



PRÓ-REITORIA ACADÊMICA
COORDENAÇÃO GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AMBIENTAIS

Andréa Fernanda de Santana Costa

**Aplicação de tratamentos
biológico e físico-químico em efluentes de
lavanderia e tinturaria industriais do município
de Toritama no estado de Pernambuco**

Recife

2008

Andréa Fernanda de Santana Costa

**Aplicação de tratamentos
biológico e físico-químico em efluentes de
lavanderia e tinturaria industriais do município
de Toritama no estado de Pernambuco**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento em Processos Ambientais da Universidade Católica de Pernambuco como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em **Desenvolvimento de Processos Ambientais**.

Área de Concentração: Desenvolvimento em Processos Ambientais

Linha de Pesquisa: Tecnologia e Meio Ambiente

Orientadora: Prof. Dra. Alexandra Amorim Salgueiro

Co-orientadora: Prof. Dra. Clarissa Daisy da C. Albuquerque

Recife

2008

C837a

Costa, Andréa Fernanda de Santana

Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama no estado de Pernambuco / Andréa Fernanda de Santana Costa ; orientador Alexandra Amorim Salgueiro ; co-orientador Clarissa Daisy da C. Albuquerque
87 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2008.

1. Águas residuais - Purificação. 2. Resíduos industriais. Título.

CDU 628.5

Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama no estado de Pernambuco

Andréa Fernanda de Santana Costa

Prof. Dra. Alexandra Amorim Salgueiro
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP
(Orientadora)

Prof. Dra. Clarissa Daisy da C. Albuquerque
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP
(Co-orientadora)

Examinadores:

Prof. Dra. Beatriz Suzana Ovruski de Ceballos
Universidade Estadual da Paraíba

Prof. Dra. Christine Lamanha Luna
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Suplentes:

Prof. Dra. Ana Lúcia Figueiredo Porto
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

“A pessoa entusiasmada acredita na sua capacidade de transformar as coisas, de fazer dar certo,
acredita em si mesmo e nos outros.

Acredita na força que as pessoas têm de transformar o mundo e a própria realidade.

A melhor maneira de ser entusiasmado é agir entusiasticamente.”

Sonia Jordão

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e da sabedoria;

À Prof^ª. Alexandra e à Prof^ª. Clarissa que foram mestras e amigas nessa minha jornada;

Aos docentes do mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais;

À equipe do laboratório de Química: Chico, Chicó, Genival, Giovani, Dilma e em especial ao Prof^º. Sérgio Paiva, que disponibilizou parte do seu tempo e especialmente, sua experiência na área;

À equipe técnica do Núcleo de Pesquisa em Ciências Ambientais – NPCIAMB;

Ao Sr. Edílson Tavares, proprietário da lavanderia Mamute LTDA, localizada em Toritama, que cedeu as amostras de efluente para os estudos;

A SUAPE Têxtil - PE, que cedeu os corantes e permitiu que a determinação de cor fosse realizada no laboratório da fábrica;

Aos meus amigos de turma no Mestrado;

Em especial, à minha família: meu pai, minha mãe, meu esposo, minhas filhas: Lívia e Laura e minhas irmãs que conheceram de perto a minha luta para a conclusão desse Mestrado.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	i
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE SÍMBOLOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
CAPÍTULO 1	1
1.1 INTRODUÇÃO	2
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 Objetivo geral	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 REVISÃO DA LITERATURA	5
1.3.1 Indústria têxtil	5
1.3.1.1 Pólo de confecções de Pernambuco	6
1.3.1.2 Beneficiamento de jeans	7
1.3.2 Corantes têxteis	9
1.3.3 Efluentes têxteis	14
1.3.3.1 Tratamento de efluente têxtil	16
1.3.3.2 Tratamento biológico	17
1.3.3.3 Tratamento físico-químico	20
1.3.4 Parâmetros de controle de qualidade de água	23
1.3.4.1 pH	23
1.3.4.2 Condutividade	24
1.3.4.3 Turbidez	24
1.3.4.4 Cor	25
1.3.5 Planejamento Fatorial	26
1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
CAPÍTULO 2	42
TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES DE LAVANDERIAS E TINTURARIAS INDUSTRIAIS DE TORITAMA, PERNAMBUCO	43

2.1 RESUMO	44
2.2 INTRODUÇÃO	45
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS	47
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
2.5 AGRADECIMENTOS	56
2.6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	57
2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
CAPÍTULO 3	60
REMOÇÃO DE COR E REDUÇÃO DE TURBIDEZ EM EFLUENTE DE LAVANDERIA E TINTURARIA INDUSTRIAIS ATRAVÉS DE TRATAMENTOS BIOLÓGICO E FÍSICO-QUÍMICO	61
3.1 RESUMO	62
3.2 ABSTRACT	63
3.3 INTRODUÇÃO	64
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	68
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
3.5.1 Caracterização do efluente	70
3.5.2. Tratamento Biológico	72
3.5.3 Tratamento físico-químico	75
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
CAPÍTULO 4	86
CONCLUSÕES GERAIS	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.3.1.1.1	Localização do pólo de confecções do agreste pernambucano.....	6
Figura 1.3.3.1	Etapas de geração de efluentes na indústria têxtil	15
Figura 2.4.1	Atividade oxidase na presença de ácido gálico do consórcio microbiano obtido a partir de efluente de lavanderia e tinturaria industriais	50
Figura 2.4.2	Curva de crescimento do consórcio microbiano obtido a partir de efluente de lavanderia e tinturaria industriais	52
Figura 2.4.3	Diagramas de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores a concentração do consórcio, a agitação e a aeração e como variável resposta a cor	54
Figura 2.4.4	Diagramas de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores a concentração do consórcio, a agitação e a aeração e como variável resposta a turbidez	55
Figura 3.5.1.1	Efluente de lavanderia e tinturaria industrial de Toritama	71
Figura 3.5.2.1	Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores a concentração do consórcio microbiano e a agitação e, como variável resposta a cor aparente do efluente	73
Figura 3.5.2.2	Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores a concentração do consórcio microbiano e a agitação e, como variável resposta a turbidez do efluente	74
Figura 3.5.3.1	Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores a concentração do consórcio, a agitação e a aeração e, como variável resposta a cor aparente do efluente	77
Figura 3.5.3.2	Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores a concentração do consórcio microbiano e a agitação e, como variável resposta a turbidez do efluente	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.3.1	Condições experimentais do planejamento fatorial	48
Tabela 2.4.1	Caracterização de efluente de lavanderia e tinturaria industriais	49
Tabela 2.4.2	Conteúdo microbiológico de efluente de lavanderia e tinturaria industriais	50
Tabela 2.4.3	Descoloração de corantes por consórcio microbiano obtido a partir de efluente de lavanderia e tinturaria industriais	51
Tabela 2.4.4	Cor e turbidez nas condições experimentais do planejamento fatorial completo 2^3	53
Tabela 3.5.2.1	Valores dos fatores nos níveis -1 e +1 e no ponto central	72
Tabela 3.5.2.2	Cor e turbidez nas condições experimentais do planejamento fatorial completo 2^2	73
Tabela 3.5.3.1	Valores dos fatores nos níveis -1 e +1 e no ponto central	75
Tabela 3.5.3.2	Cor, turbidez nas condições experimentais do planejamento 2^3	76

LISTA DE ABREVIATURAS

DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
COT	Carbono Orgânico Total
THM	Trihalometanos
RSM	“Response Surface Methodology”
POA	Processos Oxidativos Avançados
UV	Ultravioleta

RESUMO

Os corantes presentes em efluentes industriais são poluentes recalcitrantes que apresentam toxicidade aos seres vivos e são de difícil remoção por tratamentos convencionais. O processo de beneficiamento de jeans utiliza grande volume de água e produtos químicos diversos, incluindo os corantes sintéticos. O presente estudo investigou a influência de fatores biológicos e físico-químicos na remoção de cor e turbidez em tratamentos de efluentes de lavanderia e tinturaria industriais. Planejamentos fatoriais com ponto central foram empregados em biodegradações e em tratamentos por coagulação-floculação, utilizando delineamento experimental com análise de interação entre os fatores investigados. As variáveis independentes foram consórcio microbiano, aeração, agitação, concentrações de tanino e do polímero auxiliar de floculação (POLICAP - 32) sobre as variáveis respostas, cor e turbidez. O consórcio microbiano com capacidade de descolorir corantes foi obtido a partir do efluente na ausência de nutrientes, a 28 - 30 °C, sob agitação de 150 rpm e aeração de 1 vvm. No tratamento biológico, a aeração e o aumento da agitação desfavoreceram significativamente a descoloração; a maior remoção de cor foi obtida no ponto central do planejamento - concentração do consórcio a 1,25 % v/v e agitação de 50 rpm. Nessa condição experimental, a cor média atingiu aproximadamente 138 mgPt/L, correspondendo a uma descoloração do efluente não tratado de cerca de 90 %. No tratamento físico-químico, o aumento da concentração de tanino e a interação entre as concentrações de tanino e do polímero favoreceram significativamente a descoloração do efluente. A maior remoção de cor e redução de turbidez foram obtidas no ponto central do planejamento - concentração do tanino 0,3 g/mL, polímero auxiliar de floculação 15 ppm em pH 7,5 durante 20 minutos. Nessa condição experimental, a cor média foi aproximadamente 50 mgPt/L e a turbidez média, aproximadamente 4 UNT. A descoloração atingiu 96 % e a redução de turbidez, 79 % do efluente não tratado no tratamento físico-químico.

Palavras-chave: efluente industrial, lavanderia e tinturaria, consórcio microbiano, agentes coagulantes, descoloração, planejamento fatorial.

ABSTRACT

The industrial effluents with dyes are recalcitrant pollutants exhibiting toxicity to the living being and are difficult to remove by conventional processes. The treatment process of jeans uses large volumes of water and various chemicals, including synthetic dyes. This study investigated the influence of biological and physico-chemical factors in the removal of color and turbidity in the effluent treatment from laundry and dyeing industries. Factorial designs with central point were used in biodegradation and coagulation-flocculation treatments using analysis of interactions between the investigated factors. The independent variables were microbial consortium, aeration, agitation, tannin and the flocculation polymer (POLICAP - 32) concentrations, whereas the response variables were color and turbidity. The microbial consortium with capacity of dye decolorization was obtained from the effluent in the absence of nutrients at 28 to 30 ° C, aeration of 1 vvm under agitation of 150 rpm. The biological treatment of the effluent occurred during 48 hours. In the experimental design of the biodegradation, the aeration and the increase of the agitation unfavored significantly the decolorization. The higher removal of color was obtained from the central point of the factorial design – 1.25 % v/v consortium concentration and 50 rpm agitation. In this condition, the color average reached approximately 138 mgPt/L, corresponding to a decolorization of the untreated effluent of approximately 90 %. In the physico-chemical treatment, the increase of the tannin concentration and the interactions between tannin and polymer concentrations significantly favored the decolorization of the effluent. The higher removal of color and further reduction of turbidity were obtained at the central point of the factorial design – 0.3 g/mL tannin concentration, 15 ppm polymer flocculation at pH 7.5 for 20 minutes. In this experimental condition, the average color was approximately 50 mgPt/L and the average turbidity, approximately 4 NTU. The decolorization reached 96 % and the turbidity reduction, 79 % of the untreated effluent in the physical-chemical treatment.

Keywords: effluent from industrial laundry and dyeing, biological treatment, physical-chemical treatment, decolorization, factorial design.

CAPÍTULO 1

1.1 Introdução

O crescimento industrial tem contribuído para o desenvolvimento econômico e social. Nas últimas décadas, os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais críticos e freqüentes, principalmente devido ao aumento das atividades industriais que vem acontecendo de forma desordenada, gerando alterações na qualidade do solo, ar e água pela liberação de poluentes (COTTA, REZENDE, PIOVANI, 2006).

Na região Nordeste, a expansão das indústrias têxteis no segmento de vestuário desenvolveu no agreste pernambucano, um grande pólo produtor de confecções nas cidades de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama. No município de Toritama, especialmente, o beneficiamento de jeans concentra um importante pólo de lavanderias e tinturarias industriais (SEBRAE/PE, 2003).

As lavanderias e tinturarias industriais também foram responsáveis pela degradação ambiental, principalmente, do rio Capibaribe/PE, que recebe os resíduos químicos provenientes do processo de beneficiamento de peças em jeans. O volume de efluente varia entre 50.000 a 300.000 litros de águas residuárias por dia. Essa poluição facilmente visível causa alterações no ciclo biológico principalmente nos processos de fotossíntese além da presença de corantes e subprodutos que são carcinogênicos e ou mutagênicos (KUNZ et al., 2002; RECICLAGEM, 2006).

O rio Capibaribe recebe descargas distintas de poluentes com o deflúvio superficial urbano, águas residuárias agrícolas, efluentes domésticos e industriais, entre os quais se destacam os das indústrias têxteis de beneficiamento de confecções de jeans no Pólo de Confecções do Agreste.

A situação ficou agravada com a crise de abastecimento d'água da região devido ao racionamento imposto ao município de Toritama de quase nove dias sem água, em função da extrema escassez da disponibilidade hídrica na região, conforme diagnóstico realizado pelo órgão ambiental responsável - CPRH. O grande volume de água utilizado nas lavanderias e tinturarias industriais para o beneficiamento de jeans nesse Município são provenientes de três fontes de abastecimento: 82 % adquirida mediante a compra de veículos transportadores de água (carros-pipa); 11,5 %, retirada do rio Capibaribe e 6,5 %, de poços. A necessidade da reutilização da água nas lavanderias e tinturarias industriais é uma estratégia importante para o desenvolvimento econômico sustentável da região (CPRH, 2005).

