obtidos nas leituras de absorbância (**tabela 9**) de cada amostra tratada da solução de efluente, a eficiência média resultou em 98,04%, mostrando que o tratamento com a solução de mistura de cores (tricromia) foi também eficiente comparando com a eficiência do mesmo tratamento feito com as

soluções contendo apenas um corante, o que mostra um potencial de utilização para banhos de tingimentos mais complexos. Contudo, por a solução final apresentar um tom amarelado (**figura 25b**), o resultado do tratamento não se mostrou adequado, pois, tratando-se do reuso desta água no tingimento, esta tonalidade amarelada pode interferir nos resultados da cor desejada, sobretudo para tingimentos com cores médias e claras.

Tabela 9: Leitura das absorvâncias das amostras tratadas.

Tratamento da solução de tricromia	
Tempo (minutos)	Absorvância
0	1,3887
90	0,0272

A **figura 25** mostra que, após 90 minutos de tratamento fotoeletroquímico da solução de tricromia, não foi totalmente removida a cor desta solução.

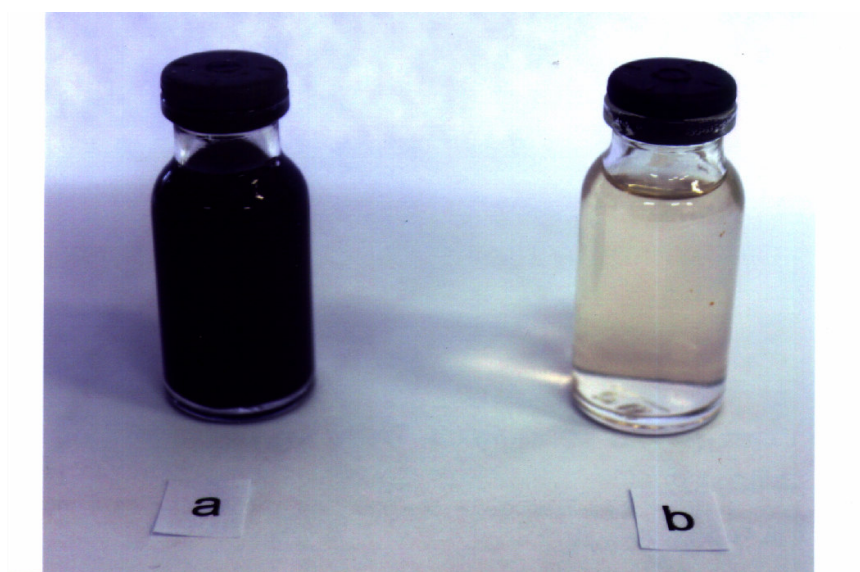


Figura 25: Amostras tratadas fotoeletroquimicamente da solução de tricromia.

a: tempo inicial ($t = 0$); **b:** tempo final ($t = 90$ minutos)

3.2 – Controle Analítico

3.2.1 - Carbono Orgânico Total

A tabela a seguir mostra os valores de carbono orgânico total (TOC) das

amostras de solução aquosas de corantes básicos azul, amarelo e vermelho tratadas pelo processo fotoeletroquímico. As amostras analisadas foram as coletadas antes de iniciar o tratamento e após o término do processo.

Após o tratamento, todas as soluções de corante alcançaram uma redução de mais de 90% do teor de carbono orgânico total, como pode ser observado na **tabela 10**. Estes resultados indicam que as soluções aquosas sofreram uma quase que total mineralização, ou seja, reduziu, em cada solução, um valor superior a 90% de compostos orgânicos. Com o propósito de reuso da água para tingimentos, isto representa um resultado positivo, no que diz respeito a presença de corante. Comparando estes resultados com a literatura, o tratamento se apresenta como um ótimo método, pois de acordo com Pelegrini e colaboradores, utilizando processos oxidativos avançados (fotocatálise e eletroquímico) para tratamento de uma solução de corante Reativo Azul 19 houve uma redução de 52% de compostos orgânicos (PELEGRINI e colaboradores, 1999).

Tabela 10: valores de TOC das amostras de solução aquosa de corantes azul, amarelo e vermelho tratadas pelo processo fotoeletroquímico.

Corante	Antes do tratamento	Após o tratamento	Redução do TOC
Azul	210,4mg/L	17,51mg/L	91,68%
Amarelo	774,5mg/L	17,81mg/L	97,70%
Vermelho	578,5mg/L	10,64mg/L	98,16%

3.2.2 – Determinação da Porcentagem de Esgotamento dos Tingimentos

3.2.2.1 – Solução de Corante Azul Tratada

Com as soluções de corante azul tratadas foram preparados banhos de tingimentos com os corantes azul, amarelo e vermelho, e, a partir das medidas de absorvâncias foi determinada a porcentagem de esgotamento (**figura 26**) dos tingimentos com água destilada e água tratada pelo processo fotoeletroquímico.

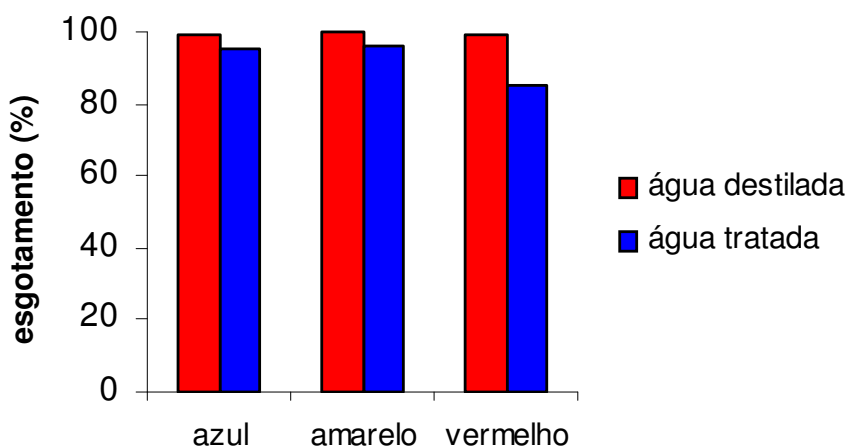


Figura 26: porcentagem de esgotamento dos tingimentos com diferentes corantes, utilizando água tratada pelo processo fotoeletroquímico e água destilada.

Observou-se que os valores de esgotamento, ou seja, a quantidade de corante que migrou do banho de tingimento com água destilada para a fibra foram ligeiramente superiores comparando a água reciclada, exceto para o corante vermelho cuja variação foi maior (14%). Contudo, estes resultados não demonstraram uma grande diferença em termos de rendimento colorístico, considerando principalmente que, para as cores azul e amarelo, os valores estão acima de 90% e a variação é de 3 a 4%, embora estes valores não significam que a quantidade de corante que migrou do banho se fixou na fibra, por isso torna-se importante a determinação da intensidade colorística (K/S) dos tecidos lavados, empregando a curva de calibração (padrão) segundo Kubelka-Munke (**tabela 11**).

3.2.2.2 – Solução de Corante Amarelo Tratada

De acordo com o que foi descrito no item **3.2.2.1**, a **figura 27** mostra a porcentagem de esgotamento dos banhos de tingimento com água destilada e água tratada pelo processo fotoeletroquímico.

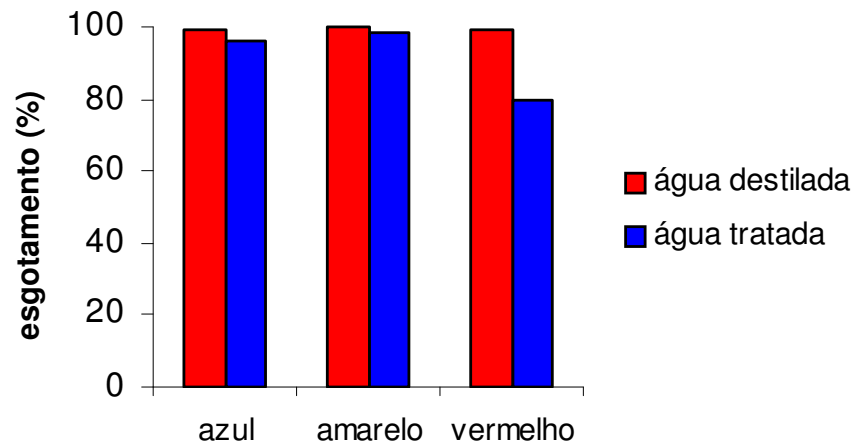


Figura 27: porcentagem de esgotamento dos tingimentos com diferentes corantes, utilizando água tratada pelo processo fotoeletroquímico e água destilada.

Observou-se que os valores de esgotamento da água destilada também foram ligeiramente superiores comparando a água reciclada, exceto, novamente, para o corante vermelho cuja variação foi maior (19,8%). Contudo, estes resultados não demonstraram uma grande diferença em termos de rendimento colorístico, considerando principalmente que, para as cores azul e amarelo, os valores estão acima de 90% e a variação é de aproximadamente 1 a 4%, respectivamente. Estes valores não significam que esta porcentagem se fixou na fibra, com isso, novamente se torna importante a determinação da intensidade colorística (K/S) dos tecidos lavados, empregando a curva de calibração (padrão) segundo Kubelka-Munke (**tabela 11**).

3.2.2.3 – Solução de Corante Vermelho Tratada

De acordo com o que foi descrito no item **3.2.2.1**, a **figura 28** mostra a porcentagem de esgotamento dos banhos de tingimento com água destilada e água tratada pelo processo fotoeletroquímico.