Desenvolver tecnologias que permitam não somente a remoção mas também a completa mineralização das substâncias contaminantes no tratamento de efluente são alternativas a serem investigadas. Processos tecnológicos para superar as dificuldades no tratamento dessas águas residuárias podem advir da utilização de agentes coagulantes em tratamento físico-químico além da implementação de tratamentos biológicos, visando o aumento da eficiência na remoção de compostos recalcitrantes (CAVADID, ZAIA, FORESTI, 1999; CAULIBAL, GOURENE, AGATHOS, 2003; CHUNG, TSENG, JUANG, 2003).

Utilizando técnicas estatísticas de planejamento experimental, o número de ensaios é reduzido sem prejuízo da qualidade da informação, as variáveis são investigadas simultaneamente, a confiabilidade dos resultados é determinada e o processo estudado é representado por expressões matemáticas. Um planejamento adequado permite o aprimoramento de processos, com redução da variabilidade nos resultados e dos custos envolvidos, visando qualidade, produtividade e competitividade (BARROS-NETO, SCARMINIO, BRUNS, 2005).

Considerando que há liberação de grande quantidade de águas residuárias e a baixa eficiência dos processos de tratamentos de efluentes atualmente aplicados nas tinturarias e lavanderias industriais do Pólo Têxtil de Pernambuco, somadas às rígidas exigências dos órgãos ambientais quanto à disposição desses rejeitos e às condições precárias no abastecimento de água, o reaproveitamento desses efluentes após tratamentos físico-químicos e biológicos contribui na racionalização da água e, sob o aspecto tecnológico, na prevenção da poluição na região Nordeste, minimizando os impactos ambientais de substâncias recalcitrantes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Investigar a aplicação de coagulação-floculação no tratamento físico-químico e de consórcio microbiano no tratamento biológico de efluente de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama no estado de Pernambuco.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar características físico-químicas (pH, cor, turbidez, demanda química de oxigênio - DQO) e biológicas (contagens de microrganismos) do efluente de lavanderia e tinturaria industriais;
- diminuir a cor e a turbidez desse efluente;
- biodegradar o efluente por consórcio microbiano;
- tratar o efluente por coagulação-floculação com tanino e polímero auxiliar de floculação;
- investigar efeitos de fatores biológicos e físico-químicos nos tratamentos do efluente.

1.3 REVISÃO DA LITERATURA

1.3.1 Indústria têxtil

O setor têxtil na área industrial é um dos mais antigos do mundo, sendo um dos precursores ao período da Revolução Industrial no final do século XVIII. Com o desenvolvimento de tecnologia química, mudanças significativas ocorreram, tanto no âmbito produtivo como comercial. Isso foi devido principalmente, à incorporação de novos métodos de produção e novas tecnologias no processo produtivo, ao desenvolvimento de novos produtos de fibras sintéticas e à segmentação da cadeia além do aumento da concorrência.

O Brasil iniciou o processo de industrialização têxtil no final do século XIX. Esse ramo teve um importante papel no desenvolvimento da política industrial nacional, sendo atualmente composto em sua maioria por empresas de pequeno e médio porte. Nesse setor, as empresas localizam-se por todo o país, destacando as regiões sul (Santa Catarina), sudeste (São Paulo e Minas Gerais) e nordeste (Pernambuco, Bahia e Ceará) (LEÃO et al., 1999; SEBRAE/SP, 2003). O Brasil é um importante produtor de artigos têxteis, ocupando a sétima posição na produção de fios e tecidos planos e a terceira na produção de malha (MONTEIRO, SANTOS, 2002).

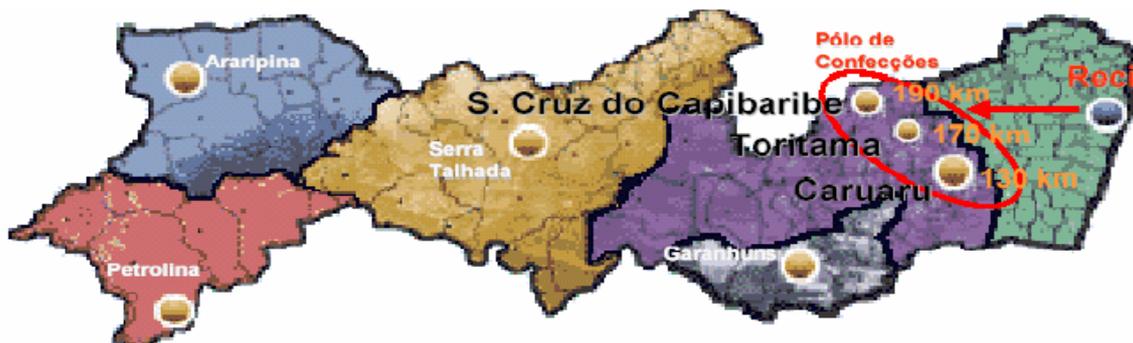
Na década de 1920, existiam em Pernambuco, 95 unidades representando o setor têxtil, que ocupava o segundo lugar na produção industrial do Estado. Nas décadas subsequentes, esse setor entrou em crise e no ano de 1960, existiam 97 fábricas de tecidos instaladas em todo o Nordeste, sendo 32 delas situadas em Pernambuco. Antes de 1970, a situação começou a mudar devido à praga do bicudo que dizimou o algodão nordestino e conseqüentemente, a indústria têxtil no Nordeste (ECONOMIA, 2007).

Segundo Oliveira e Souza (2003), a indústria têxtil apresenta valor econômico e social, sendo o sétimo parque industrial do mundo, absorve expressiva quantidade de mão-de-obra e gera divisas. Dentre as 5.000 indústrias têxteis instaladas no Brasil, 11 % são de grande porte, 21 %, de pequeno porte e 68 %, micro-empresas. O setor têxtil brasileiro ocupa o quinto lugar em empregos diretos e o sexto, em faturamento. A expansão de indústrias têxteis no segmento de vestuário desenvolveu no agreste pernambucano um grande pólo produtor de confecções.

1.3.1.1 Pólo de confecções de Pernambuco

O pólo de confecções de Pernambuco está localizado no Agreste (figura 1.3.1.1.1). É formado pelos municípios de Santa Cruz do Capibaribe, Toritama e Caruaru. Esses municípios concentram mais de 60 % dos estabelecimentos industriais do setor de confecções, respondendo por 15 % da produção de vestuário do país. Foram responsáveis pelo crescimento de 42 % no PIB da cidade de Toritama no ano de 2004, superando a média nacional e a do nordeste. Essas cidades representam um grande centro econômico e social, importante para o estado e para a região nordeste (ESPECIAL, 2004; IBGE, 2007; SEBRAE/PE, 2003).

Há cerca de 30 anos, as indústrias de confecção iniciaram suas atividades com o reaproveitamento dos retalhos de tecidos de jeans e de malhas trazidos de São Paulo nos municípios de Toritama e Santa Cruz do Capibaribe, respectivamente. Essas atividades do setor têxtil foram distribuídas em confecção de roupas e ou no seu beneficiamento. Inspirada na moda “jeanswear”. Toritama é considerada a capital do jeans, sendo o maior produtor da região norte-nordeste. Abastece o mercado nacional e países da América Latina, com uma produção média de 200 mil peças por semana e 2 milhões por mês, entretanto esses números variam em função da época do ano. O beneficiamento de jeans está concentrado no município de Toritama. Cerca de 80 indústrias e tinturarias industriais geram em média 1.600 postos de trabalho e garantem remunerações superiores à média salarial do estado, possibilitando o aumento da arrecadação de impostos, o desenvolvimento do comércio e o incentivo ao turismo local (RECICLAGEM, 2006).



Fonte: SEBRAE/PE, 2003

Figura 1.3.1.1.1 Localização do pólo de confecções do Agreste pernambucano

No pólo de confecções de Pernambuco, as lavanderias e tinturarias industriais beneficiam materiais têxteis, alterando as características de cor, toque e maciez de tecidos e confecções de jeans. O processo de beneficiamento desse tecido de algodão engomado e tingido com o corante índigo proporciona o aspecto envelhecido, leve, confortável e moderno (ARAÚJO, ROCHA, 1989; FAGHALI, DWYER, 2001).

Essa atividade demanda um grande consumo de água e, conseqüentemente, gera grandes volumes de efluentes, com carga poluidora que depende do processo de beneficiamento e do número de peças de roupas nas lavanderias e tinturarias industriais. Diferentes volumes de água de três origens distintas abastecem às lavanderias do município de Toritama. O rio Capibaribe é a fonte de água para 4 empresas, atingindo a vazão máxima de 15.750 m³/mês enquanto 17 empresas retiram 8.860 m³/mês de água do subsolo (poços). A terceira fonte de abastecimento é utilizada pela maioria das empresas (41), são os veículos transportadores de água que fornecem 112.698 m³/mês. Várias empresas utilizam mais de uma fonte de abastecimento de água (CPRH, 2005).

As empresas de beneficiamento têxtil utilizam cerca de 117 L de água para cada quilo de tecido processado. O consumo de água das lavanderias e tinturarias varia em torno de 40 L de água por peça beneficiada, gerando de 50.000 a 300.000 L de águas residuárias por dia e cerca de 1.000.000 m³ por ano que são despejadas no rio Capibaribe, de caráter intermitente localizado na região do semi-árido pernambucano (RECICLAGEM, 2006).

O reuso da água dentro da indústria é necessário devido a sua escassez na região do agreste. Processos físicos e químicos estão sendo empregados no tratamento dos efluentes que possibilitam sua reutilização, recuperando-se 50 a 60 % da água para os processos de beneficiamento de confecções. O percentual restante de água residuária é tratado e lançado no rio Capibaribe ou na rede coletora pluvial com menor carga poluidora (SANTOS, BRAYNER, FLORÊNCIO, 2005).

Nos processos descontínuos de beneficiamento de jeans (lavagem, estonagem, amaciamento, tingimento e branqueamento) são gerados efluentes de características variadas. Esses efluentes possuem uma carga poluidora elevada com elevados teores de compostos orgânicos, como amido, gomas, graxas, pectina, álcoois, ácido acético, corantes, sabões e detergentes, além da carga inorgânica, constituída por hidróxido de sódio, carbonatos, sulfetos e cloretos. Também possuem cor intensa e alta salinidade, são tóxicos à vida aquática e reduzem a quantidade de oxigênio dissolvido, modificando as propriedades físicas, químicas e biológicas dos corpos aquáticos receptores (BALAN, 2001).

1.3.1.2 Beneficiamento de jeans

O desafio do mercado competitivo na indústria têxtil é a busca por tecnologia sustentável que garanta a qualidade do produto final, atendendo às exigências constantes da moda, aliada à segurança e preservação do meio ambiente.

Segundo Faghali e Dwyer (2001), esse segmento se caracteriza por alto custo de equipamentos e grande volume de água. É composto por médias empresas ou empresas integradas que realizam também o beneficiamento das confecções (SEBRAE/PE, 2003).

O beneficiamento têxtil apresenta três tipos de atividades com características bem definidas. O beneficiamento primário tem o objetivo de deixar os materiais têxteis adequados às etapas subseqüentes, abrangendo os processos de engomagem, desengomagem, mercerização e alvejamento, dentre outros. O beneficiamento secundário subdivide-se em tingimento e estampagem que são processos capazes de tornar os materiais têxteis coloridos ou aplicados com desenhos. O beneficiamento terciário constitui o acabamento final e compreende processos de lavagem e amaciamento, visando conferir ao material têxtil brilho, melhor estabilidade dimensional e toque, além de características especiais (ANDRADE-FILHO, SANTOS, 1987),

O processo de beneficiamento de jeans pode incluir uma etapa final de acabamento que é fundamental para o sucesso comercial das confecções. O consumidor exige, além de padronagem e beleza da cor, algumas características básicas do produto, tal como elevado grau de fixação da cor em relação à luz, lavagem e transpiração após o uso prolongado (GUARATINI, ZANONI, 2000). Para garantir essas propriedades, as substâncias que conferem coloração à fibra devem apresentar alta afinidade à fibra, uniformidade na coloração, resistência a agentes desencadeadores do desbotamento e ainda, ser economicamente viável.

O jeans é um tecido de algodão constituído por fibra vegetal composta quase exclusivamente de celulose, armado na trama por fios de algodão branco e no urdume por fio de algodão tinto em índigo na superfície. Segundo Gorini (2000), o índigo não é o tipo de corante mais indicado para tingimento do algodão, sendo necessários vários tingimentos para obtenção de um azul intenso sobre a fibra. O aspecto envelhecido é outra característica marcante do tecido de jeans (denim) que é obtido pelo gradativo desbotamento durante cada lavagem.

O primeiro processo de envelhecimento do denim foi o “lixamento” que consistia em passar o tecido através de equipamentos providos de cilindros revestidos de material abrasivo. No final da década de 90, a moda começou a descobrir outras aparências para o jeans, surgindo confecções com o aspecto desbotado como o “délavé”, depois o “stone wash” e o super “stone wash”. Essas duas últimas técnicas lavam as peças já confeccionadas em máquinas com tambores rotativos na presença de pedras (em geral, pedras-pomes), provocando o desgaste superficial do tecido por abrasão.