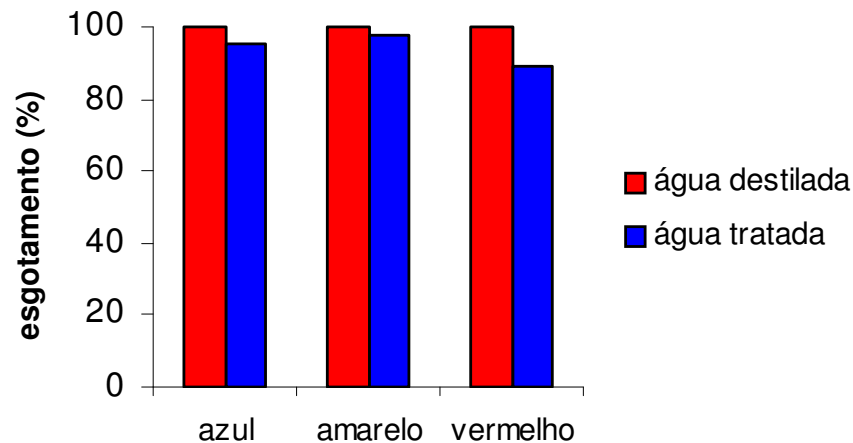


Figura 28: porcentagem de esgotamento dos tingimentos com diferentes corantes, utilizando água tratada pelo processo fotoeletroquímico e água destilada.

Observou-se que os valores de esgotamento da água destilada, além de apresentarem ótimos resultados, também foram ligeiramente superiores em relação comparando aos da água reciclada, exceto para o corante vermelho cuja variação novamente foi maior (11,2%). Contudo, estes resultados não demonstraram uma grande diferença em termos de rendimento colorístico, considerando principalmente que, para as cores azul e amarelo, os valores estão acima de 90% e a variação é de 2 a 4,2%, respectivamente.

Tabela 11: resultados dos tingimentos com solução tratada empregando corantes azul, amarelo e vermelho.

Solução tratada	% de esgotamento	Quantidade de corante que migrou para o tecido (mg/g)	Concentração de corante no tecido (%)
Corante azul	95,5%	9,88	0,97
Corante amarelo	98,7%	9,97	0,19
Corante vermelho	88,7%	9,87	0,89

3.2.2.4 – Solução de Corante Azul com e sem Retardante Tratada

A partir das medidas de absorvância dos tingimentos de monocromia com o corante azul realizados com rejeito (efluente) dos tingimentos tratado com e sem

retardante (**figura 29**), foi determinada porcentagem de esgotamento de tingimento.

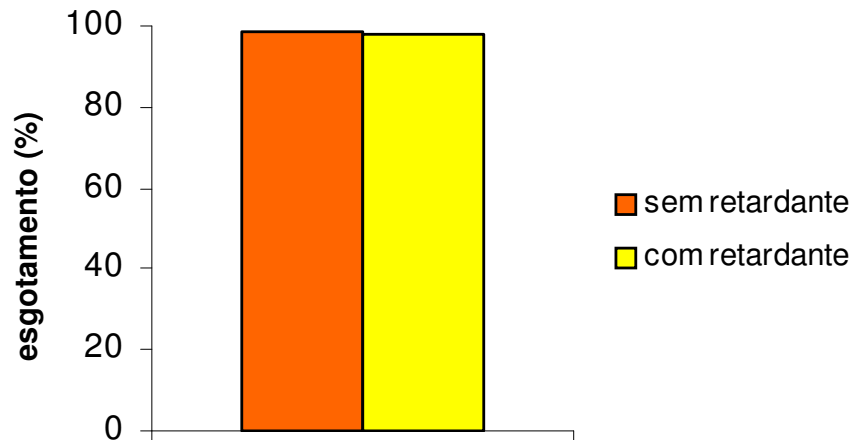


Figura 29: Porcentagem de esgotamento dos banhos de tingimento de monocromia com corante azul com efluente tratado dos tingimentos com e sem retardante.

De acordo com o gráfico acima, pode-se dizer que não houve diferença entre os tingimentos com e sem retardante com efluente tratado, sendo que estes variaram de 98,2 a 98,8%.

3.2.2.5 - Rejeitos dos Tingimentos de Bicromia

A seguir segue o gráfico de porcentagem de esgotamento dos tingimentos com bicromia, utilizando-se a proporção de 50% de corante azul e 50% de corante amarelo, bem como os tingimentos com tricromia, na proporção de 35% de corante azul mais 35% de corante amarelo e 30% de corante vermelho, todos realizados com o rejeito tratado pelo processo fotoeletroquímico (**efluente 1** – 50% de corante azul e 50% de corante amarelo) e também com a água destilada (padrão). Observa-se que praticamente não houve diferença com o tingimento padrão e com água reciclada, em termos de porcentagem de esgotamento.

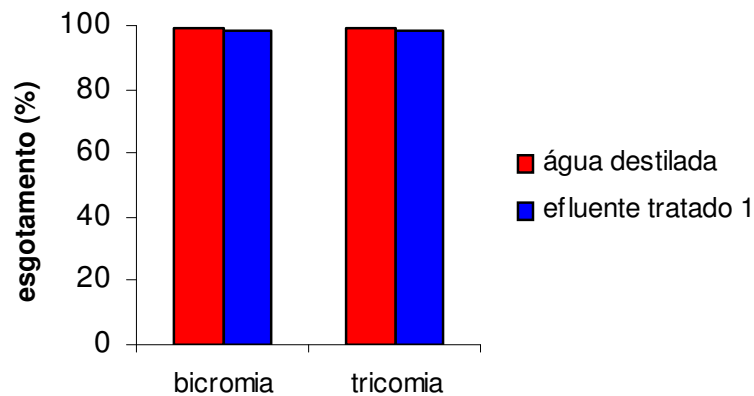


Figura 30: esgotamento do tingimento de bicromia com **efluente 1** e com água destilada.

O gráfico abaixo mostra a porcentagem de esgotamento dos tingimentos de bicromia e de tricromia realizados na proporção acima especificada, utilizando-se o **efluente 3** (75% de corante azul e 25% de corante amarelo).

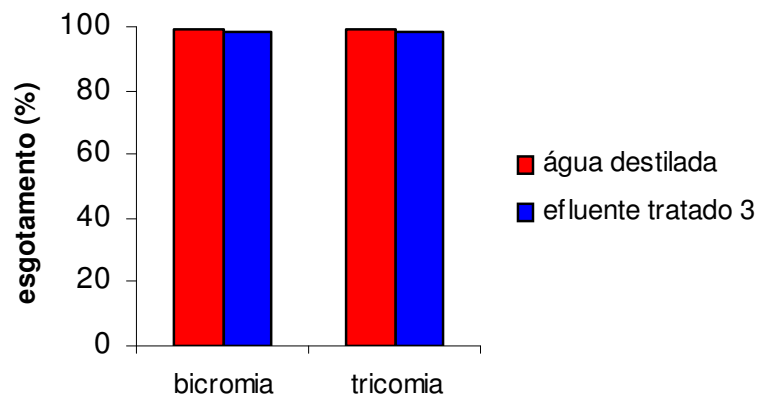


Figura 31: esgotamento do tingimento de tricromia com **efluente 3** e com água destilada.

Na figura anterior (**figura 31**) observa-se os valores próximos de 100% para a porcentagem de esgotamento praticamente idênticas entre os tingimentos.

A **figura 32** mostra a porcentagem de esgotamento dos tingimentos de monocromia com corante azul realizados com o **efluente 1** diluído com água destilada em 10%, 20% e 30%.

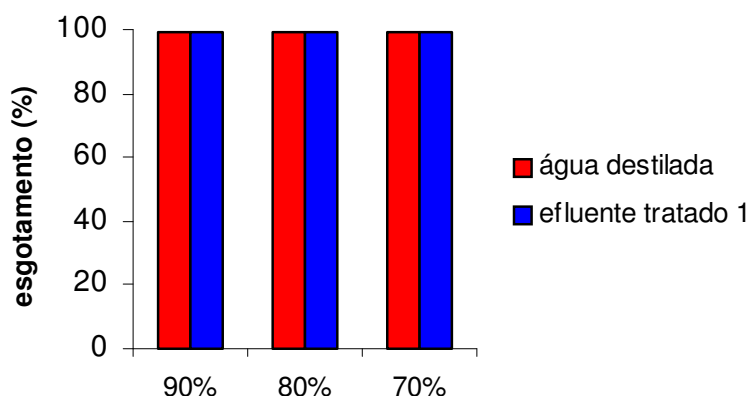


Figura 32: esgotamento dos tingimentos com **efluente 1** diluído a 10, 20 e 30% com água destilada.

Em geral os valores de esgotamento dos tingimentos foram muito bons, pois todos os valores encontram-se acima de 90%. Também pode-se observar que, praticamente não há diferença entre os tingimentos realizados com a água destilada (padrão) e com o efluente tratado. O valor mínimo obtido foi de 97,7 e o máximo 99,6%, sendo que, no caso das diluições, os valores obtidos são idênticos.

3.2.3 - Determinação da Intensidade da Cor (K/S)

3.2.3.1 – Solução de Corante Azul Tratada

A **tabela 12** mostra os valores obtidos através das leituras no espectrofotômetro de remissão (Mathis) do K/S das amostras de tecido acrílico tinto com corantes básicos azul, amarelo e vermelho (monocromia), empregando água tratada (solução aquosa de corante azul) e água destilada (não-tratada).

Tabela 12: Intensidade colorística das amostras de tecido acrílico tinto com corantes básicos azul, amarelo e vermelho, empregando água tratada (solução de corante azul) e água destilada.

Corante	Intensidade da cor (K/S) – água destilada	Desvio-padrão	Intensidade da cor (K/S) – água tratada	Desvio-padrão
Azul	29,8	0,3	24,3	0,3
Amarelo	17,2	1,9	9,0	0,6
Vermelho	21,7	0,8	16,3	0,4

Comparando água tratada com água destilada, as intensidades da cor azul apresentaram menor variação em relação ao padrão. Em todos os casos testados, os tecidos tintos com água destilada ficaram com cor mais intensa. E o tecido que apresenta menor intensidade colorística, sendo tingimento com água tratada, é o de cor amarela, comparando com azul e vermelho, o que faz sentido por se tratar de uma cor mais clara.

3.2.3.2 – Solução de Corante Amarelo Tratada

A **tabela 13** mostra os valores obtidos através das leituras no espectrofotômetro de remissão (Mathis) do K/S das amostras de tecido acrílico tinto com corantes básicos azul, amarelo e vermelho, empregando água tratada (solução aquosa de corante amarelo) e água destilada (não-tratada).

Tabela 13: Intensidade colorística das amostras de tecido acrílico tinto com corantes básicos azul, amarelo e vermelho, empregando água tratada (solução de corante amarelo) e água destilada.

Corante	Intensidade da cor (K/S) – água destilada	Desvio-padrão	Intensidade da cor (K/S) – água tratada	Desvio-padrão
Azul	24,6	1,5	20,3	0,1
Amarelo	12,4	0,6	6,7	0,8
Vermelho	20,2	0,6	14,0	0,4

As intensidades colorísticas dos tecidos tintos com água destilada apresentam valores bem superiores comparados as dos tintos com água tratada. E novamente, comparando água tratada com água destilada, as intensidades da cor azul apresentaram menor variação em relação ao padrão.

3.2.3.3 – Solução de Corante Vermelho Tratada

A **tabela 14** mostra os valores obtidos através das leituras no espectrofotômetro de remissão (Mathis) do K/S das amostras de tecido acrílico tinto

com corantes básicos azul, amarelo e vermelho, empregando água tratada (solução aquosa de corante vermelho) e água destilada (não-tratada).

Tabela 14: Intensidade colorística das amostras de tecido acrílico tinto com corantes básicos azul, amarelo e vermelho, empregando água tratada (solução de corante vermelho) e água destilada.

Corante	Intensidade da cor (K/S) – água destilada	Desvio-padrão	Intensidade da cor (K/S) – água tratada	Desvio-padrão
Azul	31,0	0,1	18,4	0,8
Amarelo	16,3	2,7	6,9	0,2
Vermelho	21,1	0,7	13,9	0,1

Comparando água tratada com água destilada, todas as intensidades colorísticas apresentaram uma grande variação nos valores, destacando a cor azul. Isto comprova que a água tratada, apresentando uma tonalidade residual amarela, interferiu mais intensamente nos tingimentos. Novamente as intensidades colorísticas do tecidos tintos utilizando água destilada apresentam maiores valores comparados aos tintos utilizando água tratada. Fica evidenciado o fato deste tratamento ser menos eficiente para as soluções que apresentem corante vermelho.

Comparando os valores apresentados nas **tabelas 12, 13 e 14**, as intensidades colorísticas que apresentaram uma maior variação foram os das amostras de tecido acrílico tinto com corantes básicos azul, amarelo e vermelho, empregando água tratada pelo processo fotoeletroquímico da solução aquosa do corante básico vermelho. Os únicos valores de intensidade colorística que resultaram próximos foram os dos tecidos tintos com corante azul utilizando água tratada (das soluções aquosas dos corantes básicos azul e amarelo) e água destilada.

As **tabelas 12, 13 e 14** mostram que os valores das intensidades colorísticas dos tecidos tintos com água destilada são maiores que os das intensidades colorísticas dos tecidos tintos com água tratada. Isto mostra que o reuso da água

tratada interfere no tingimento pois, de acordo com a simbologia K/S, K é determinada pelo corante e S é determinada pelo substrato (fibra).

3.2.3.4 – Solução de Corante Azul com e sem Retardante

A **tabela 15** mostra os valores obtidos através das leituras no espectrofotômetro de remissão (Mathis) do K/S das amostras de tecido acrílico tinto com corante básico azul na ausência e presença do retardante. Empregando água tratada, o K/S apresenta menor intensidade, porém muito próximo comparando o uso ou não do retardante independente se trata de água destilada ou tratada.

Tabela 15: Intensidade colorística (K/S) das amostras de tecido acrílico tinto com corante básicos azul, empregando água tratada (rejeito do tingimento com corante azul com e sem retardante) e água destilada.

	K/S – água destilada	Desvio-padrão	K/S – água tratada	Desvio-padrão
Com retardante	20,3	0,4	13,8	-----
Sem retardante	21,0	0,6	14,3	-----

Observou-se que o auxiliar retardante não interferiu nos resultados de K/S tanto para água destilada como água tratada. Portanto a presença do auxiliar neste rejeito gerado não interfere no tratamento da água para posterior utilização no tingimento, pois as intensidades colorísticas apresentaram valores bem aproximados, analisando verticalmente a tabela acima.

Comparando o uso da água tratada e água destilada, houve um alto valor de desvio padrão e, como também se observa nas **tabelas 12, 13 e 14**, que os valores das intensidades colorísticas dos tecidos tintos com água destilada são maiores que os das intensidades colorísticas dos tecidos tintos com água tratada. De acordo com valores apresentados nas **tabelas 12 e 15**, observa-se que o reuso do rejeito do tingimento com corante básico azul, ou seja, com a presença dos auxiliares (dispersante e retardante), interferiu nos resultados de K/S que são inferiores comparando com os valores de K/S ao usar água tratada (solução aquosa de corante básico azul sem os auxiliares).

3.2.3.5 - Rejeitos dos Tingimentos de Bicromia

As **tabelas 16** e **17** mostram os valores de K/S, obtidos através das leituras no espectrofotômetro de remissão, das amostras de tecido 100% acrílico de gramatura 3,205g/m² da ACRILAN® tinto com bicromia (50% de corante azul e 50% de corante amarelo) e tricromia (35% de corante azul, 35% de corante amarelo e 30% de corante vermelho), respectivamente, empregando água tratada (efluentes 1, 2 e 3) e água destilada.

Tabela 16: Intensidade colorística das amostras de tecido 100% acrílico de gramatura 3,205g/m² da ACRILAN® tinto com bicromia (50% de corante azul e 50% de corante amarelo), empregando água tratada (efluentes 1, 2 e 3) e água destilada.

Efluentes	Intensidade da cor (K/S) – água destilada	Intensidade da cor (K/S) – água tratada
1	20,9	15,6
2	18,9	7,3
3	18,2	16,8

Tabela 17: Intensidade colorística das amostras de tecido 100% acrílico de gramatura 3,205g/m² da ACRILAN® tinto com tricromia (35% de corante azul, 35% de corante amarelo e 30% de corante vermelho), empregando água tratada (efluentes 1, 2 e 3) e água destilada.

Efluentes	Intensidade da cor (K/S) – água destilada	Intensidade da cor (K/S) – água tratada
1	16,6	14,6
2	16,7	15,8
3	14,6	13,3

De acordo com as **tabelas 16 e 17**, a intensidade colorística que apresentou maior variação foi onde houve a utilização do efluente 2 (rejeito do tingimento com bicromia de 25% corante azul e 75% corante amarelo) tratado no tingimento com bicromia (50% de corante azul e 50% de corante amarelo). Entretanto para os tingimentos com tricromia (35% de corante azul, 35% de corante amarelo e 30% de corante vermelho) os valores ficaram mais próximos para todos os efluentes reutilizados.

Por método comparativo, os valores de K/S dos tecidos acrílicos da Malharia Diana®, utilizando o efluente 1 (50% de corante azul e 50% de corante amarelo) e água destilada, resultaram no seguinte: 15,9 (bicromia – água destilada) e 17,7 (bicromia – efluente tratado 1); 10,3 (tricromia – água destilada) e 9,7 (tricromia – efluente tratado 1). Os resultados comparativos mostram valores aproximados de K/S, mesmo que possa variar a composição química da malha fornecida por diferentes empresas.

A **tabela 18** a seguir mostra os valores de K/S utilizando os efluentes 1, 2 e 3 as quais foram diluídas em 10 e 20% com água destilada, com a finalidade de se obter reprodutibilidade nos tingimentos, comparando com os padrões empregando somente água destilada nos tingimentos.

Tabela 18: Intensidade colorística das amostras de tecido malha 100% acrílica de gramatura 3,205g/m² da ACRILAN® tinto, empregando água tratada (efluentes 1, 2 e 3) diluída com 10 e 20% de água destilada e somente água destilada.

Efluentes	Intensidade da cor (K/S) – água destilada	Intensidade da cor (K/S) – água tratada	
		80%	90%
1	33,2	25,6	25,0
2	24,3	22,8	20,2
3	46,0	40,7	40,5

Com finalidades comparativas, o tingimento foi repetido utilizando a malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana®. Foram feitas as diluições de 10, 20 e 30% como mostra a **tabela 19**.

Tabela 19: Intensidade colorística das amostras de tecido malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tinto, empregando água tratada (efluentes 1 e 3), água destilada(não-tratada) e diluições de 10, 20 e 30% com água destilada.

Intensidade colorística (K/S)					
Água destilada			Água tratada*		
			90%	80%	70%
31,9 ^a	31,9 ^b	18,5 ^c	27,4 ^a	28,9 ^b	17,9 ^c

**Foram utilizados o efluente 1 na diluição de 30% e o efluente 3 nas diluições 20 e 10%.*

Mesmo que na **tabela 17** os valores de K/S, utilizando o efluente 2, apresentados são muito próximos, este efluente sintético tratado foi descartado nos resultados devido ao elevado esgotamento nos tingimentos para produção de rejeitos, resultando em pequena variação antes e após o tingimento.

De acordo com a tabela acima, pode-se perceber uma aproximação significativa entre os valores de K/S das amostras tintas com efluente e com água destilada, quando aumentou-se o grau de diluição do efluente, as intensidades das cores das amostras se aproximam mais ainda.