Nos anos seguintes, as enzimas substituíram as pedras e as lavanderias cresceram em importância dentro da indústria de confecção de jeans. Apareceram as primeiras confecções jateadas com areia ou com produtos químicos, a “dirty” (amarelado com aspecto de sujo), a “used” (com aspecto de usada), proporcionando ao jeans diferença na densidade do tecido e nas lavagens (Holzmeister apud CASYTLHO, GARCIA, 2001).

As celulasas hidrolizam progressivamente a celulose da fibra do jeans e liberam o índigo. A atividade dessas enzimas é potencializada pela temperatura e pH do processo além de ações mecânicas de tombamento e abrasão no equipamento. As moléculas de índigo são pouco solúveis em água e se redepositam na trama onde são absorvidas. O ideal é que essa redeposição seja mínima para um bom contraste na roupa (EFEITOS, 200-).

Durante o banho de lavagem no setor têxtil, grande parte da cor é removida, causando problemas de contaminação para o meio ambiente. Segundo Guaratini e Zanoni (2000), aproximadamente 12 - 15 % da produção mundial de corantes é lançada para o meio-ambiente durante a síntese, processamento, aplicação ou remoção desses corantes. São lançados cerca de 1,20 toneladas por dia dessa classe de compostos para o meio-ambiente. A principal fonte dessa perda corresponde à incompleta fixação dos corantes (10 - 20 %) durante a etapa de tingimento das fibras têxteis ou à estonagem de jeans (SILVA, 2005).

A geração de efluentes no beneficiamento de confecções de jeans nas lavanderias e tinturarias industriais se inicia com a remoção da goma residual das peças pelo processo de desengomagem neutra que utiliza α -amilase dissolvida em água na presença de sabão ou desengomagem ácida com ácido acético (pH 4,5 - 5,0). As etapas de amaciamento e alvejamento são realizadas utilizando diversos produtos químicos dissolvidos em água. Durante o tingimento é introduzida uma solução corante diluída em água; na fixação, utiliza-se água contendo substâncias ácidas para garantir a cor após o tingimento; na etapa de lavagem, o excesso da solução corante é retirado com o auxílio de água; as duas últimas etapas de centrifugação e secagem, eliminam toda a água do tecido (SENAI, 1998; SILVA, 2005).

1.3.2 Corantes têxteis

Os corantes têxteis são compostos orgânicos cuja finalidade é conferir à fibra (substrato) uma determinada cor sob condições de processo pré-estabelecidas. São caracterizados por dois grupamentos principais: o grupo cromóforo, responsável pela cor e o grupo funcional que permite a fixação nas fibras do tecido. Impregnam as fibras de substrato têxtil, reagindo ou não com o material durante o processo de tingimento. Os componentes têxteis que controlam a fixação da molécula cromofórica ao substrato constituem a base da divisão dos corantes têxteis em categorias (ABIQIM, 2005; DURÁN, ESPÓSITO, 2000).

Corantes e pigmentos orgânicos podem ser definidos como substâncias intensamente coloridas com habilidade de absorver a luz visível na faixa de 400 a 700 nm que lhe conferem cor quando aplicadas a um material. Os corantes são retidos no material por adsorção física, formação de solução, retenção mecânica ou por ligações químicas

iônicas ou covalentes, enquanto que os pigmentos, por serem geralmente insolúveis em água, são usualmente aplicados por meio de veículos (excipientes líquidos) que pode ser o próprio substrato. Essas substâncias são intensamente empregadas para coloração de alimentos, cosméticos, plásticos e tecidos. São retidos por adsorção física, formação de soluções, sais ou complexos com metais, retenção mecânica ou por constituição de pontes químicas covalentes (ABIQUIM, 2005; SILVA, 2005).

O primeiro corante a ser conhecido pela humanidade foi o negro-de-fumo (“carbon black”). A produção de corantes inorgânicos sintéticos como o azul egípcio iniciou por volta de 3.000 a.C. Animais e plantas foram utilizados para extração de corantes naturais; o corante vermelho era obtido do molusco chamado Murex, um caramujo marinho; o índigo, da planta *Isatis tinctoria* e o avermelhado da madeira pau-brasil (ABIQUIM, 2005).

No fim do século XIX, fabricantes de corantes sintéticos estabeleceram-se na Alemanha, Inglaterra, França e Suíça para suprir as necessidades das indústrias de tecidos, couro e papel. No Brasil, a fabricação de corantes foi introduzida logo após a Primeira Guerra Mundial e segundo Guaratini e Zanoni (2000), a produção nacional atingiu 60 % da demanda no início do século XXI.

Milhões de compostos químicos coloridos têm sido sintetizados nos últimos cem anos, dos quais cerca de 10.000 são produzidos em escala industrial. Aproximadamente 100.000 diferentes corantes e pigmentos são disponibilizados comercialmente e cerca de 7×10^5 tons são usados anualmente na composição de tintas no mundo; dos quais 26.500 tons são consumidos no Brasil (KUNZ et al. 2002; NIGAM et al., 1996).

Os corantes modernos possuem grande estabilidade química e fotolítica, de forma a manter sua estrutura e cor, sendo mais recalcitrantes e de difícil tratamento (BALAN, MONTEIRO, 2001).

A classificação mais utilizada para corantes e pigmentos a seguir especificada, é adotada pelo Colour Index, publicada pela The Society of Dyers and Colurists de acordo com “Colour Index Generic Names” e “Colour Index Constitution Numbers” (ABIQUIM, 2005).

a) Corantes reativos - possuem como característica a alta solubilidade em água e o estabelecimento de uma ligação covalente com a hidroxila das fibras celulósicas, com os grupos amino, hidroxila e tiol das fibras protéicas e também com o grupo amino das poliaminas. Esses corantes conferem maior estabilidade na cor do tecido tingido quando comparada a outros tipos de corantes em que o processo de coloração se opera por de ligações de menor intensidade. Tais reações de impregnação à fibra ocorrem em meio alcalino na presença de clorotriazina e ou vinilsulfona. Nesses corantes, os cromóforos

geralmente são os grupamentos antraquinona e azo (ARAUJO, YOKOYAMA, TEIXEIRA, 2006; FERREIRA et al., 2001; GUARATINI, ZANONI, 2000).

b) Corantes básicos - são corantes catiônicos que interagem com as fibras, principalmente sintéticas, por interações eletrostáticas e dividem-se em diversas classes químicas: azo, antraquinona, triarilmetano, triazina, oxima, acridina e quinolina. Apresentam cores brilhantes e são empregados no tingimento de acrílico, seda e lã, e em menor quantidade em fibras naturais como algodão. São corantes solúveis e contribuem com a alcalinização das estações de tratamento de efluentes (ABIQUIM, 2005).

c) Corantes ácidos - o termo ácido corresponde a um grupo de corantes aniônicos, portadores de um a três grupos sulfônicos. São solúveis em água e têm vital importância no método de aplicação do corante em fibras protéicas (lã e seda) e em poliamida sintética. Esses corantes caracterizam-se pelas estruturas químicas baseadas nos grupos azo, antraquinona, triarilmetano, azina, xanteno, ketonimina, nitro e nitroso que fornecem uma ampla faixa de coloração e grau de fixação. No processo de tintura, o corante previamente neutralizado (solução contendo cloreto e principalmente acetato) liga-se através de interações envolvendo o par de elétrons, livres dos grupos amino e carboxilato das fibras na forma não protonada e contribui para o pH ácido do efluente com valores entre 3,5 e 6,0 (LIN, CHEN, 1997).

d) Corantes mordentes - são subclasses dos corantes ácidos (naturais ou sintéticos) que se combinam ao mesmo tempo com a fibra do substrato e uma substância mordente, geralmente um complexo metálico de alumínio, cromo, estanho ou ferro, formando uma ligação bastante forte. Os mordentes auxiliam a fixação do corante à fibra (SILVA, 2005).

e) Corantes diretos ou substantivos - são corantes solúveis em água que diferem dos corantes ácidos e básicos por apresentarem alta afinidade por fibras celulósicas (algodão, viscose), tingindo-as diretamente. O banho aquoso deve ser acrescido de um eletrólito para aumentar a afinidade pela fibra. A grande vantagem dessa classe de corantes é o alto grau de exaustão durante a aplicação e conseqüente diminuição do conteúdo de corante nas águas de rejeito (KUNZ, et al., 2002).

f) Corantes azóicos - são empregados em fibras celulósicas e caracterizados pela dupla ligação entre o grupo $-N=N-$ que se une ao benzeno e naftaleno. As cores desses corantes são determinadas pelas ligações azos associadas aos grupos cromóforos. São compostos coloridos insolúveis em água durante o processo de tingimento, utilizando um agente de

acoplamento que permite um alto padrão de fixação e resistência contra luz e umidade (ABRAHAM et al., 2003; FERREIRA, 2000).

h) Corantes de enxofre - é uma classe de corantes que após aplicação se caracteriza por compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos ($-S_n$). São altamente insolúveis em água e são aplicados após pré-redução em banho de ditionito de sódio que lhes confere a forma solúvel; são reoxidados subsequentemente sobre a fibra pelo contato com o ar. Esses compostos têm sido utilizados principalmente no tingimento de fibras celulósicas, conferindo cores preta, verde oliva, azul marinho, marrom, apresentando boa fixação. Produzem odor desagradável no efluente além de dificultarem a remoção final de cor do mesmo (FERREIRA, 2001).

i) Corantes pré-metalizados - tingem principalmente fibras protéicas e poliamida; são caracterizados pela presença de um grupo hidroxila na posição orto em relação ao cromóforo azo, permitindo a formação de complexos com íons metálicos. Nesse tingimento, há interação entre os metais e os grupos funcionais portadores de pares de elétrons livres, presentes em fibras protéicas. A desvantagem ecológica desse tipo de corante está associada ao alto conteúdo de metal presente nas águas de rejeito (GUARATINI, ZANONI, 1998).

j) Corantes branqueadores - são utilizados na formulação de detergentes para lavagem doméstica e nas indústrias de papel, tecido e plástico; são de origem orgânica, incolores ou pouco coloridos, absorvem na região próxima a luz ultravioleta e reemitem a maior parte da energia absorvida como luz fluorescente violeta-azulada na região visível entre 400 e 500 nm (ABIQUIM, 2005).

k) Corantes a cuba ou tina ("Vat Dyes") - têm sido utilizados para o tingimento de tecidos há pelo menos 5.000 anos, sendo responsáveis pela cor azul das calças jeans; encontram-se sob a forma de "glicoride indican" em muitas plantas tropicais entre as quais a *indigofera anil* (NEVES, 2007). Esses corantes apresentam alta solubilidade em água e baixa resistência à luz; conservam a sua tonalidade no tecido de algodão após muitas lavagens, perdendo apenas parte de sua intensidade de cor. Apresentam grupo cetônico ($C = O$) sendo essencialmente insolúveis em água e tornam-se solúveis na forma reduzida ($C - OH$) quando têm afinidade química pela fibra celulósica empregada na manufatura do tecido (PASCHOAL, TREMILIOSI-FILHO, 2005).

Os efluentes provenientes da indústria de corantes ou de processos envolvendo tingimento têxtil, devem ser convenientemente, antes de serem lançados nos corpos aquáticos receptores e atingirem reservatórios e estações de tratamento de água. Normas e regulamentações desenvolvidas ao longo dos anos para controle de rejeitos coloridos têm causado um grande impacto na indústria de corantes e seus correlatos uma vez que uma grande porcentagem das indústrias de beneficiamento têxtil são pequenas empresas (FORGIARINI, 2006; GUARATINI, ZANONI, 2000).

Adicionalmente, alguns problemas envolvendo as classes de corantes azóicos e reativos são preocupantes, considerando que são os mais utilizados no Brasil para a tintura de algodão e seus resíduos são altamente nocivos para qualquer organismo vivo (FORGIARINI, 2005).

Essa diversidade é justificada, uma vez que cada tipo de fibra a ser colorida requer corantes com características próprias e bem definidas. Juntamente com os corantes azóicos, os antraquinônicos e talocianinos e os corantes sintéticos derivados do alcatrão e do petróleo são amplamente utilizados (CHRISTIE, 2001; GUARATINI, ZANONI, 2000).

O descarte descontrolado de resíduos coloridos é uma causa de impacto ambiental, principalmente do ponto de vista estético, pois devido a sua própria natureza, os corantes são detectáveis visualmente mesmo em concentrações abaixo de 1 ppm. Esses corantes residuais ligados aos auxiliares químicos orgânicos e inorgânicos também são responsáveis pela cor, sólidos dissolvidos e valores elevados de DQO e de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) nos efluentes de tingimento (ZANONI, CARNEIRO, 2001; GUARATINI, ZANONI, 2000).

Diversos tratamentos podem ser eficientes na descoloração, mas é necessário avaliar a possível formação de produtos tóxicos durante o processo. Técnicas utilizando bioindicadores são úteis na avaliação dessa degradação. Os riscos toxicológicos e ecológicos dessas substâncias são baseados, principalmente, na estrutura química, solubilidade, possíveis interações, rota metabólica e avaliação da relação risco / custo / benefício. Os riscos toxicológicos de corantes sintéticos à saúde humana estão intrinsecamente relacionados ao modo e tempo de exposição, ingestão oral, além da sensibilização da pele e das vias respiratórias (GUARATINI, ZANONI, 2000).