3.2.4 - Determinação da Diferença de Cor Residual (ΔE)

3.2.4.1 – Tingimento com Solução de Corante Azul Tratada

A **tabela 20** mostra os valores obtidos através do espectrofotômetro de remissão (Mathis) de ΔE das amostras de tecido acrílico tinto com os corantes

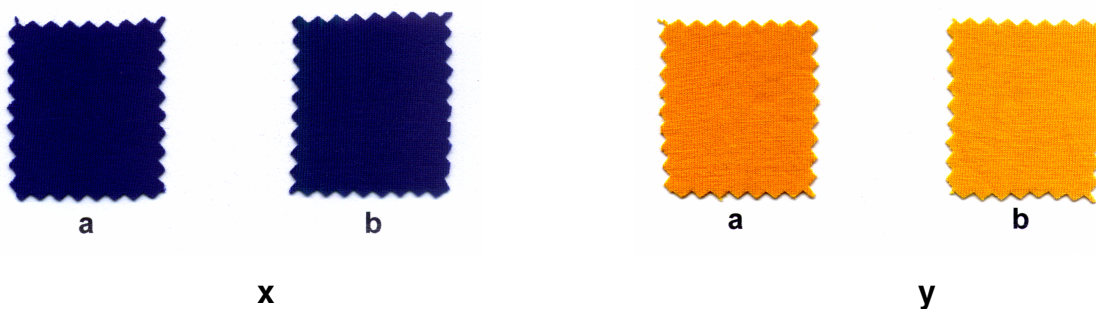
básicos azul, amarelo e vermelho (monocromia), empregando água tratada e água destilada.

Tabela 20: Diferença de cor residual das amostras dos tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tintas com diferentes cores (monocromia).

Corante	Diferença de cor residual (ΔE) – água tratada	Desvio – padrão
Azul	4,3	0,2
Amarelo	10,7	0,9
Vermelho	3,9	0,5

Normalmente os valores aprovados pela indústria dependem das exigências do cliente, estando estes entre 0,3 e 1,1. Considerando os valores obtidos de acordo com o ΔE , nenhum dos tingimentos apresentados estariam sendo liberados pela indústria, pois os valores de ΔE estão muito elevados (>3).

A **figura 33** a seguir mostra os tecidos tintos com diferentes cores (azul, amarelo e vermelho) utilizando água destilada (a) e água tratada pelo processo fotoeletroquímico (b).



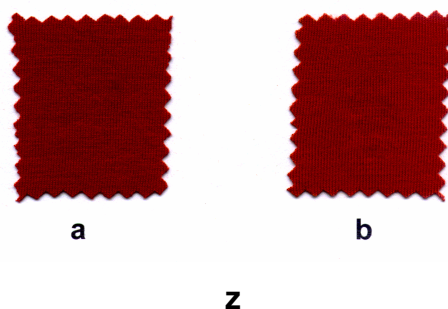


Figura 33: tecidos malha 100% acrílica de gramatura $1,81\text{g/m}^2$ da Malharia Diana® tintos com água destilada (a) e solução aquosa de corante azul tratada (b). **x** – corante azul; **y** – corante amarelo; **z** – corante vermelho

3.2.4.2 – Tingimento com Solução de Corante Amarelo Tratada

A **tabela 21** mostra os valores obtidos através do espectrofotômetro de remissão (Mathis) de ΔE das amostras de tecido acrílico tinto com os corantes básicos azul, amarelo e vermelho (monocromia), empregando água tratada e água destilada.

Tabela 21: Diferença de cor residual das amostras dos tecidos malha 100% acrílica de gramatura $1,81\text{g/m}^2$ da Malharia Diana® tintas com diferentes cores (monocromia).

Corante	Diferença de cor residual (ΔE) – água tratada	Desvio – padrão
Azul	4,2	0,1
Amarelo	13,0	0,8
Vermelho	5,0	0,2

Considerando os valores obtidos de acordo com o ΔE , nenhum dos tingimentos estariam sendo liberados pela indústria, pois os resultados foram bem superiores a 1. Houve um destaque maior para o corante amarelo que apresenta uma intensidade de cor menor (cor média). Neste caso a variação de ΔE foram maiores para estas soluções tratadas.

A **figura 34** a seguir mostra os tecidos tintos com diferentes cores utilizando água destilada e água tratada pelo processo fotoeletroquímico.

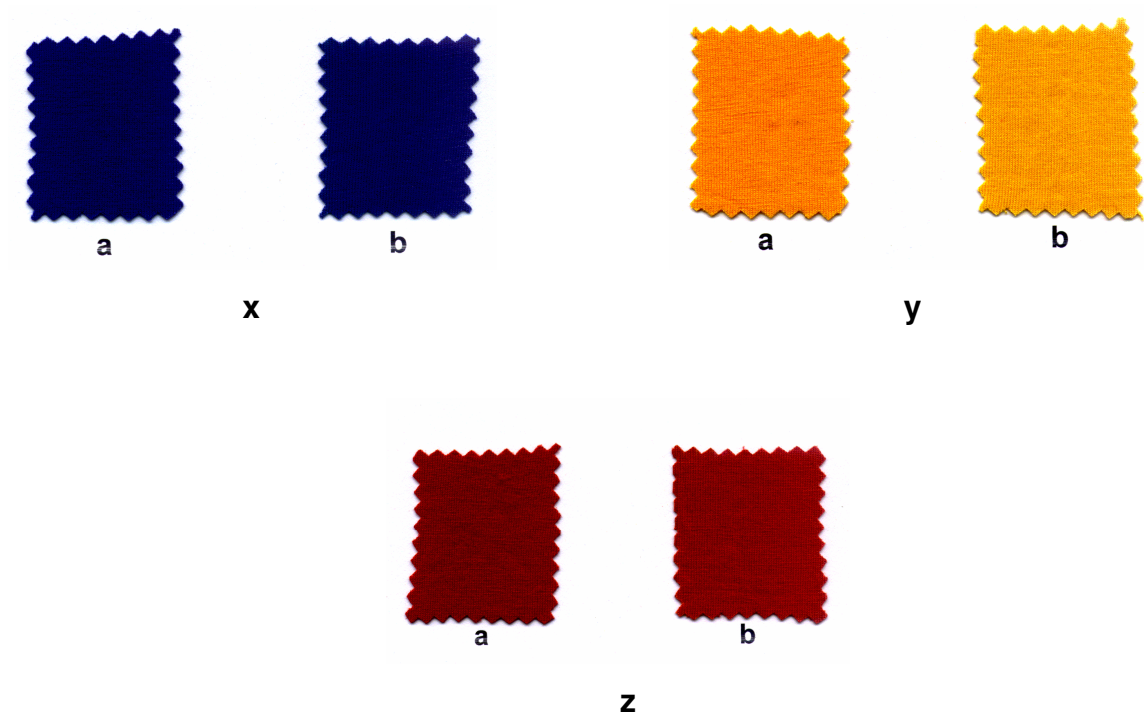


Figura 34: tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tintos com água destilada (a) e solução aquosa de corante amarelo tratada (b). **x** – corante azul; **y** – corante amarelo; **z** – corante vermelho

3.2.4.3 – Tingimento com Solução de Corante Vermelho Tratada

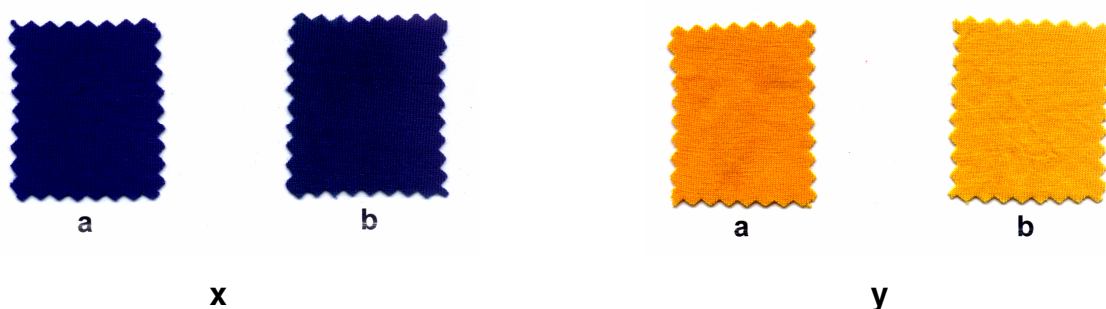
A **tabela 22** mostra os valores obtidos através do espectrofotômetro de remissão (Mathis) de ΔE das amostras de tecido acrílico tinto com os corantes básicos azul, amarelo e vermelho (monocromia), empregando água tratada e água destilada.

Tabela 22: Diferença de cor residual das amostras dos tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tintas com diferentes cores (monocromia).

Corante	Diferença de cor residual (ΔE) – água tratada	Desvio – padrão
Azul	11,6	0,1
Amarelo	15,9	4,3
Vermelho	5,0	0,5

Considerando os valores obtidos de acordo com o ΔE , nenhum destes tingimentos estariam sendo liberados pela indústria, pois o ΔE apresenta valores muito elevados. Houve novamente um destaque maior para o corante amarelo que apresenta uma intensidade de cor menor (cor média). E o corante vermelho apresentou um ΔE menor. Neste tingimento foi utilizado água tratada pelo processo fotoeletroquímico de uma solução de corante vermelho o qual apresentou uma maior variação de ΔE entre os três corantes utilizados.

A **figura 35** a seguir mostra os tecidos tintos utilizando água destilada e água tratada pelo processo fotoeletroquímico.



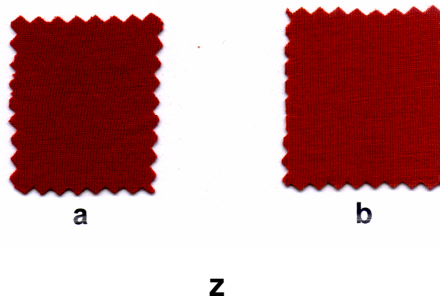


Figura 35: tecidos malha 100% acrílica de gramatura $1,81\text{g/m}^2$ da Malharia Diana® tintos com água destilada (a) e solução aquosa de corante vermelho tratada (b). **x** – corante azul; **y** – corante amarelo; **z** – corante vermelho

Comparando os valores de eficiência do tratamento fotoeletroquímico realizado com as soluções aquosas de corante azul, amarelo e vermelho (monocromia), que foram superiores a 99%, com os valores elevados de ΔE ($>$ que 2,0), mostrados nas **tabelas 20, 21 e 22**, sugere que apesar da eficiência do tratamento ter sido ótima, ocorre uma interferência dos subprodutos da degradação do corante durante o tingimento, pois não houve total mineralização de acordo com os dados obtidos pela análise do TOC (**tabela 10**). Sendo assim, segue uma proposta de continuidade ao trabalho.

3.2.4.4 – Solução de Corante Azul com Retardante e sem Retardante Tratada

Visando avaliar a possível interferência, nos tratamentos, de auxiliar comumente empregado nos tingimentos de fibras acrílicas, a **tabela 23** mostra os valores obtidos através do espectrofotômetro de remissão (Mathis) de ΔE das amostras de tecido acrílico tinto com corante básico azul na presença e ausência de retardante, empregando água tratada e água destilada, seguindo receita do fabricante.

Tabela 23: Diferença de cor residual das amostras dos tecidos malha 100% acrílicos de gramatura $1,92\text{g/m}^2$ da Tapajós Têxtil LTDA tintos com corante azul na presença e ausência de retardante.

Solução de corante azul tratada	Diferença de cor residual (ΔE)	Desvio – padrão
Com retardante	1,3	0,7
Sem retardante	1,8	0,06

Os resultados obtidos mostram que soluções de banhos de tingimento pós-tratamento fotoeletroquímico quando reutilizados resultam em melhores valores de ΔE , o que significa maior reprodutibilidade da cor. Isto pode ser devido ao fato destes auxiliares (retardante e dispersante) favorecerem a migração e fixação do corante no tecido. Considerando o menor valor de ΔE quando foi usado, além do dispersante, o retardante, isto pode ser explicado pelo fato deste auxiliar promover uma difusão mais lenta do corante na fibra, permitindo maior concentração em maior profundidade.

3.2.4.5 - Rejeitos dos Tingimentos de Bicromia Tratados

A **tabela 24** mostra os valores obtidos através das leituras no espectrofotômetro de remissão do ΔE das amostras de tecido malha 100% acrílica de gramatura 3,205g/m² da ACRILAN® tinto com bicromia (50% de corante azul e 50% de corante amarelo). Para fins comparativos, foi utilizada, nas mesmas condições de bicromia, o tingimento malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana®, usando o efluente 1.

Tabela 24: Diferença de cor residual das amostras de diferentes tecidos malha 100% acrílica tintos com bicromia empregando diferentes efluentes tratados.

Efluentes Tratados	Diferença de cor residual (ΔE)	
	ACRILAN®	Malharia Diana®
1	4,4	1,8
2	3,0	
3	3,3	

A **tabela 25** mostra os valores obtidos através das leituras no espectrofotômetro de remissão do ΔE das amostras de tecido malha 100% acrílica de gramatura 3,205g/m² da ACRILAN® tinto com tricromia (35% de corante azul, 35% de corante amarelo e 30% de corante vermelho). Também com o propósito de comparação, foi utilizada, nas mesmas condições de tricromia, o tingimento da malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana®, usando o efluente 1.

Tabela 25: Diferença de cor residual das amostras de diferentes tecidos malha 100% acrílica tintos com tricromia empregando diferentes efluentes tratados.

Efluentes Tratados	Diferença de cor residual (ΔE)	
	ACRILAN®	Malharia Diana®
1	3,7	4,7
2	1,2	
3	2,6	

De acordo com as **tabelas 24 e 25**, o único valor de diferença de cor residual que apresenta um resultado próximo ao liberado pela indústria é o tingimento de tricromia utilizando o efluente 2. Contudo a eficiência do tratamento fotoeletroquímico para reuso deste efluente resultou num valor muito baixo. Mesmo assim, diante desta condição, o efluente 2 foi utilizado nos processos de tingimento, visando otimização para reuso.

Comparando os valores de ΔE dos tecidos acrílicos da Malharia Diana®, utilizando o efluente 1 e água destilada, com os valores do tecido da ACRILAN®, houve um melhor resultado com o tecido da Malharia Diana® em bicromia. Isto pode ser explicado por possíveis diferenças na constituição dos tecidos, mas principalmente pela estrutura da malha. No caso da malha ACRILAN® sua estrutura irregular (tipo ribana) promove uma heterogeneidade da superfície no que diz respeito à análise que depende da reflexão da luz.

A tabela a seguir mostra os valores de ΔE (monocromia) utilizando os efluentes 1, 2 e 3 (rejeitos tratados pelo processo fotoeletroquímico) e diluições de 10 e 20% com água destilada.

Tabela 26: diferença de cor residual das amostras de tecido malha 100% acrílica de gramatura 3,205g/m² da ACRILAN® tinto, empregando água tratada (efluentes 1, 2 e 3), água destilada (não-tratada) e diluições de 10 e 20% com água destilada.

Efluentes tratados	Diferença de cor residual (ΔE)	
	80%	90%
1	3,8	4,3
2	4,7	2,9
3	3,6	3,5

Com finalidades comparativas, o tingimento foi repetido utilizando a malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana®. Foram feitas as diluições de 10, 20, com o efluente 3, e 30%, onde foi utilizado o efluente 1, por apresentar piores resultados em termos de K/S e ΔE . A **figura 36** mostra o decaimento dos valores de ΔE com a progressiva diluição do efluente. Observa-se que, utilizando-se o efluente diluído em 30%, é possível obter-se um ótimo valor de ΔE , não apresentando diferença significativa para com a água destilada, onde o valor de ΔE foi de 0,3, o qual dificilmente é detectado pelo olho humano. Este resultado gera uma economia de 70% no reuso de água e sugere a necessidade de continuidade deste estudo empregando estas combinações de cores, bem como o efluente real (da indústria).

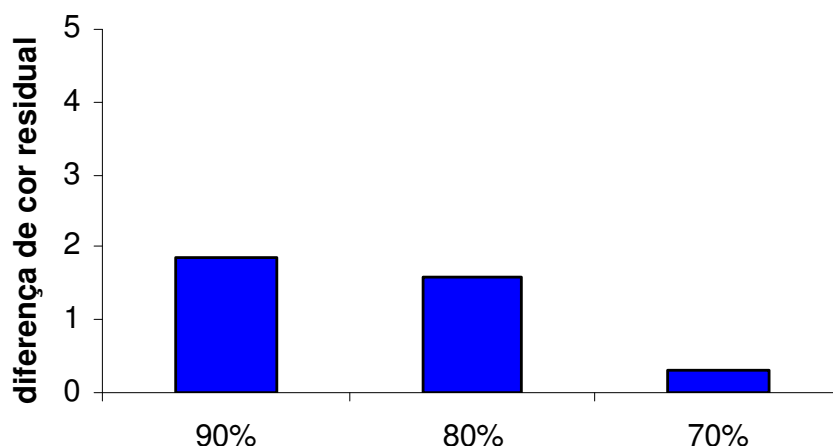


Figura 36: Diferença de cor das amostras de malha 100% acrílica de gramatura $1,81\text{g/m}^2$ da Malharia Diana® tintas com efluente 1 tratado diluído em 10, 20 e 30% com água destilada.

3.2.5 – Ensaio de Solidez

Após o tingimento, os tecidos foram secos ao ar e submetidos a diversos tipos de ensaios de solidez de acordo com normas técnicas (NBR) empregadas pela indústria para liberação de um processo.

3.2.5.1 - Solidez à Lavagem

3.2.5.1.1 – Tingimento com Soluções de Monocromia Tratadas

Conforme **tabelas 27, 28 e 29**, observa-se que os ensaios de determinação da solidez de cor à ação de lavagem para os tecidos acrílicos tintos e não-tintos mostraram muito bons resultados, considerando que os valores das notas da escala cinza foram superiores a 4,0 e o de desvio-padrão máximo obtido foi de 0,28. O relevante também destes resultados é o fato dos valores obtidos para tingimento com água destilada e água tratada serem próximos. Somente as notas da escala cinza obtidas no tecido testemunha de algodão são inferiores a 4,0.

Tabela 27: Determinação da solidez de cor à ação de lavagem – NBR 13062 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tintos com solução de corante azul tratada e água destilada.

	Cor	Nota da escala Cinza Norma Sandoz (1983)			
		Água destilada		Água tratada	
		Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Amostra de tecido acrílico	Azul	4,7	0,21	4,5	0,07
	Amarelo	4,7	0,07	4,6	0,07
	Vermelho	4,7	0,28	4,9	-----
Tecido testemu nha (acrílico)	Azul	4,4	-----	4,2	-----
	Amarelo	4,5	-----	4,5	-----
	Vermelho	4,5	-----	4,2	0,07
Tecido testemu nha (algodão)	Azul	3,4	0,07	3,1	0,07
	Amarelo	3,6	0,07	3,5	0,07
	Vermelho	3,4	0,07	3,5	0,07

Tabela 28: Determinação da solidez de cor à ação de lavagem – NBR 13062 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tintos com solução de corante amarelo tratada e água destilada.