O grau de toxicidade oral de corantes é medido através de 50 % da dose letal (LD50). Tem sido demonstrado que apenas um número reduzido de corantes pode apresentar toxicidade aguda, destacando-se nesse caso, os corantes bis-azóicos e catiônicos. Os corantes insolúveis em água podem ser biodegradados no fígado, sendo arrastados posteriormente para os intestinos e sujeitos a reduções por bactérias da flora normal. Entretanto os riscos crônicos do uso desses corantes é grave, principalmente os da classe azo-aromático que possuem propriedades carcinogênicas e mutagênicas. Do ponto

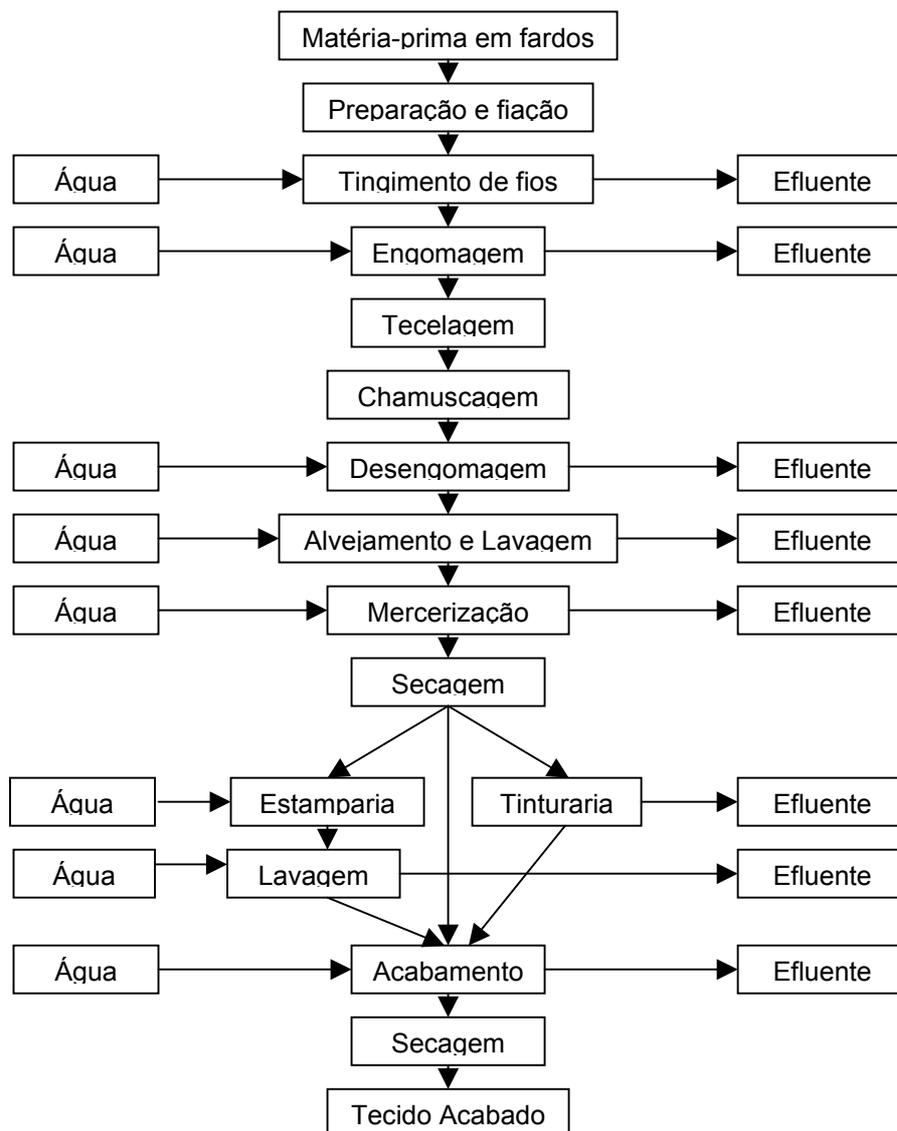
de vista ambiental, é importante ressaltar que o lançamento de efluentes contendo corantes no meio ambiente aquático, interfere na absorção da luz pela biota, alterando seu metabolismo além de contaminar os mananciais de água (GUARATINI, ZANONI, 2000; SILVA, 2005).

1.3.3 Efluentes têxteis

A água é utilizada nas lavanderias e tinturarias industriais como veículo para os produtos químicos que participam do processo de produção e também para remover o excesso de produtos indesejáveis para o fio ou tecido (ABIT, 2007).

O volume de água para o processo depende do tipo de fibra ou tipo de beneficiamento a ser realizado no tecido ou na confecção. Uma grande quantidade de água é requerida no processamento, conforme está ilustrado no fluxograma da indústria têxtil de algodão na figura 1.3.3.1. Conseqüentemente, essa indústria passa a gerar grandes volumes de efluentes, contendo quantidades variadas de contaminantes, dentre os quais se destacam os corantes (MORAES et al., 2007).

As características físicas, químicas e biológicas da água são reportadas na forma de parâmetros de qualidade da água. O padrão para lançamento de efluente está baseada na Resolução do CONAMA nº 357 e as legislações estaduais correlatas (SPERLING, 2005; BRASIL, 2005).



Fonte: PEREZ, ABRAHÃO, 1999

Figura 1.3.3.1 Fluxograma do processo da indústria têxtil de algodão e as etapas de geração de efluentes

Todas as águas residuárias geradas durante as etapas de beneficiamento têxtil são encaminhadas para tanques de equalização.

A intensa atividade industrial e os novos produtos lançados no mercado dificultam a enumeração e a quantificação de todos os produtos orgânicos que podem estar presentes no efluente têxtil. Os usos de diversos compostos nas indústrias em concentrações variadas podem ser prejudiciais ao ser humano, podendo causar desde pequenas irritações nos olhos e nariz até câncer, alterações dos cromossomos, danos a órgãos (rins, fígado, e pulmões), depressão, teratogênese e mutagênese (BERNARDO, DANTAS, 2005).

A composição dos efluentes têxteis é variada e inclui os corantes considerados recalitrantes e poluentes, capazes de reduzir a fotossíntese e causar diferentes graus de toxicidade, mutagênese e carcinogênese nos seres vivos (BERTAZZOLI, PELEGRINI, 2002; KUNZ, et al. 2002; PINHEIRO, TOURAUD, THOMAS, 2004).

Os efluentes de lavanderias e tinturarias industriais de Toritama contêm elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos químicos tóxicos ao homem e ao meio ambiente. Atingem grande volume de águas residuárias (55.985,25 m³/mês) altamente poluidoras além de 147 m³/mês de efluentes sanitários, considerando que a região não é beneficiada com saneamento básico (CPRH, 2005).

1.3.3.1 Tratamento de efluente têxtil

A água, independente de sua qualidade, pode ser transformada em água potável, porém os custos envolvidos e a confiabilidade no tratamento e manutenção podem inviabilizar o uso de determinada fonte de água para o abastecimento.

As operações utilizadas para tratamento de efluentes industriais podem ser simples quanto à aplicação de processos físicos, destinados à eliminação de resíduos sólidos ou químicos. No entanto, quando o objetivo principal é a eliminação de uma substância tóxica, ou a sua degradação até uma forma inócua, são utilizados os tratamentos biológicos e os processos oxidativos avançados - POA (ALATON, TEKSOY, 2007; ZENAITIS, SANDHU, DUFF, 2002).

O tratamento de efluentes têxteis tem sido considerado uma das mais importantes categorias de controle da poluição da água devido à grande intensidade de cor e à elevada concentração de contaminantes orgânicos (BRAILE, 1993; LEE et al., apud BRITO et al., 2006).

Os efluentes têxteis apresentam além dos corantes, uma grande quantidade de sólidos suspensos, pH variável, temperatura elevada, altos valores de DQO, considerável quantidade de metais pesados (Cr, Ni ou Cu), compostos orgânicos clorados, elevado teor em matérias oxidáveis e surfactantes. São necessárias técnicas diversificadas de tratamento que sejam, eficientemente, para evitar impactos ambientais além de um custo acessível à indústria têxtil, para que sua instalação, alcance metas de produtividade e mantenha a viabilidade econômica (ARAUJO, ROCHA, 1989; DANTAS et al., 2004; METCALF & EDDY, 2003).

A remoção de corantes têm sido utilizada por tratamentos físico-químicos por coagulação – floculação. Porém, técnicas combinadas de ozonização ou POA e ou tratamentos biológicos são necessárias para alcançar a eficiência máxima da descoloração dos corantes azóicos (ARSLAN-ALATON, ALATON, 2007; SUDARJANTO, KELLER-LEHMANN, KELLER, 2006).

No Pólo de Confecções de Pernambuco, a remoção de cor de águas residuárias têxteis vem sendo de grande interesse nas últimas duas décadas. Os processos de remediação dos efluentes de lavanderias e tinturarias industriais têm envolvido apenas sistemas físico-químicos de coagulação, floculação e decantação. A remoção de corantes é operacionalmente factível, mas estudos precisam ser incentivados visando à investigação de toxicidade dos efluentes tratados além da aplicação de tratamentos biológicos (BRASIL, 2005).

1.3.3.2 Tratamento biológico

A grande motivação de pesquisadores envolvidos em estudos de biodegradação pode ser expressa pela busca contínua de microrganismos versáteis, capazes de degradar de maneira eficiente um grande número de poluentes com baixo custo operacional. Na prática, as dificuldades são grandes, principalmente pela diversidade, concentração e composição das espécies químicas presentes em cada efluente (KUNZ et al., 2002).

O processo biológico fundamenta-se na oxidação por ação enzimática de microrganismos através de processos bioquímicos que transformam compostos orgânicos tóxicos em CO₂, H₂O e ou CH₄, com custos relativamente baixos. Esse tipo de tratamento utiliza os compostos presentes no efluente, como substratos para crescimento e manutenção dos microrganismos que atuam no processo (UZURA et al. apud GUARATINI, ZANONI, 2000).

Nas biodegradações, a remoção da matéria orgânica dos efluentes industriais é usualmente medida pela DBO, DQO e carbono orgânico total (COT). Sob condições aeróbias, o receptor de elétrons é o oxigênio molecular e os principais produtos finais são CO₂ e H₂O enquanto sob anaerobiose, algumas formas de carbono, enxofre e nitrogênio participam como receptores de elétrons, sendo os poluentes degradados principalmente em CO₂, CH₄, H₂S ou S (METCALF & EDDY, 2003). McMullan et al. (2001) relataram que a habilidade dos microrganismos para descolorir e metabolizar corantes já era conhecida há muito tempo. Stolz (2001) afirmou que pesquisas nos últimos anos têm revelado diversas bactérias com capacidade de descolorir corantes azóicos, como *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas stutzeri*, *Aeromonas* sp., *Klebsiella pneumoniae*.

O desenvolvimento da biotecnologia tem propiciado alternativas diversas que viabilizam o tratamento biológico de efluentes industriais. Esses processos biológicos vêm sendo estudados para o tratamento dos resíduos da indústria têxtil visando à descoloração dos efluentes na presença de diversas culturas microbianas (BANAT et al., 1996; CHANDER, ARORA, BATH, 2004).

A descoloração de um azo-corante por processo contínuo anaeróbio foi investigada em reator de leito fixo (MEZOHEGYI et al., 2007). Utilizando alumina como mediador de

elétrons, foram determinadas as taxas de adsorção e de degradação na presença de grafite. A redução do corante atingiu 99 % em 2 min, comprovando a capacidade de mediar elétrons do carbono ativado nesse tratamento.

Os efluentes de indústrias têxteis com os corantes trifenil-metano, indigóides, azo e antraquinônicos, tratados aerobicamente com lacase imobilizada proveniente de fungo *Trametes hirsuta*, apresentaram redução de sua toxicidade em 80 % (LEVIN, PAPINUTTI, FORCHIASSIN, 2004). Por outro lado, os processos anaeróbios promovem descoloração de corantes, especialmente os azo corantes, resultando na produção de aminas que são carcinogênicas e tóxicas.

No sistema de tratamento biológico de efluentes, os tensoativos podem ser considerados auxiliares da biodegradação. Nas concentrações utilizadas na indústria têxtil, essas substâncias solubilizam o material que possui baixa solubilidade em água, facilitando sua degradação microbiana (STEINHART, 2000; KAMIDA et al., 2005).

A aplicação de microrganismos para biodegradação de corantes sintéticos é um atraente método de simples operação cujos mecanismos biológicos geralmente são complexos. Os microrganismos individuais podem metabolizar apenas um composto, sendo por isso, o processo limitado (GHAZALI, 2004). Entretanto consórcios de microrganismos por agirem sinergicamente, apresentam larga capacidade enzimática capaz de degradar poluentes complexos como são os corantes.

Consórcios microbianos

Os corantes sintéticos são em sua maioria xenobióticos, ou seja, os sistemas naturais de microrganismos não contêm enzimas específicas para degradar esses compostos sob condições aeróbicas e sob condições anaeróbicas, a degradação se processa lentamente (MOOSVI, KHER, MADAMWAR, 2007; SANTOS, 2005).

Os microrganismos são capazes de degradar os compostos orgânicos dissolvidos ou coloidais em biomassa (tecido celular) a qual tende a flocular espontaneamente nas lagoas aeradas que são bastante utilizadas nos tratamentos biológicos onde os efluentes de composição desconhecida são degradados por ação de consórcio microbiano durante vários dias com remoção de toxicidade aguda (METCALF & EDDY, 2003).

O mecanismo de ação entre microrganismos é bem variado, envolvendo tanto mecanismos oxidativos como redutivos. Por exemplo, bactérias aeróbias removem cor quando produzem enzimas tipo azo redutases as quais apresentam atividade catalítica na presença de oxigênio (DURÁN, MORAIS, FREIRE, 2000; STOLZ, 2001).

As bactérias, fungos, algas, protozoários, dentre outros seres biológicos que se encontram em sedimentos, solos, águas naturais e residuárias podem apresentar um elevado grau de especificidade para degradação de compostos de estrutura complexa.

Embora o processo demande tempo prolongado o que poderia resultar num tratamento economicamente desvantajoso, envolve a utilização de consórcios naturalmente condicionados para atingir a transformação e as vezes a mineralização dos poluentes (BRITO et al., 2006; FERREIRA et al., 2000).

Essa poderosa arma natural de defesa (biodegradação primária) poderá ser potencializada, utilizando a bioestimulação ou consórcios de microrganismos. Assim, consórcios microbianos estão sendo adicionados ou estimulados para acelerar a degradação de compostos presentes em efluentes têxteis (PERALTA-ZAMORA et al., 2002).

A utilização de consórcios microbianos contendo bactérias e fungos, favoreceu a redução do tempo de degradação por ação de espécies não identificadas que atuaram em sinergismo. A ação desses consórcios em aerobiose degradou de forma eficiente os corantes azóicos (ABRAHAM et al., 2003).

Segundo Banat et al. (1996), nos tratamentos biológicos utilizando consórcios microbianos, os problemas relacionaram-se ao isolamento dos microrganismos, ao período de adaptação desses ao meio contendo os poluentes e à capacidade de descolorir vários corantes. Uma vez que os efluentes têxteis contêm mais de um corante, além de outros produtos químicos, resultados promissores de biodegradação foram atingidos quando as condições do meio foram freqüentemente alternadas em anaerobiose e aerobiose, utilizando consórcios de microrganismos.

Os corantes azóicos são usualmente aceptores finais de elétrons, por isso as eficiências de remoção desse corante na faixa de 60 - 80 % são atingidas. Entretanto, durante o processo redutivo, os corantes azóicos originam aminas aromáticas carcinogênicas incolores que são recalcitrantes sob condições anaeróbias. Assim, antes de qualquer descarte de efluente tratado em um corpo receptor devem ser incluídos pós-tratamentos que removam essas aminas (KUNZ et al, 2002; SANTOS, 2005).

Os lodos ativados, sistema aeróbio de tratamento de resíduos largamente usado, promovem baixa remoção de corantes azóicos (10 - 30 %) a qual é associada, principalmente, à adsorção do corante no lodo ativo (SANTOS, 2005).

Segundo Parales e Haddock (2004), as reações microbiológicas exercem um papel chave na biocatalização e na biodegradação. Algumas bactérias foram capazes de imobilizar metais pesados tóxicos que contaminam aquíferos, evidenciando o potencial dos microrganismos na remoção ou absorção de poluentes.

Baba et al. (2007) citam que a biodegradação anaeróbia de bifenóis policlorados por consórcio de microrganismos isolados de solo atingiu cerca de 15 mol% da concentração inicial após 56 dias na presença de nutrientes. Foram investigados o percentual de inóculo e

o tempo de incubação sendo comprovada, por técnica de engenharia genética, a predominância de bactérias anaeróbias *Firmucutes* no consórcio investigado.

A peroxidase tem sido aplicada na descoloração de efluentes têxteis. Sob as condições de pH 4,0 na presença de 2×10^{-3} mmol/L de água oxigenada e de aproximadamente 15 U/mL de atividade dessa enzima. A descoloração atingiu 52 % sob essas condições de trabalho valores de 59 e 94 % foram atingidos utilizando apenas corante azul, redução do nível de toxicidade no efluente tratado..(SOUZA, FORGIARINI, SOUZA, 2007).

PARK et al., (2007) pesquisaram a descoloração de seis corantes sintéticos comerciais (antraquinonas e azo) por dez cepas de fungos filamentosos. Foram determinadas as atividades enzimáticas extracelulares de lacase e manganês peroxidase. Nesse estudo, utilizaram o cultivo em estado sólido de *Funalia trogii* e foi evidenciado a máxima eficiência da descoloração por interação das enzimas com a bio sorção dos corantes.

Os organismos em consórcio devem ajustar suas funções metabólicas para sobreviverem e reproduzirem-se na presença de corante azóico. Em investigações metabólicas, foi confirmado o mutualismo entre uma cultura de *Escherichia coli* e *Pseudomonas luteola* cujo consórcio atuou descolorindo esse tipo de corante (CHEN, CHANG, 2007)

Foi confirmada a eficiência de consórcio microbiano na degradação de corantes azóicos. Khehra et al. (2005) utilizaram quatro bactérias isoladas na descoloração de vários corantes azóicos em 60 horas enquanto o consórcio dessas bactérias atingiu em 24 horas a completa descoloração.

Sharma et al. (2004) investigaram a descoloração/degradação do corante ácido azul-15, utilizado na indústria têxtil. Foi verificado uma descoloração de 94 %, utilizando um consórcio formado por *Bacillus* sp., *Alcaligenes* sp. e *Aeromonas* sp. imobilizados.

Esse tratamento biológico apesar de ter sido simples, rápido e econômico para a descoloração de corantes, não tem sido aplicado em tratamento de efluentes da indústria têxtil nos últimos anos no Pólo de Confecções de Pernambuco.

1.3.3.3 Tratamento físico-químico

O processo de tratamento físico-químico abrange etapas de coagulação, floculação, flotação e sedimentação. Nas indústrias apresenta elevada eficiência na remoção de material particulado. O efluente tratado através desse processo, pode ser reutilizado proporcionando melhorias na relação custo x benefício, além das vantagens do reuso para o ambiente (METCALF & EDDY, 2003).

O pré ou pós-tratamento físico-químico de efluentes têxteis têm o objetivo de remover materiais sólidos grosseiros (restos de tecidos e fibras). A utilização de sais metálicos (sulfato férrico, cloreto férrico ou sulfato de alumínio) é uma alternativa que permite a eliminação do material suspenso e coloidal do efluente removendo a cor e a turbidez, a equalização em tanques de mistura dos despejos dos diferentes processos de beneficiamento é uma etapa que melhora a eficiência da coagulação por uniformizar o conteúdo do material a ser tratado, seguido da etapa de correção do pH. A coagulação exige valor ótimo na faixa de 5 a 8 quando ocorre a formação dos coágulos para em seguida flocularem e a remoção mais efetiva da cor ocorre para faixas de pH entre 7 - 8,5; para a remoção da turbidez, a faixa exigida é normalmente mais baixa (MORAES et al., 2007; BERNARDO, BERNARDO, 2005; METCALF & EDDY, 2003; SILVA, SOUZA, MAGALHÃES, 2004).

Tratamentos físico-químicos são utilizados para os despejos de lavanderias. Ácido sulfúrico, cloreto de cálcio e leite de cal são produtos químicos utilizados para ajustar o pH na presença de sulfato ferroso ou sulfato de alumínio os coagulantes mais utilizados para tratar as águas residuárias dos processos de lavagem, propiciando cerca de 80 % na remoção da cor aparente (FREIRE et al., 2000).

O índigo, molécula altamente estável, insolúvel em meio aquoso e recalcitrante que apresenta estrutura molecular plana com alto grau de conjugação e tendência de agregação molecular. Considerando as características desse corante no tratamento físico-químico de efluente têxtil, é necessário além do uso de coagulantes. A adição de polietrólitos (SILVA, SOUZA, MAGALHÃES, 2004; BARRADAS, 2004).

Nos tanques de sedimentação primária de lavanderia e tinturaria industriais, há acúmulo de lodo que é periodicamente removido e disposto em leitos de secagem, ocasionando a liberação de odores pelo uso de cloro, principalmente nas operações de alvejamento e délavé (tecido cuja cor manchada imita um tecido desbotado) ou pelo manejo inadequado do lodo.

a) Coagulação - Floculação

O processo de coagulação consiste na mistura do coagulante (inorgânico ou orgânico) com o efluente que produz em solução, íons positivos por hidrólise e polimerização em meio alcalino cuja reação é extremamente rápida. Esses íons desestabilizam as cargas negativas dos colóides e sólidos em suspensão, permitindo a aglomeração das partículas e conseqüente formação dos coágulos (BARRADAS, 2004).

Os principais coagulantes inorgânicos são os sais de alumínio e de ferro, utilizados no tratamento de águas residuárias. Esses cátions hidrolisáveis estão disponíveis em sais de sulfato ou de cloreto como produtos comercializáveis líquidos e sólidos. Recentes

estudos indicam diversos inconvenientes no uso dos sais de alumínio por serem prejudiciais ao ser humano e aos organismos vivos. O excesso de alumínio nos recursos hídricos pode trazer prejuízo ao desenvolvimento de peixes e algas. A doença de Alzheimer parece estar associada aos resíduos de alumínio em águas tratadas (VANACÔR, GEHLING, 2007).

A substituição do sulfato de alumínio por coagulantes naturais propicia uma redução da concentração desse metal no efluente tratado e no volume do lodo originado. Os coagulantes naturais sem riscos toxicológicos, além de serem biodegradáveis, oferece segurança à saúde humana (VANACÔR, GEHLING, 2007).

Coagulação/floculação foi empregada por Joo et al. (2007) para o tratamento de águas residuais com elevada concentração de corante reativo. Polímero floculante sintetizado sob condições ácidas foi aplicado com coagulantes inorgânicos (sais de alumínio ou de ferro), em águas residuárias do tingimento. O floculante foi testado com águas residuais sintéticas contendo quatro corantes reativos (preto 5, azul 2, vermelho 2 e amarelo 2) e com o efluente originário do processo de tingimento industrial contendo corantes reativos. Para as águas residuais sintéticas, o uso exclusivo de compostos inorgânicos coagulantes (1 µg/L) removeu cerca de 20 % da cor. Com auxílio do polímero floculante, a descoloração atingiu 100 %. Essa eficiência de descoloração foi também função da concentração do polímero e da variação do pH e dos tipos de coagulantes utilizados. O uso exclusivo de coagulantes inorgânicos mostrou ser pouco eficaz na remoção de corantes reativos de águas residuais verdadeiras. No entanto, sais de alumínio e de ferro combinados com o polímero floculante melhoraram a remoção de cor em 60 e 40 %, respectivamente.

Dentre os floculantes orgânicos biodegradáveis de origem vegetal, o tanino é utilizado em muitas empresas de saneamento para tratamento de efluentes e de águas de abastecimento (ÖZACAR, SENGIL, 2003). O produto comercial TANFLOC é um polímero orgânico catiônico, de baixa massa molar e solúvel em água fria. Esse produto é comercializado na forma sólida (pó) ou líquida cuja forma mais usual apresenta-se na concentração de 1 mg/mL, de cor castanho escuro, viscoso, densidade em torno de 1,2 g/cm³ e pH ácido em torno de 2,0 e caráter catiônico (ÖZACAR, SENGIL, 2003).

Nos efluentes têxteis, a grande vantagem dos taninos vegetais é possuírem a propriedade de adsorver metais dissolvidos em água, aglutinando-os por precipitação no com a redução da cor, além de eliminar ou diminuir a toxidez existente na água que apresenta algas cianofíceas e ou bactérias clorofiladas (MORAES et al., 2007).

O tanino apresenta alta capacidade de associação com proteínas e carboidratos; atua em sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre as partículas, sendo esse processo responsável pela formação de flocos e conseqüente sedimentação,

não altera o pH da água ao mesmo tempo que é efetivo em uma faixa de pH entre 4,5 e 8,0 (MORAES et al., 2007; MORAES et al., 2005).

Os taninos são compostos insolúveis que de acordo com a sua estrutura química podem ser divididos em duas categorias (BARROS, NOZAKI, 2002; METCHE, 1980; PIZZI, 1993):

- os taninos hidrolisáveis possuem um grupo carboidrato e sofrem hidrólise ácida, alcalina ou enzimática; são classificados: a) galotaninos que por hidrólise ácida liberam o ácido gálico e seus derivados e b) elagitaninos que por hidrólise liberam ácido elágico e ácido valônico;
- os taninos condensados apresentam uma estrutura polimérica de unidades de pigmentos flavonóides com diferentes graus de condensação, associada a seus precursores.

Silva, Souza e Magalhães (2005) investigaram a aplicação de biopolímeros vegetais em tratamento de efluente têxtil como alternativa ecologicamente mais compatível com a busca por qualidade de vida. Empregando raspa de juá, moringa e pó do mesocarpo do coco de babaçu na dosagem de 200 mg/L, foram atingidas reduções de 48,6 %; 37,1 % e 19 %, respectivamente, nas descolorações do efluente industrial.

b) Decantação

A decantação objetiva a sedimentação da matéria floculada sob ação da gravidade. Essa etapa é viabilizada após a floculação quando os coágulos tornam-se mais densos e estáveis formando os flocos. Os flocos sedimentam, arrastando além dos compostos poluentes, muitas bactérias. O período de permanência da água em um decantador deve ser superior ao tempo necessário para que a partícula caminhe desde a superfície até o fundo do tanque (SPERLING, 2005).

1.3.4 Parâmetros de qualidade

1.3.4.1 pH

O pH representa a concentração de íons hidrogênio H^+ na água, indicando a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade. Sua faixa pode variar de 0 a 14 e não tem unidade. O levantamento desse parâmetro é importante para o controle dos processos de tratamento de esgoto e águas residuárias. Os valores desse parâmetro nas águas naturais dependem de rochas dissolvidas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria

orgânica e fotossíntese além de fatores antropogênicos, despejos domésticos e industriais (SPERLING, 2005).