	Cor	Nota da escala Cinza Norma Sandoz (1983)			
		Água destilada		Água tratada	
		Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Amostra de tecido acrílico	Azul	4,7	0,21	4,7	-----
	Amarelo	4,7	0,07	4,7	0,14
	Vermelho	4,7	0,28	4,9	-----
Tecido testemu nha (acrílico)	Azul	4,4	-----	4,4	0,07
	Amarelo	4,5	-----	4,5	-----
	Vermelho	4,5	-----	4,5	-----
Tecido testemu nha (algodão)	Azul	3,4	0,07	3,2	-----
	Amarelo	3,6	0,07	3,4	-----
	Vermelho	3,4	0,07	3,4	-----

Tabela 29: Determinação da solidez de cor à ação de lavagem – NBR 13062 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tintos com solução de corante vermelho tratada e água destilada.

	Cor	Nota da escala Cinza Norma Sandoz (1983)			
		Água destilada		Água tratada	
		Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Amostra de tecido acrílico	Azul	4,7	0,21	4,3	0,28
	Amarelo	4,7	0,07	4,7	0,07
	Vermelho	4,7	0,28	4,9	0,07
Tecido testemunha (acrílico)	Azul	4,4	-----	4,4	0,07
	Amarelo	4,5	-----	4,5	-----
	Vermelho	4,5	-----	4,5	-----
Tecido testemunha (algodão)	Azul	3,4	0,07	2,9	0,14
	Amarelo	3,6	0,07	3,5	0,07
	Vermelho	3,4	0,07	3,4	0,07

3.2.5.1.2 – Tingimento com Reuso do Rejeito com Retardante e sem Retardante

Conforme a **tabela 30** observa-se que os ensaios da determinação da solidez de cor à ação de lavagem para os tecidos acrílicos tintos com corante básico azul e não-tintos mostraram bons resultados, considerando que os valores das notas da escala cinza foram superiores a 4,0 e o de desvio-padrão máximo obtido foi de 0,28. Os valores obtidos também foram próximos e maiores para a água reutilizada quando comparados com a água destilada. Novamente os resultados se repetem nas notas da escala cinza obtidas no tecido testemunha de algodão que foram inferiores a 4,0, mas isto ocorreu somente para o tecido que foi tingido com corante azul e água destilada.

Tabela 30: Determinação da solidez de cor à ação de lavagem – NBR 13062 para tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,92g/m² da Tapajós Têxtil LTDA tintos com rejeito tratado do tingimento do corante azul com e sem retardante e água destilada.

		Cor	Nota da escala Cinza Norma Sandoz (1983)			
			Água destilada		Água tratada	
			Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Amostra de tecido acrílico	Com retardante	4,8	-----	4,5	0,28	
	Sem retardante	4,7	0,14	4,8	-----	
Tecido testemunha (acrílico)	Com retardante	4,9	0,07	4,2	-----	
	Sem retardante	4,7	0,07	4,2	-----	
Tecido testemunha (algodão)	Com retardante	4,2	0,07	3,6	-----	
	Sem retardante	4,2	0,07	3,6	-----	

3.2.5.2- Solidez à Fricção

3.2.5.2.1 – Tingimento com Soluções de Monocromia Tratadas

Conforme **tabelas 31, 32 e 33**, nos valores determinados através dos ensaios de solidez de cor para os tecidos tintos à fricção, observa-se resultados satisfatórios, pois as notas foram superiores a 4,0 e os valores foram próximos ou indênticos para água destilada e tratada pelo processo fotoeletroquímico, considerando que valores entre 4 – 5 (notas máximas) são liberados pela indústria. Exceto para tecido tinto

com corante azul usando a água tratada que se observa resultados abaixo de 4,0 (baixa solidez).

Tabela 31: Determinação da solidez de cor à fricção – NBR 8432 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tintos com solução de corante azul tratada e água destilada.

		Nota da escala Cinza para avaliação de transferência de cor em materiais têxteis								
		Água destilada				Água tratada				
		Seco		Úmido		Seco		Úmido		
		Média	Desvio - padrão	Média	Desvio - padrão	Média	Desvio - padrão	Média	Desvio - padrão	
Tecido testemunha (algodão)	Cor	Azul	4,7	0,35	4,2	0,35	3,5	-----	2,7	0,35
	Amarelo	5,0	-----	4,5	-----	5,0	-----	4,5	-----	
	Vermelho	4,7	0,35	4,2	0,35	4,5	-----	4,0	-----	

Tabela 32: Determinação da solidez de cor à fricção – NBR 8432 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tintos com solução de corante amarelo tratada e água destilada.

		Nota da escala Cinza para avaliação de transferência de cor em materiais têxteis								
		Água destilada				Água tratada				
		Seco		Úmido		Seco		Úmido		
		Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	
Tecido testemunha (algodão)	Cor	Azul	4,7	0,35	4,2	0,35	4,2	0,35	3,5	-----
	Amarelo	5,0	-----	4,5	-----	5,0	-----	4,5	-----	
	Vermelho	4,7	0,35	4,2	0,35	4,2	0,35	4,0	-----	

Tabela 33: Determinação da solidez de cor à fricção – NBR 8432 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tintos com solução de corante vermelho tratada e água destilada.

		Nota da escala Cinza para avaliação de transferência de cor em materiais têxteis							
		Água destilada				Água tratada			
		Seco		Úmido		Seco		Úmido	
		Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Tecido testemunha (algodão)	Cor								
	Azul	4,7	0,35	4,2	0,35	2,5	-----	2,0	-----
	Amarelo	5,0	-----	4,5	-----	4,7	0,35	4,7	0,35
	Vermelho	4,7	0,35	4,2	0,35	4,5	-----	4,0	-----

3.2.5.3- Solidez ao Suor Ácido e Básico

3.2.5.3.1 – Tingimento com Soluções de Monocromia Tratadas

Os ensaios de solidez ao suor ácido e básico são importantes, no caso de fibras acrílicas, pois estas fibras são também utilizadas para confecção de artigos de vestuário, ou seja, tecido em contato direto com o corpo. Do ponto de vista de uso, pois alguns indivíduos apresentam suor ácido e outros básico, dependendo do metabolismo de cada um. Observa-se nas tabelas a seguir (**tabelas 34, 35 e 36**) ótimos resultados com valores muito próximos comparando água tratada e destilada. Entretanto os tecidos testemunha (acrílico) e os tecidos testemunha (algodão) tintos com corante azul em água tratada e destilada apresentaram notas da escala cinza inferior a 4,0. Este comportamento isolado, neste caso, pode estar mais associado às características do corante (química e estrutural) do que à natureza da água tratada empregada nos banhos de tingimento.

Tabela 34 : Determinação da solidez de cor ao suor ácido e básico– NBR 8431 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tintos com solução de corante azul tratada e água destilada.

	Cor	Nota da escala Cinza Norma Sandoz (1983)							
		Água destilada				Água tratada			
		Média		Desvio-padrão		Média		Desvio-padrão	
		Ácido	Básico	Ácido	Básico	Ácido	Básico	Ácido	Básico
Tecido acrílico tinto	Azul	4,9	4,8	-----	0,07	4,7	4,8	0,28	-----
	Amarelo	4,9	4,9	0,14	-----	4,8	4,9	0,07	0,07
	Vermelho	4,9	4,8	-----	0,07	4,9	4,9	-----	0,07
Testemunha (acrílico)	Azul	3,2	3,5	0,07	0,57	3,0	3,7	0,42	0,07
	Amarelo	3,1	3,1	-----	0,35	3,7	3,8	0,07	-----
	Vermelho	3,4	3,7	0,35	-----	3,9	4,0	0,07	0,07
Testemunha (algodão)	Azul	3,7	3,4	0,07	0,35	1,9	1,8	-----	0,07
	Amarelo	4,3	4,3	-----	-----	3,7	3,8	0,07	-----
	Vermelho	4,4	4,3	-----	-----	3,9	4,0	0,07	0,07

Tabela 35: Determinação da solidez de cor ao suor ácido e básico– NBR 8431 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tintos com solução de corante amarelo tratada e água destilada.

	Cor	Nota da escala Cinza Norma Sandoz (1983)							
		Água destilada				Água tratada			
		Média		Desvio-padrão		Média		Desvio-padrão	
		Ácido	Básico	Ácido	Básico	Ácido	Básico	Ácido	Básico
Tecido acrílico tinto	Azul	4,9	4,8	-----	0,07	4,8	4,9	0,07	-----
	Amarelo	4,9	4,9	0,14	-----	4,8	4,9	0,07	0,07
	Vermelho	4,9	4,8	-----	0,07	4,9	4,9	0,07	-----
Testemunha (acrílico)	Azul	3,2	3,5	0,07	0,57	3,0	3,2	-----	0,07
	Amarelo	3,1	3,1	-----	0,35	3,1	3,3	0,07	0,07
	Vermelho	3,4	3,7	0,35	-----	3,7	3,8	0,21	0,07
Testemunha (algodão)	Azul	3,7	3,4	0,07	0,35	3,1	3,1	-----	0,07
	Amarelo	4,3	4,3	-----	-----	4,2	4,3	0,07	-----
	Vermelho	4,4	4,3	-----	-----	4,3	4,3	0,07	0,07

Tabela 36: Determinação da solidez de cor ao suor ácido e básico– NBR 8431 para os tecidos malha 100% acrílica de gramatura 1,81g/m² da Malharia Diana® tintos com solução de corante vermelho tratada e água destilada.