Na indústria têxtil a utilização de diferentes corantes pode conduzir a uma variação significativa do pH, atingindo valores extremos de 2 a 12. Valores de pH afastados da neutralidade (pH=7) podem interferir na saúde pública, na vida aquática e nos tratamentos de efluentes. O valor de pH influencia a coagulação dos poluentes, o crescimento de microrganismos responsáveis por tratamentos biológicos e a desinfecção por cloro (KOSITZI et al., 2004).

No tratamento físico-químico de efluentes industriais, muitos são os exemplos de reações dependentes do pH. A precipitação química de metais pesados a oxidação química de cianeto e o arraste de amônia convertida à forma gasosa ocorre em pH elevado; a redução do cromo hexavalente à forma trivalente, a oxidação química de fenóis e a quebra de emulsões oleosas, em pH baixo (SPERLING, 2005).

Nos tratamentos de efluentes têxteis, a elevação de pH é atingida na presença de soda cáustica (hidróxido de sódio), cal hidratada (hidróxido de cálcio) e barrilha (carbonato e bicarbonato de sódio); para abaixar o pH, normalmente empregam-se ácidos minerais, como clorídrico e sulfúrico (METCALF & EDDY, 2003).

1.3.4.2 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é a medida da capacidade de uma solução aquosa conduzir a corrente elétrica, a qual depende da presença de íons, concentração e mobilidade dos mesmos. Soluções de compostos inorgânicos são bons condutores, porém as moléculas de compostos orgânicos que não se dissociam em solução aquosa apresentam condutividade relativamente baixa.

A elevação da condutividade elétrica no efluente tratado por coagulação - floculação utilizando sais de Al e Fe pode alterar a classificação dos corpos d'água para água salobra ou salgada, dependendo da concentração de sais e conseqüentemente, desequilibrar o ecossistema, não atendendo a legislação vigente.

1.3.4.3 Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la devido à presença de sólidos em suspensão. É causada pela presença de material coloidal suspenso proveniente de matéria orgânica e inorgânica, lodo, plâncton, dentre outros. Desse modo, com a incidência de luz, pode-se observar uma mudança nos valores de absorvância, como também um desvio da radiação incidente. Mesmo em baixas concentrações, as partículas coloidais e outras substâncias coloridas causam interferência nos resultados de turbidez. Dependendo do tipo de matéria em

suspensão e da cor, as propriedades da luz absorvida são diferentes (METCALF & EDDY, 2003; SPERLING, 2005).

A turbidez de origem natural (partículas de rochas, argila e silte, algas e alguns microrganismos) não causa diretamente inconvenientes de natureza sanitária, mesmo sendo esteticamente desagradável enquanto as de origem antropogênica (erosão, despejos domésticos e industriais) podem estar associada a compostos tóxicos e microrganismos indesejáveis (SPERLING, 2005).

1.3.4.4 Cor

Os componentes da água responsáveis por suas propriedades ópticas inerentes são: sólidos dissolvidos (material orgânico e inorgânico), particulados e em suspensão, o material fitoplanctônico e as macrófitas aquáticas. Esses componentes atuam como agentes espalhadores e absorvedores de radiação, influenciando na transmissão da radiação eletromagnética através da coluna d'água e, conseqüentemente, na produtividade primária (SPERLING, 2005).

A cor das águas pode ser medida por comparação visual ou por espectrofotometria. A cor varia com o pH da água sendo mais facilmente removida em valores baixos de pH. Está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la cuja redução ocorre por absorção de parte da radiação eletromagnética, devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico (SPERLING, 2003).

A cor do efluente têxtil pode variar diariamente ou várias vezes por dia, dependendo do tipo de corante utilizado. Nesses efluentes, a coloração provém de uma grande quantidade de corantes não fixados à fibra do tecido ou removido durante o processo de beneficiamento.

Na determinação da cor, a turbidez da amostra causa interferência, absorvendo também parte da radiação eletromagnética. O fundamento dessa determinação é em parte, resultado da reflexão e dispersão da luz nas partículas em suspensão. Cor aparente é aquela medida sem a remoção de partículas suspensas da água cujo valor determinado inclui compostos responsáveis pela turvação da água. A cor verdadeira é aquela obtida após a centrifugação ou filtração da amostra, não sofrendo interferência de partículas suspensas na água. A diferenciação entre a cor verdadeira e a cor aparente, depende do tamanho das partículas. Pode ser generalizado que partículas com diâmetro superior a 1,2 mm causam turbidez, enquanto que partículas coloidais e dissolvidas causam cor (METCALF & EDDY, 2003).

A remoção da cor antigamente era realizada por motivos estéticos. A utilização do cloro no pré-tratamento de efluentes para facilitar a clarificação e remoção dos compostos,

induz a formação de trihalometanos e de outros compostos organo-halogenados, comprovadamente cancerígenos (SPERLING, 2005). Na prática, é recomendável verificar a presença desses compostos organoclorados, dentre outros, por espectrofotometria, toda vez que a cor verdadeira for menor que 20 µH e o teor de COT for maior que 5 mg/L.

Os métodos tradicionais de remoção de cor de águas para abastecimento público e residuárias industriais são à base de coagulação e floculação. A dosagem dos produtos químicos usados na clarificação depende da variação da concentração dos corantes nos efluentes. Os tratamentos biológicos apresentam eficiência superior em relação aos convencionais físico-químicos, pois a descoloração do efluente envolve a degradação dos compostos corantes, transformando-os em outras moléculas (ABRAHAM et al., 2003).

A cor exerce influência na escolha do tipo do tratamento a que deve ser submetida à água. Águas com valores de cor acima de 15 unidades de cor (uC) podem ser detectadas em um corpo d'água pela maioria dos consumidores; valores inferiores a 5uC dispensam a coagulação química enquanto valores superiores a 25 uC requerem a coagulação química seguida de filtração. Valores mais elevados implicam cuidados operacionais no tratamento que visa a potabilidade da mesma (SPERLING, 2005). Grande parte da cor dos efluentes têxteis é devido a substâncias em suspensão que podem ser removidas por processo de centrifugação e ou filtração, assim como os microrganismos, por tratamento biológico.

1.3.5 Planejamento Fatorial

O planejamento experimental é uma ferramenta essencial no desenvolvimento de novos processos e no aprimoramento de processos em utilização. Representa um conjunto de ensaios estabelecidos com critérios científicos e estatísticos e objetiva determinar a influência de diversas variáveis nos resultados de um dado sistema ou processo.

A idéia básica do método é executar um conjunto de experimentos de modo a considerar todas as possíveis variações dos fatores em estudo, ao mesmo tempo, determinando as interações entre esses fatores com um número mínimo de experimentos, fazendo uma triagem e descarte das variáveis não significativas, visando à racionalização do experimento. Os experimentos fatoriais são realizados para determinar a influência de uma ou mais variáveis independentes (fatores) sobre uma ou mais variáveis dependentes (respostas) de interesse. O objetivo final é propor uma função matemática que represente cada sistema, ou pelo menos que se aproxime de um modelo satisfatório. Os erros padrão são calculados, a superfície de resposta é proposta e as curvas de nível são ajustadas, visando à otimização do processo (BARROS-NETO, SCARMINIO, BRUNS, 1995).

O procedimento para execução do planejamento e análise dos resultados normalmente segue as seguintes etapas:

- a) reconhecer e definir o problema que depende da experiência adquirida no estudo de processos semelhantes;
- b) escolher as variáveis (fatores de influência) e as faixas de valores em que essas variáveis serão avaliadas;
- c) definir o nível específico (valor) para cada variável;
- d) escolher a variável resposta;
- e) executar os experimentos, monitorando-os e controlando-os;
- f) analisar os resultados, utilizando métodos estatísticos;
- g) elaborar as conclusões e recomendações, permitindo que decisões sejam tomadas a respeito do processo em estudo.

Para analisar estatisticamente os resultados obtidos em ensaios laboratoriais com possibilidade de conclusões objetivas, os erros que influenciam esses resultados são avaliados pelo planejamento experimental. Na pesquisa aplicada, é de suma importância reconhecer a diferença entre o que é significativo estatisticamente e o que é significativo na prática sob o ponto de vista industrial a aplicação de métodos estatísticos do planejamento experimental.

Na definição da realização dos ensaios no laboratório são utilizadas as técnicas de réplica, aleatorização e ou de blocos:

- a) a réplica consiste na repetição de um ensaio sob condições preestabelecidas, permitindo verificar como o erro experimental influencia os resultados dos ensaios e a influência de uma determinada variável sobre o comportamento de um processo, quando a comparação é feita pela média das amostras;
- b) aleatorização ou randomização é a técnica de planejamento experimental puramente estatística em que a seqüência dos ensaios e a escolha dos materiais utilizados são aleatórias;
- c) a técnica dos blocos permite realizar a experimentação com uma maior precisão, reduzindo a influência de variáveis dependentes. Um bloco é uma porção do material experimental que tem como característica o fato de ser mais homogêneo que o conjunto completo do material analisado (RODRIGUES, IEMMA, 2005).

Os planejamentos fatoriais de dois níveis são mais simples de executar e por isso muito utilizados nas investigações científicas. Esses planejamentos podem ser ampliados para conhecer melhor a relação entre a resposta e os fatores. Os planejamentos fatoriais com ponto central têm sido aplicados em séries consecutivas, eliminando fatores e variando níveis, visando a atingir respostas com valores máximos ou mínimos.

A metodologia de superfície resposta (MSR) é constituída de duas etapas distintas: modelagem e deslocamento. Essas etapas são repetidas tantas vezes quantas forem necessárias com o objetivo de atingir uma região ótima (máxima ou mínima) da superfície

investigada. A modelagem normalmente é feita ajustando modelos lineares ou quadráticos a resultados experimentais obtidos a partir de um planejamento fatorial. O deslocamento ocorre sempre ao longo do caminho de máxima inclinação de um determinado modelo que é a trajetória na qual a resposta varia de forma mais pronunciada (BARROS-NETO, SCARMINIO, BRUNS, 2003).

Nos experimentos em que o modelo linear não satisfaz aos resultados obtidos, o modelo quadrático pode ser aplicado para a localização do ponto ótimo. Nesse caso, o planejamento estrela é utilizado quando existir um maior número de parâmetros do que níveis. Para execução dos experimentos, acrescenta-se ao planejamento inicial, um planejamento idêntico, porém girado de 45° em relação à orientação de partida (RODRIGUES, IEMMA, 2003).

A otimização de experimentos tem sido aplicada em várias áreas de investigação científica visando ao desenvolvimento de processos tecnológicos ou ao melhoramento do desempenho de produtos e processos de fabricação, para a confirmação e a validação dos trabalhos laboratoriais.

Planejamento fatorial 2^3 com seis pontos estrelas e seis replicatas do ponto central e RSM ("Response Surface Methodology") foram empregados por Kunamnemi, Kumar e Singh (2005) na otimização de parâmetros nutricionais na produção de α -amilase utilizando *Thermomyces lanuginosus*. Os fatores investigados foram: farinhas de cereais, amido solúvel, fontes de nitrogênio e sais minerais. A variável resposta foi a atividade amilolítica. Para as fontes de carbono investigadas, a maior atividade determinada de α -amilase foi de 261,0 U/g na presença de trigo integral. Para as fontes de nitrogênio, a peptona induziu a produção máxima da enzima, atingindo o valor de 414 U/g. O modelo matemático para a atividade amilolítica foi validado experimentalmente, mostrando sua aplicabilidade para produção otimizada.

Planejamento fatorial associado a MSR foi empregado por Albuquerque, Fileti e Campos-Takaki (2006) no estudo de produção de bioemulsificante por *Candida lipolytica*. Planejamento fatorial completo 2^4 foi realizado para investigar os efeitos e interações das concentrações de óleo de milho, uréia, sulfato de amônio e fosfato monobásico de potássio sobre a atividade de emulsificação de bioemulsificante produzido por *Candida lipolytica*. Atividade de emulsificação de 3,727 UAE (Unidade de Atividade de Emulsificação) foi obtida com um meio composto por 0,4 g de uréia, 1,1 g de sulfato de amônio, 2,04 g de fosfato monobásico de potássio, 5 mL de óleo de milho, 50 mL de água destilada e 50 mL de água do mar. Os constituintes do meio foram otimizados para a atividade de emulsificação utilizado um planejamento composto central para três fatores e MSR. O modelo de segunda ordem obtido apresentou significância estatística e capacidade preditiva. A atividade de emulsificação máxima produzida foi 4,415 UAE e os níveis ótimos de uréia, sulfato de

amônio, fosfato monobásico de potássio foram respectivamente iguais a 0,544 %, 2,131 %, and 2,628 %, na presença de água do mar e água destilada na proporção de 1:1.

Planejamento experimental foi aplicado por Bouaid, Martinez e Aracil (2007) para otimizar o processo de síntese de éster etílico por transesterificação de HOSO (High Oleic Sunflower Oil), HEBO (High Erucic *B. carinata* Oil) e LEBO (Low Erucic *B. carinata* Oil) utilizando KOH como catalizador. Planejamento fatorial completo mostrou ser efetivo no estudo das influências das variáveis sobre o processo. As variáveis respostas foram os rendimentos de éster etílico por transesterificação de HOSO, HEBO e LEBO. Os fatores escolhidos foram a temperatura da reação, a concentração do catalisador e a fração molar inicial álcool/óleo. Planejamento composto central e MSR foram empregados para otimizar os fatores determinantes do rendimento do éster etílico. Foram obtidos modelos lineares para representar os rendimentos de éster etílico por transesterificação de HOSO e de HEBO. Para representar o rendimento de éster etílico por transesterificação de LEBO foi obtido um modelo quadrático. A partir dos referidos modelos foi mostrado ser possível prever adequadamente as condições operacionais requeridas para obter uma quantidade de éster especificada a partir de HOSO, HEBO ou LEBO.

A conversão da celulose em glicose utilizando o complexo enzimático celulolítico como catalizador visando à produção de bioetanol foi investigada por Muthuelayudham e Viruthagiri (2007). Planejamento fatorial fracionário com ponto central foi utilizado na produção de celulases por *Trichoderma reesei* Rut C30. Paralelamente, foram determinadas as significâncias dos fatores celulose, lactose, temperatura, pH, agitação e idade do inóculo. Nesse trabalho, vários modelos cinéticos foram investigados (Monod, Luedeking-Piret, dentre outros). MSR e redes neurais artificiais foram também empregadas na otimização da produção de celulases.

A otimização de experimentos também vem sendo aplicada com sucesso em tratamento de efluentes industriais.

No tratamento de água residual de refinaria de petróleo, por flotação de ar, Rigas, Panteleos e Laoudis (2000) empregaram planejamento central composto por três fatores e MSR para investigar os efeitos principais e interações da concentração de coagulante, da concentração de floculante e do pH sobre a turbidez, os sólidos suspensos totais e a redução no teor de óleo. Modelos e superfícies de respostas de segunda ordem foram construídos para as variáveis respostas (turbidez, sólidos suspensos e teor de óleo) e regiões ótimas foram determinadas dentro dos intervalos de variação dos fatores do planejamento.

A descoloração de água residual de indústria têxtil usando radiação ultravioleta na presença de peróxido de hidrogênio foi estudada por Yokoyama, Araújo e Teixeira (2006). Os experimentos foram conduzidos realizando planejamento fatorial 2^4 para avaliação da

influência do pH e das concentrações de peróxido de hidrogênio, uréia e cloreto de sódio sobre a eficiência do processo de descoloração. Os resultados foram expressos em percentagem de remoção de cor da solução através de medida de absorvância. A concentração de peróxido de hidrogênio apresentou efeito positivo estatisticamente significativo sobre o processo. A concentração de cloreto de sódio apresentou efeito negativo em todos os experimentos, diminuindo a percentagem de remoção de cor. O pH e a concentração de uréia não influenciaram no processo de descoloração.

Planejamento fracionário com ponto central e MSR foram aplicados para determinar a condição ótima, em tratamento biológico por processo enzimático. Inicialmente, Ghasempur et al. (2007) investigaram a interação das variáveis independentes, concentração da peroxidase, temperatura, pH e peróxido de hidrogênio em relação à remoção de fenol de águas residuárias de indústria contendo compostos aromáticos hidroxilados altamente tóxicos com elevada demanda de oxigênio e baixa biodegradação. Durante a otimização do processo, obtiveram um modelo polinomial de segunda ordem que foi validado experimentalmente. Para a concentração mínima da enzima 0,26 U/mL, foram determinadas as condições ótimas de pH 7,12, temperatura 10 °C e concentração do peróxido de hidrogênio 1,72 mM.

Tratamento de efluente têxtil usando técnica eletroquímica foi planejado e analisado por Saravanathamizhan et al. (2007) aplicando o método Box-Behnken (Box e Behnken, 1960). A influência de parâmetros individuais sobre a eletro-oxidação do efluente têxtil foi analisada usando MSR e foi desenvolvido um modelo quadrático para a redução da demanda química de oxigênio foi desenvolvido. Os valores preditos pelo modelo apresentaram bom ajuste com os dados experimentais, com coeficiente de correlação de 0,945.

Planejamento composto central completo 2^4 foi empregado com sucesso por Ravikumar et al. (2007) para planejamento experimental e análise de resultados de descoloração de reativo vermelho 3GL e de corante ácido marron 29 em soluções aquosas, emprega um técnica de adsorção usando adsorvente híbrido preparado por pirólise de uma mistura de carbono e "flyash" em relação 1:1. O efeito combinado de pH, temperatura, tamanho de partícula e tempo sobre a adsorção do corante foi investigado e otimizado usando MSR. Os valores ótimos de pH, temperatura, tamanho de partícula e tempo foram 10,8; 59,25 °C; 0,0525 mm e 395 min, respectivamente para o reativo vermelho 3GL. Para o ácido marron 29, os valores ótimos de pH, temperatura, tamanho de partícula e tempo foram, respectivamente, 1,4; 27,5 °C; 0,0515 e 285 min. Remoção completa (100 %) foi observada para ambos os corantes usando adsorvente híbrido.

A presente revisão teve como propósito fornecer uma visão geral das técnicas e alguns resultados obtidos na área de tratamento de efluentes, envolvendo planejamento de

experimentos. Os bons resultados relatados na literatura sobre a aplicação de planejamento fatorial e metodologia de superfície de respostas em tratamento de efluentes coloridos e a escassez de trabalhos envolvendo tratamento de efluentes de lavanderias e tinturarias, serviram de motivação para o desenvolvimento desta dissertação de mestrado. Portanto, o presente trabalho pretende investigar e contribuir científica e tecnologicamente para preencher esta lacuna.

1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química, 2005. Citação de referências e documentos eletrônicos. Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br>>. Acesso em: 05 jun. 2007.

ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção 2005. Inventário ambiental. Disponível em: <<http://www.abit.org.br>>. Acesso em: 5 abr. 2007.

ABRAHAM, T. E.; SENAN, R. C.; SHAFFIQU, T. S.; ROY, J. J.; POULOSE, T. P.; THOMAS, P. P. Bioremediation of textile azo dyes by an aerobic bacterial consortium using a rotating biological contactor. **Biotechnology progress**. v. 19, p. 1372-1376, 2003.

ALATON, I. A.; TEKSOY, S. Acid dyebath effluent pretreatment using Fenton's reagent: process optimization, reaction kinetics and effects on acute toxicity. **Dyes and Pigments**. v. 73, p. 31-39, 2007.

ALBUQUERQUE, C. D. C., FILETT, A. M. F., CAMPOS-TAKAKI, G. M. Optimizing the medium components in bioemulsifiers production by *Candida lipolytica* with response surface method. **Canadian Journal of Microbiology**. v. 52, p. 575-583, 2006.

ANDRADE FILHO, J. F.; SANTOS, L. F. **Introdução a tecnologia têxtil**. Rio de Janeiro: SENAI / CETIQT, 1987.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for Water and Wastewater**. 18. ed., Washington: APHA, 1992.

ARAÚJO, F. V. F.; YOKOYAMA, L. TEIXEIRA, L. A. C. Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H₂O₂/UV. **Química Nova**. v. 29, n. 1, p. 11-14, 2006.

ARAÚJO, M.; ROCHA, A. M. **Tecnologia da Tecelagem**. Lisboa: Direção Geral da Indústria - Ministério da Indústria e Energia. v. I, 1989.

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

ARSLAN-ALATON, I.; ALATON, I. Degradation of xenobiotics originating from the textile preparation, **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 68, p. 98-107, 2007.

BABA, D.; YASUTA, T.; YOSHIDA, N.; KIMURA, Y.; MIYAKE, K.; INOUE, Y.; TOYOTA, K.; KATAYAMA, A. Anaerobic biodegradation of polychlorinated biphenyls by a microbial consortium originated from uncontaminated paddy soil. **World Journal Microbiol Biotechnol**. p. 1267-1636, 2007.

BALAN, D. S.; MONTEIRO, R. T. Decolorization of textile indigo dye by ligninolytic fungi. **Journal Biotechnology**, v. 89, p. 141-145, 2001.

BANAT, M. I.; NIGAM, P.; SINGH, D.; MARCHANT, R. Microbiol decolorization of textile-dye-containing effluents: a review. **Bioresource technology**. v. 58, p. 217-227, 1996.

BARRADAS, J. L. D. Tanino - **Uma solução ecológicamente correta: Agente floculante biodegradável de origem vegetal no tratamento de água**. Novo Hamburgo: EDITORA, 2004.

BARROS, M. J., NOZAKI J. Redução de poluentes de efluentes das indústrias de papel e celulose pela floculação/coagulação e degradação fotoquímica. **Química Nova**. v. 25, n. 5, p. 736-740, 2002.

BARROS-NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos - pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas, Editora da Unicamp, 2005.

BERNARDO, L; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**, São Carlos: RiMa, v. 2, 2005, 792p.

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

BOUAID, A.; MARTINEZ, M.; ARACIL, J. Comparative study of the production of ethyl esters from vegetable oils as a biodiesel fuel optimization by factorial design. **Chemical Engineering Journal**. v.134, p. 93-99, 2007.

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

BOX, G.E.O.; BEHNKEN, D.W. Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics*, v.2, p.455-475, 1960.

BRAILE, P. M. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. 764 p.

BRASIL - Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2006.

BRITO, N. N.; ZAMORA, P. P.; NETO, A. L. O.; BATTISTI, A.; PATERNIANI, J. E. S.; PELEGRINI, R. T. Biorremediação e controle ambiental. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 4. Disponível em: <http://www.ceset.unicamp.br/lte/Artigos/4fec02_2004.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2006.

CASYTILHO, K.; GARCIA, C. **Moda Brasil - Fragmentos de um vestir tropical**. São Paulo: Anhembi Morumbi, 2001, 144p.

CAULIBALY, L.; GOURENE, G.; AGATHOS, N. S. Utilization of fungi for biotreatment for raw wastewaters. **African Journal of Biotechnology**. v. 2, p. 620-630, 2003.

CAVADID, D. L.; ZAIAT, T. M.; FORESTI, E. Performance of horizontal-flow anaerobic immobilized sludge reactor treating synthetic substrate subjected to decreasing COD to sulfate ratios. **Water Science and Technology**. v. 39, p. 99-106, 1999.

CHANDER, M.; ARORA, D. S.; BATH, H. K. Biodecolourisation of some industrial dyes by white fungi. **Journal Ind. Microbiol. Biotechnology**. v. 31, p. 94-97, 2004.

CHEN, B.-Y.; CHANG, J.-S. Assessment upon species evolution of mixed consortia for azo dye decolorization. **Journal of the Chinese Institute of Engineers**, v. 38, p. 259-266, 2007.

CHRISTIE, R. **Colour Chemistry**. Cambridge: The Royal Society of Chemistry. 2001.

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

CHUNG, T.; TSENG, H.; JUANG, R. Mass transfer effect and intermediate detection for degradation in immobilized *Pseudomonas putida* systems. **Process Biochemistry**, v. 0, p.1-11, 2003.

COTTA, J. A.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R., Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR. **Química Nova**. v. 29, p 40-45, 2006.

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Diagnóstico ambiental das lavanderias de Toritama - PE**, Recife, 2005.

DANTAS-NETO, A. A.; DANTAS, T. N. C.; BELTRAME, L. T. C.; MOURA, M. C. P. A. Use of Microemulsion for Removal of Color and Dyes from Textile Wastewater. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**. v. 79, p. 645-650, 2004.

DURÁN N.; MORAIS, S. G.; FREIRE, R. S. Degradation and toxicity reduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonization processes. **Chemosphere**. v. 40, p. 369 - 373, 2000.

DURÁN, N.; ESPÓSITO, E. Potential applications of oxidative enzymes and phenoloxidase - like compounds in wastewater and soil treatment: a review. **Applied Catalysis B: Environmental**, p. 83-89, 2000.

EFEITOS mais que especiais... com auxiliares têxteis para lavanderias. **COGNIS we know how**. São Paulo: Textiletecnology, 200_.

ESPECIAL 50 anos Toritama. DIÁRIO DE PERNAMBUCO. Recife, quinta-feira, 22 janeiro de 2004.

FAGHALI, M.; DWYER, D. **As engrenagens da moda**. Rio de Janeiro: Senac, 2001, 157p.

FERREIRA V. S., MAGALHÃES D. B., KLING S.H, DA SILVA J. G., BON E. P. S., Ndemethylation of methylene Blue by Lignin peroxidase from *hanerochaete chrysosporium*. **Applied Biochemical Biotechnology**, p. 84- 86, p. 255-65, 2000.

FERREIRA, O. P. **Desenvolvimento de materiais porosos biodimensionais, à base de Al³⁺ e M²⁺ (Zn, Mg), para uso na remediação de efluentes de indústrias têxteis**.

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

Campinas, 132f. Dissertação (Mestrado em Química do Estado Sólido) - Universidade Estadual de Campinas, 2001.

FORGIARINI, E. Degradação de corantes e efluentes têxteis pela enzima *Horseradish* peroxidase (HRP). 2006. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina.

GHASEMPUR, S.; TORABI, S-F.; RANA EI-SIADAT, S-O.; JALALI-HERAVI, M.; GHAEMI, N.; KHOSRO, K. Optimization of peroxidase-catalyzed oxidative coupling process for phenol removal from wastewater using response surface methodology. *Environmental Science & Technology*, v. 41, p. 7073-7079, 2007.

GHAZALI, F. M.; RAHMAN, R. N. Z. A.; BASRI, A. B. S.; MAHIRAN. Biodegradation of hydrocarbons in soil by microbial consortium. **International Biodeterioration & Biodegradation**. v. 54, p. 61-67, 2004.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**. v. 23, p. 71-78, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 24 abr. 2007.

JOO, D. J.; SHIN, W. S.; CHOI, J.-H.; CHOI, S. J.; KIM, M.-C.; HAN, M. H.; HA, T. W.; KIM, Y.-H. Decolorization of reactive dyes using inorganic coagulants and synthetic polymer. **Dyes and Pigments**. v.73, p. 59-64, 2007.