		Nota da escala Cinza Norma Sandoz (1983)							
		Água destilada				Água tratada			
		Média		Desvio-padrão		Média		Desvio-padrão	
		Ácido	Básico	Ácido	Básico	Ácido	Básico	Ácido	Básico
Tecido acrílico tinto	Azul	4,9	4,8	-----	0,07	4,7	4,7	-----	0,07
	Amarelo	4,9	4,9	0,14	-----	4,8	4,8	0,07	0,07
	Vermelho	4,9	4,8	-----	0,07	4,9	4,9	-----	-----
Testemunha (acrílico)	Azul	3,2	3,5	0,07	0,57	3,0	3,2	0,07	0,07
	Amarelo	3,1	3,1	-----	0,35	3,3	3,4	-----	0,14
	Vermelho	3,4	3,7	0,35	-----	3,6	3,7	0,42	0,07
Testemunha (algodão)	Azul	3,7	3,4	0,07	0,35	3,3	3,4	-----	0,07
	Amarelo	4,3	4,3	-----	-----	4,3	4,3	-----	0,07
	Vermelho	4,4	4,3	-----	-----	4,3	4,3	0,07	0,07

4 – CONCLUSÕES

De acordo com as análises feitas e os resultados obtidos durante este trabalho, conclui-se que o tratamento fotoeletroquímico é um ótimo método de tratamento para a degradação da cor de soluções aquosas de corantes básicos azul, amarelo e vermelho (monocromia), pois as eficiências resultaram em valores superiores a 99% e mais que 90% do volume das soluções tratadas mineralizaram. Já com os rejeitos dos tingimentos com diferentes bicromias, as eficiências resultaram em valores muito baixos. E o tratamento aplicado à solução de tricromia apresentou uma eficiência de 98%, entretanto, a solução final apresentou um tom amarelado e impróprio para reuso direto da água em tingimentos. Isto significa que em banhos de tingimento mais complexos associando corantes e auxiliares as condições de tratamento devem ser mais eficientes.

Contudo, mesmo diante da baixa eficiência do tratamento fotoeletroquímico, os rejeitos dos tingimentos com diferentes bicromias (efluentes 1, 2 e 3) foram reutilizados nos tingimentos de bicromia (50% de corante azul e 50% de corante amarelo) e tricromia (35% de corante azul, 35% de corante amarelo e 30% de corante vermelho) e, posteriormente, foram feitas diluições com o propósito de melhorar os resultados em termos de reprodutibilidade da cor comparando aos tingimentos usando água destilada.

Em geral os valores de porcentagem de esgotamento foram bons em todas as condições citadas neste trabalho. Contudo os valores de K/S e ΔE , que estão diretamente relacionadas a quantidade de corante efetivamente fixada na fibra, não foram satisfatórios, devido as diferenças de valores de K/S comparando água destilada e tratada e aos valores superiores a 1,1 de ΔE . Entretanto, na condição de diluição do efluente 1 tratado (50% de corante azul e 50% de corante amarelo) diluído com 30% de água destilada para empregar no tingimento do tecido acrílico, o valor de ΔE resultou em 0,3 o qual seria perfeitamente liberado pelas indústrias têxteis. Este resultado é muito interessante, pois significa uma economia de 70% de água.

Com relação aos ensaios de solidez, considera-se em geral satisfatórios (notas superiores a 4) embora alguns resultados são desfavoráveis nos tingimentos com corante azul.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. R.; ROSA, M. A.; DURÁN, N. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Química Nova**, n.5, v.27, p.818 – 824, 2004.

AMIRI, S.A.; BOLTON, R. J.; CATER, R. S. **Water Res.** **31**, n.4, p. 787-798, 1997.

ARABATZIS, I.M.; STERGIOPOULOS, T.; ANDREEVA, D. KITOVA, S.; NEOPHYTIDES, S.G.; FALARAS, P. **Journal of Catalysis**, **220**, p. 127-135, 2003.

ARNOLD, S. M.; HICKEY, W. J.; HARRIS, R. F. **Environ. Sci. Technol.**, **29**: p. 2083-2090, 1995.

ASEN, V. C. **Remoção de corantes reativos de efluentes têxteis**. 2003. 50f., Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13062**: Materiais Têxteis – determinação da solidez de cor à ação de lavagem – ensaio nº 3. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8431**: Materiais Têxteis – determinação da solidez da cor ao suor. São Paulo, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8432**: Materiais Têxteis – determinação da solidez de cor à fricção. São Paulo, 1984.

ATKINS, P. W. **Physical Chemistry**. 5ed. Oxford: Oxford University Press, 1995.

BALAN, D.S.L. Biodegradação e toxicidade de efluentes têxteis, **Química Têxtil**, n. 54, p. 26-31, 2000.

BARCELLOS, I. O. **Química Têxtil II**. Blumenau, 2004, 183p.

BATTISTI, A. M.; SPENGLER, G.; BARCELLOS, I. O. Estudo da isoterma de adsorção do corante ácido amarelo RXL, em blendas de náilon 6.6/quitosana. **Anais Reunião Anual Sociedade Brasileira de Química**, Águas de Lindóia, 2006.

BAUGHMAN G.L.; PERKINS, W.S. Treatment of Textile Effluents in Constructed Wetlands: A case Study. **AATCC Review**, p. 24-25, 2001.

BELKIN, S.; BRENNER, A.; LEBEL, A. Treatment of High-Strength, Complex and Toxic Chemical Wastewater: End-of-pipe Best Available Technology vs na In-plant Control Program. **Water Science & Technology**, n.8, v.29, p. 221 – 233, 1994.

BELTRAME, L. T. C.; DANTAS, T. N. C.; NETO, A. A. D.; Nascimento, J. H.; Microemulsão: A Nova Tecnologia na Remoção da Cor de Efluentes. **Revista Química Têxtil**, n. 76, p. 64, set. 2004.

BERTAZOLLI, R. e PELEGRINI, R. Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através do processo fotoeletroquímico. **Química Nova**. **25**, p. 477-482, 2002.

BERTAZZOLI, R.; PELEGRINI, R. Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através de processo fotoeletroquímico. **Química Nova**, n. **3**, v.25, 2002.

BONAN, A. A. ; KOROISHI, T.E., SILVA, C.F. Estudo de adsorção de efluentes têxteis em diferentes adsorventes. **Revista Química Têxtil**, p. 46 – 49, 2001.

BONATTI, M. O. **Aplicação e estudo da cinética de adsorção dos corantes pelo biopolímero quitosana em efluentes têxteis**. 1999. 58f., Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 1999.

BRAILE, P. M. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**. São Paulo, p. 6 – 19, 1979.

BRÁS, R.; DIAS, J.; REGO, G.; BAPTISTA N.; GONÇALVES, I.C.; USSMAN, M.H.; **Anais Seminário Internacional** – Aplicação da biotecnologia na Indústria Têxtil; maio-2001, Brazil.

BRITO-PELEGRINI, N. N.; PELIGRINI, R. Tratamento de efluente têxtil contendo corante reativo Blue Black por processo fotocatalítico, utilizando TiO_2/UV . **Revista Química Têxtil**, n.81, p.38, dez 2005.

BUBLITZ, J. C. **Reutilização de efluentes em processos de tingimentos**. 2003. 26f., Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2003.

CAMMAROTA, M.C. e COELHO, M.A.Z.; Tratamento enzimático para remoção de cor de efluentes de indústria têxtil. **Revista Química Têxtil**, p. 40 – 48, 2001.

CEGARRA, J. Biotecnologia Aplicada aos Processos de Química Têxtil. **Revista Química Têxtil**, p. 5 – 14, 2000.

CHERN, J.M; WU, C.Y. Adsorption of binary dye solution on to activated carbon: isotherm and breakthrough curves. **J. of the Chinese Inst. Of Chem. Eng.** **30**, p. 507 – 514, 1999.

CHUN, H. and Yizhong, W. Descolorization and Biodegradability of Photocatalytic Treated Azo Dyes and Wool Textile Wastewater. **Chemosphere**, **39**, p. 2107 – 2115, 1999.

COSTA, F. C.; RODRIGUES, F. A. M.; FONTOURA, G. A. T.; CAMPOS, J. C.; SANT`ANNA Jr., G. L.; DEZOTTI, M. Tratamento do efluente de uma indústria química pelo processo de lodos ativado convencional e combinado com carvão ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental** n.4, vol. 8, p.274 – 284, out/dez 2003.

DALLAGO, R. M.; SMANIOTTO, A.; OLIVEIRA, L. C. A. Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes por meio aquoso. **Química Nova**, n.3, v.28, p. 433 – 437, 2005.

DALMACIJA, B.; KARLOVIC, E.; TAMAS, Z. Purification of High-Salinity Wastewater by Activated Sludge Process. **Water Research**, n.2, v.30, p. 295 – 298, 1996.

DAVIS, J. Improving Dye Wastewater Treatment. **American Dyestuff Reporter**, p. 198 – 204, 1991.

DUENSER, H. Textile Wastewater Treatment. **Indian Textile Journal**, 102, p.80-96, 1992.

DYSTAR (Alemanha). **Astrazon® Corantes para fibras de poliacrilonitrila**. Alemanha: catálogo, 2003.

FEWSON, C. A. Biodegradation of xenobiotic and other persistent compounds: the causes of recalcitrance. **Trends in Biotechnology**, v. 6, p. 148-153, 1998.

FITZ, G., S.W. and BISHOP, P.L. Stage Anaerobic – Aerobic Treatment of Sulfonated Azo Dyes. **Journal Environmental Science and Engineering & Toxic and Hazardous Substance Control**, n.30 (6), p. 1251 – 1276, 1995.

FONSECA, J. A. V.; BARBOSA, M.; PINTO, N. O.; SALAN, R. S.; SOBRINHO, G. D.; BRITO, N. N.; CONEGLIAN, C. M. R.; TONSO, S.; PELEGRINI, R. Tratamento de Efluentes de Indústria de Papel e Celulose. **III Fórum de Estudos Contábeis**, 2003.

FRANK, B. Água é abundante. O que falta é gerenciamento. **Revista Unimed**, p. 22, jul/ago 2004.

FREIRE, S.R.; PELEGRINE R.; KUBOTA, L. T.; DURÁN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas Tendências para o Tratamento de Resíduos Industriais Contendo Espécies Organocloradas. **Química Nova** n.23 (4), p. 4 – 7, 2000.

GROSS, R.; SCHÄFER, T; JANITZA, J; TRAUTER, J. Nanofiltração de Efluentes de Tinturaria. **Revista Química Têxtil**, n.56, p.44 – 54, 1999.

GUILLÉN, J. G. **Fibras Textiles. Propiedades y Descripción (curso básico)**. Barcelona: UPC, 1991. 280 p.

HASSEMER, M. E. N.; SENS, M. L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil por processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia Sanitária e Ambiental, n.1 e n.2**, v. 7, p.30, jan/mar e abr/jun 2002.

HOFFMANN, M.; MARTIN, S. T.; CHOI, W.; BAHNEMANN, W. **Chem. Ver. 95**, p. 69 – 82, 1995.

INCE, N. H. **Wat. Res.**, **33**, p. 1080 – 1089, 1999.

KOH, J.; SHIM, G. and KIM, J. **Coloration Technology**, **117**, p.156-160, 2001a.

KOH, J.; SHIM, G. and KIM, J.; pH Control for dyeing polyamide in a reused acid dyebath. **Coloration Technology**, **117**, p. 337-341, 2001b.

KUNZ, A.; PERALTA Z., P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N.; Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. **Química Nova, n.1**, vol. 25, 2001.

LAGUNAS, F. G.; LIS, M. J. Tratamento de efluentes na indústria têxtil algodoeira. **Revista Química Têxtil n.50**, p. 6 – 15, 1998.

LINSEBIGLER, A. A. L.; Guangquan, L.; Yates, Jr. T. **Chem. Ver. 95**, p. 735 – 741, 1995.

LUCAS, M.; JEREMIAS, P. F. P. T.; PERALTA-ZAMORA, P.; VIEIRA, G. A.; BARCELLOS, I. O. Reutilização de solução de corante básico azul astrazon FGGL, pós-tratamento, em tingimentos de fibras acrílicas. **Anais XIII Encontro de Química da Região Sul**, Florianópolis, 2005.

MALIK, P.K.; SANYAL, S.K. **Separation and Purification Technology**, **36**, p. 167 – 175, 2004.

MEIDL, J. A. Responding to Changing Conditions: How Powdered Activated Carbon Systems Can Provide the Operational Flexibility Necessary to Treat Contaminated Groundwater and Industrial Wastes. **Carbon, n.9**, v.35, p. 1207 – 1216, 1997.

MENEGAZZI, J. B. **Oxidação eletroquímica de corantes e efluentes têxteis**. 1997. 34f., Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 1997.

MENEZES, J. C. S. S.; SCHNEIDER, I. A. H. Estudo de processos de tratamento de efluentes de lavanderias industriais. **Revista Química Têxtil, n. 79**, p.20, jun. 2005.

MIN, B.G. e Kim, C.W. Sorption Properties of the composite Fibers Made PAN and chitosan. **Journal of applied Polymer Science 84**, p. 2505 - 2511, 2002.

MOORE, M.A.; Money, A.; Belinda O. Meio Ambiente na Indústria Têxtil - Um exame de Consciência. **Revista Química Têxtil, n.70**, p. 5 - 14, 2003.

MURUGANANDHAM, M. SWAMINATHAN, M. **Solar Energy Materials and Solar Cells, 81**, p. 439 – 457, 2004.

MURUGANANDHAM, M.; SWAMINATHAN, M. **Dyes and Pigments, 62**, p. 269 – 275, 2004.

NEAMTU, M.; YEDILER, A.; SIMINICEANU, I.; KETTRUP, A. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 161**, p. 87 – 93, 2003.

NIGAM, P.; MARCHANT, R. **Biotech. Lett.**, 1995.

OLIVEIRA, A. D. **Tratamento de efluentes industriais texteis pelo processo de lodos ativados**. 1996. 73f., Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 1996.

PELEGRINI, R.; PERALTA-ZAMORA, P.; ANDRADE, A. R.; REYES, J.; DURÁN, N. Electrochemically assisted photocatalytic degradation of reactive dyes. **Applied Catalysis B: Environmental** n.22, p. 83 – 90, 1999.

PEPIÓ, M.; GUTIÉRREZ, M.C.; CRESPI, M. Optimización de la Decoloración electroquímica de efluentes textiles. **Revista de La Indústria Textil**, 396, p. 72 – 78, 2002.

PERALTA - ZAMORA, P.; TIBURTIUS, E. R. L.; MORAES, S. G.; DURAN, N. Aplicação da biotecnologia na Indústria Têxtil. **Anais do Seminário Internacional**, maio-2001, Brazil.

PERALTA-ZAMORA, P.; KUNZ, A.; MORAES, S. G.; PELEGRINI, R.; MOLEIRO, P. C.; REYES, J.; DURÁN, N. Degradation of reactive dyes I. A comparative study of ozonation, enzymatic and photochemical processes. **Chemosphere**, n.4, v. 38, p. 835 – 852, 1999.

PERALTA-ZAMORA, P.; LIMA, L. Remediação de resíduos têxteis aquosos por processos fotoeletroquímicos. **Revista Química Têxtil**, n.78, p.58, mar. 2005.

PERES, C.S.; ABRAHÃO, A.J. Características e Sistemas de Tratamento de Águas Residuais das Indústrias Têxteis. **Revista Química Têxtil**, n.52, p. 22 – 39, 1998.

PERES-FOLCH, J.; VALLDEPERAS, J.; LIS, M. J.; NAVARRO, J. A.; CONDE, I. Redução eletroquímica de corantes sulfurosos. Vias de processo. **Revista Química Têxtil**, n. 83, p.22, jun. 2006.

PERUCH, M. G. B.; MOREIRA, R. F. P.; **Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. VII**, p. 580 – 585, 1996.

QUADROS, S. S. **Tratamento e reutilização de efluentes têxteis gerados nos tingimentos de tecidos de algodão**. 2005. 110 f., Dissertação (Mestrado em Química) – Centro de Ciências Exatas e Naturais, Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2005.

RATHI, A.; RAJOR, K.; SHARMA, R. K. **Journal of Hazardous Materials**, **102**, p. 231 – 241, 2003.

ROSOLEN, L. A.; MONTEIRO, R. T. R.; DELLAMATRICE, P. M.; KAMIDA, H. M. Biodegradação de efluente têxtil e nove corantes técnicos utilizando fungos basidiomicetos. **Revista Química Têxtil**, **n.76**, p. 44, set. 2004.

SCHÜTZ Jr. L. **Resíduos de tingimentos** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por < insumos@acrilan.com.br > em 23 de outubro de 2006.

SEDLAK, D. L.; ANDREN, A. W. **Environ. Sci. Technol.**, **25**, p. 1419 – 1425, 1991.
SHER, M. I.; ARBUCKLE, W. B.; SHEN, Z. Oxygen Uptake Rate Inibition with PACT TM Studge. **Journal of Hazardous Material**, v. B73, p. 129 – 142, 2000.

SHREVE, R. M.; BRINK Jr., J. A. **Indústria de processos químicos**. 4ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1977.

SOCIETY OF DYERS AND COLOURISTS AND AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS. **Colour Index Intenational**. USA, 3 ed.

SOUZA, C. R. L.; PERALTA-ZAMORA, P. Degradação de corantes reativos pelo sistema ferro metálico/peróxido de hidrogênio. **Química Nova**, **n.2**, v.28, p. 226 – 228, 2005.

SOUZA, K. V.; OLIVEIRA, A. R.; OLIVEIRA, M. A. C.; PERALTA-ZAMORA, P. Degradação de corantes reativos por processos Fenton envolvendo ferro imobilizado. **Revista Química Têxtil**, **n.81**, p.28, dez 2005.

SOUZA, K. V.; TIBURTIUS, E. L.; WYPYCH, F.; MORAES, S. G.; CAMARGO, F. A.; DURÁN, N.; PERALTA, Z., P. Degradação de Soluções Aquosas de Corantes Reativos Utilizando-se Processo de Co-precipitação seguido de Fotocatálise Heterogênea. **Revista Química Têxtil**, **n. 76**, p. 58, set, 2004.

SPERLING, M. V. **Lodos ativados**. v. 4, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997, 415p.

TAUCHERT, E.; PERALTA-ZAMORA, P. Avaliação de Processos Fotoeletroquímicos no Tratamento de Líquidos Lixiviados de Aterros Sanitários. **Eng. Sanit. Ambient.**, vol. 9, n. 3, P. 197, jul/set, 2004.

TOLEDO, R. A. S. 3R-Reduzir, Reciclar, Reaproveitar. **Revista Química Têxtil**, n74, p. 8 – 14, 2004.

TONG, Z.; QINGGXIANG, Z.; HUI, H.; QIN, L.; Yi, Z. Kinetic study the removal of toxic phenol and chorophenol from wasterwater by horsehadis peroxidase. **Chemosphere**, 37, p. 1571 – 1579, 1998.

TWARDOKUS, R. G.; SOUZA, A. A. U.; SOUZA, S. M. A. G. U. Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil. **Revista Química Têxtil**, n.79, p. 32, jun. 2005.

TZANOV, T. Effecto of Temperature and Bath Composition on the Dyeing of Cotton With Catalase Treated Bleaching Effluent. **Coloration Technology**, p. 166 - 170, 2001.

UYGUR, A. An overview of oxidative and photooxidative decolorisation treatments of textiles waster. **JSDC**, 13, p. 211 – 217, 2002.

UYGUR, A., Reuse of Decolourised Wastewater of Azo Dyes Containing Dichlorotriazinyl reactive groups Using an Advanced Oxidation Method. **Coloration Technology**, 117, p. 111 – 113, 2001.

WADA, S. ICHIKAWA, H.; TATSUMI, K. Removal of phenols from wasterwater by soluble immobilized tyrosinase. **Biotechnol. Bioeng.** 42, p. 854 – 859, 1993.

YUZHU, F.; VIRARAGHAVAN, T. Fungal decolorization of dye wastewaters: a review. **Bioresource Technology**, v. 79, p. 251-262, 2001.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)