KAMIDA, H. M.; DURRANT, L. R.; MONTEIRO, R. T. R.; ARMAS, E. D. Degradação de efluentes têxteis por *Pleurotus sajor-caju*. **Química Nova**. v. 28, p. 629-632, 2005.

KHEHRA, M.; SAINI, H. S.; SHARMA, D. K.; CHADHA, B. S.; CHIMNI, S. S. Decolorization of various azo dyes by bacterial consortium. **Dyes and pigments**, v. 67, p. 55-61, 2005.

KOSITZI, M.; ANTONIADIS, A.; POULIOS I.; MALATO, S. Solar photocatalytic treatment of simulated dyestuff effluents. **Solar Energy**. v. 77, p. 591-600, 2004.

KUNAMNENI, A.; KUMAR, K. S.; SINGH, S. Response surface methodological approach to optimize the nutritional parameters for enhanced production of α -amilase in solid

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

fermentation by *Thermomyces lanuginosus*. **African Journal of Biotechnology**, v. 4, p. 708-716, 2005.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes industriais. **Química Nova**. v. 25, p. 78-82, 2002.

LEÃO, M. D. Desenvolvimento tecnológico para controle ambiental na indústria têxtil - Malhas no Estado de Minas Gerais. **Relatório final**. Belo Horizonte, 1999, 255 p.

LEVIN, L.; PAPINUTTI, L.; FORCHIASSIN; F. Evaluation of Argentinean white rot fungi for their ability to produce lignin-modifying enzymes and decolorize industrial dyes. **Bioresource Technology**. v. 94, p. 169-176, 2004.

LIN, S. H., CHEN, M. L. Treatment of textile wastewater by chemical methods for reuse. **Water Research**. v. 31, p. 868-876, 1997.

METCALF & EDDY, Inc. Constituents in wastewater. In: _____ **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed., rev. G. Tchobanoglous, F. L. Burton, H. D. Stensel. New York: McGraw-Hill, p. 29-151, 2003.

METCHE, M. Tanins, nature et propriétés. Nancy : **Groupe Polyphénols**. v.10, p. 11-32, 1980.

MEZOHEGYI, G.; KOLODKIN, A.; CASTRO, U. I; BENGGOA, C.; STUBER, F.; FONT, J.; FABREGAT, A.; FORTUNY, A. Effective anaerobic decolorization of azo dye acid orange 7 in continuous upflow packed-bed reactor using biological activated carbon system. **Industrial & Engineering Chemistry Research**. v. 46, p. 6788-6792, 2007.

MONTEIRO, D. C. F.; SANTOS, A. M. M. M. Cadeia têxtil: estruturas e estratégias no comércio exterior. Rio de Janeiro: **BNDS setorial** n. 15, p. 113-136, 2002.

MOOSVI, S.; KHER, X.; MADAMWAR, D. Isolation, characterization and decolorization of textile dyes by a mixed bacterial consortium JW-2. **Dyes and pigments**, v. 74, p. 723-729, 2007.

MORAES, L. C. K.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G.; BONGIOVANI, M. C.; HENNIG, D. Avaliação da eficiência de remoção de cor e turbidez, utilizando como

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

coagulante os taninos vegetais, com a finalidade de obtenção de água tratada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007. Belo Horizonte, **Anais ... CD-rom** (I -178), 2007.

MORAES, L. C. K.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G.; RIBEIRO, R. M. Utilização do polímero natural quitosana no processo de coagulação / floculação / ultrafiltração para a produção de água potável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005. Campo Grande, **Anais ... CD-rom**, 2005.

MUTHUELAYUDHAM, R.; VIRUTHAGIRI, T. Optimization and modeling of cellulase protein form *Trichoderma reesei* Rut C30 using mixed substrate. **African Journal of Biotechnology**. v. 6, p. 041-046, 2007.

NEVES, M. C. P. Indigófera. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/leguminosas/indigofera.html>>. Acesso em: 02 fev. 2007.

NIGAM, P; MULLAN, G. Mc; BANAT, I. M.; MARCHANT, R. Decolorisation of effluent from the textile industry by a microbial consortium. **Biotechnology Letters**. v. 18, p. 117-120, 1996.

OLIVEIRA, J. R.; SOUZA, R. R. Biodegradação de efluentes contendo corantes utilizados na indústria têxtil. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA, 2003, Aracajú. **Anais... CD-rom**. 2003.

ÖZACAR, M., SENGIL, I. A. Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. v. 229, p. 85-96, 2003.

PARALES, R. E.; HADDOCK, J. D. Biocatalytic degradation of pollutants. **Curr Opin Biotechnol**. v. 15, p. 374-379, 2004.

PARK, C.; LEE, M.; LEE, B.; KIM, S.-W.; CHASE, H. A.; LEE, J.; KIM, S. Biodegradation and biosorption for decolorization of synthetic dyes by *Funalia trogii*. **Biochemical Engineering Journal**. v. 36, p. 59-65, 2007.

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

PASCHOAL, F. M. M.; TREMILIOSI-FILHO, G. Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais. **Química Nova**. v. 28, p. 766-772, 2005.

PERALTA-ZAMORA, P.; TIBURTIUS, E. R. L; MORAES, S. G; DURÁN, N. Degradação enzimática de corantes têxteis. **Química Têxtil**. v. 68, p. 32-38, 2002.

PERES, C. S; ABRAHÃO A. J. Características e sistemas de tratamento de águas residuais das indústrias têxteis. **Tecnologia do Meio Ambiente**. 1999.

PINHEIRO, H. M.; TOURAUD, E.; THOMAS, O. Aromatic amines from azo dye reduction: status review with emphasis on direct UV spectrophotometric detection in textile industry wastewater. **Dyes pigments**. v. ----, p. 121-139, 2004.

PIZZI, A. Tanin-Based adhesives. In: _____ **Chemistry and echnology**, New York: **Wood adhesives**, p. 177-246, 1993.

RAVIKUMAR, K.; KRISHNAN, S.; RAMALINGAM, S.; BALU, K. Optmization of process variables by application of response surface methodology for dye removal using a novel adsorvent. **Dyes and Pigments**. v.72, p. 66-77, 2007.

RECICLAGEM que serve de exemplo. Disponível em: <[http: www.pernambuco.com](http://www.pernambuco.com)>. Acesso em: 23 abr. 2006.

RIGAS, F.; PANTALEOS, P. LAOUDIS, C. **Central Composite Design in a refinery's wastewater treatment by air flotation**. Global Nest: the Int. J., n.3 p. 245-253, 2000.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. Campinas: Casa do Pão, 2005.

SANTOS, A. B. et al. Enhancing the electron transfer capacity and subsequent colour removal in bioreactors by applying thermophilic anaerobic treatment and redox mediators. **Biotechnology and Bioengineering**. v. 89, p. 42-52, 2005.

SARAVANATHAMIZHAN, R.; MOHAN, N.; BALASUBRAMANIAN, N.; RAMAMURTHI, V.; AHMEDBASHA, C. Evaluation of Eletro_oxidation of Textile Effluent Using Response Surface Methods. **Clean**. v.35, n.4, p.355-361, 2007.

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

SEBRAE/PE. Confecção em Pernambuco. Disponível em: <http://www.sebraepe.com.br>
.Acesso em: 19 jun. 2003.

_____. Estudo de Caracterização Econômica do Pólo de Confecções do Agreste de Pernambuco FADE/UFPE, jul. 2003. Disponível em: <http://www.sebraepe.com.br>. Acesso em: 25 jul. 2003.

SENAI **Beneficiamento de jeans e tingimento de peças confeccionadas**. Recife: SENAI - PE / DITEC / DET, 1998, 52p.

SHARMA, D. K.; SAINI, H. S.; SINGH, M.; CHIMNI, S.S. Biodegradation of acid blue-15, a textile dye by an up-flow immobilized cell bioreactor. **Journal Ind Microbiol Biotechnol.** v. 31, p. 109-114, 2004.

SILVA, F. J. A.; SOUZA, L. M. M.; MAGALHÃES, S. L. Uso potencial de biopolímeros de origem vegetal na descolorização de efluente têxtil índigo In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 22., 2004. Santa Catarina, **Anais ... CD-rom**, 2004.

SILVA, G. L. Redução de corante em efluente de processos de tingimento de lavanderias industriais por adsorção em argila. 2005. 116f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas.

SILVA, F. J. A.; SOUZA, L. M. M.; MAGALHÃES, S. L. Uso potencial de biopolímeros de origem vegetal na descolorização de efluente têxtil índigo In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 22., 2004. Santa Catarina, **Anais ... CD-rom**, 2004.

SOUZA, S. M. A. G. U.; FORGIARINI, E.; SOUZA, A. A. U. Toxicity of textile dyes and their degradation by the enzyme Horseradish Peroxidase (HRP). **Journal of Hazardous Materials.** v. 147, p. 1073-1078, 2007.

SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e o tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005, 452p.

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

STEINHART, M. R. V. Auxiliares têxteis do ponto de vista dos tensoativos. **Química Têxtil**. v. 61, p.76-80, 2000.

STOLZ, A. Basic and applied aspects in the microbial degradation of azo dyes. **Applied Microbiology and Biotechnology**. v. 56, p. 69-80, 2001.

SUDARJANTO, G.; KELLER-LEHMANN, B.; KELLER, J. Optimization of integrated chemical-biological degradation of a reactive azo dye using response surface methodology. **Journal of Hazardous Materials**. v. 138, p. 160-168, 2006.

VANACÔR, R. N.; GEHLING, G. R. Caracterização do efluente da lavagem dos filtros de uma ETA convencional utilizando coagulante orgânico derivado do tanino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2007, Rio de Janeiro. **Anais ... Cd-rom (I-008)**, 2007.

YOKOYAMA, L.; ARAÚJO, F.F.A.; TEIXEIRA, L.A.C. Degradation of reactive dyes by photoactive hydrogen peroxide oxidation with ultraviolet radiation. In: *Enpromer* 0237

ZANONI, M. V. B.; CARNEIRO, P. A. O descarte dos corantes têxteis. **Ciência Hoje**. n. 29, p. 62-63, 2001.

ZENAITIS, M. G.; SANDHU, H.; DUFF, S. J. B. Combined biological and ozone treatment of log yard run-off. **Water Research**. v. 39, p. 2053-2061, 2002.

CAPÍTULO 2

TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES DE LAVANDERIAS E TINTURARIAS INDUSTRIAIS DE TORITAMA, PERNAMBUCO*

Andréa Fernanda de Santana Costa

Bacharel em Economia Doméstica, Mestranda em Desenvolvimento em Processos Ambientais, Núcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais (NPCIAMB), Centro de Tecnologia e Meio Ambiente, Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife, PE;

Sérgio Carvalho de Paiva

Químico, Especialista em Biotecnologia Ambiental, Mestrando em Ciências dos Materiais; Professor do Centro de Tecnologia e Meio Ambiente, UNICAP;

Clarissa Daisy da C. Albuquerque

Engenheira Química, Dra. Engenharia Química; Professora-Pesquisadora do NPCIAMB, Centro de Tecnologia e Meio Ambiente, UNICAP;

Alexandra Amorim Salgueiro⁽¹⁾

Engenheira Química, Ph.D. em Microbiologia Aplicada; Professora-Pesquisadora do NPCIAMB, Centro de Tecnologia e Meio Ambiente, UNICAP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Isaac Salazar, 45/501, Tamarineira, Recife, Pernambuco, CEP 50050-160; Fones: (81) 3267 6732 e 2119 4017; Fax: (81) 2119 4043; aas@unicap.br.

* Artigo publicado no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

2.1 RESUMO

A produção de confecções e beneficiamento de jeans utiliza grande volume de água misturada a produtos químicos diversos, incluindo os corantes sintéticos, substâncias recalcitrantes que reduzem a fotossíntese e causam diferentes graus de toxicidade, mutagênese e carcinogênese para todos os seres vivos. O objetivo deste trabalho foi investigar um tratamento biológico, utilizando consórcio de microrganismos em efluente de lavanderias e tinturarias industriais de Toritama, localizada no agreste de Pernambuco. Consórcios de microrganismos foram obtidos a partir do efluente com adição ou não de nutrientes, a 28 – 30 °C, 1 vvm e 150 rpm. O crescimento microbiano foi avaliado por contagem padrão de bactérias e contagens de fungos filamentosos e leveduras. O potencial biotecnológico dos consórcios foi avaliado por atividades oxidases e descoloração de corantes por difusão em agar. Tratamentos biológicos do efluente foram realizados em frascos de Erlenmeyer, sendo investigadas as variáveis: agitação, aeração e consórcio de microrganismo sobre as variáveis respostas: cor e turbidez. O consórcio microbiano enriquecido com nutrientes apresentou crescimento exponencial até o quarto dia de cultivo, atividades oxidases na presença de ácido gálico e descoloração de um corante reativo preto e do “índigo blue”. O tratamento biológico aeróbico por consórcio microbiano é uma alternativa viável no tratamento de efluente de lavanderias e tinturarias industriais considerando a ação degradadora de corantes por microrganismos, eliminando a cor dessas águas residuárias. Entretanto, novos planejamentos associados à análise de superfície de resposta contribuirão para a otimização futura do processo de tratamento desse efluente.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento biológico, consórcio microbiano, lavanderia e tinturaria industriais.

2.2 INTRODUÇÃO

Uma grande variedade de corantes sintéticos é utilizada nas indústrias de tecido, papel, impressão e fotografia. Anualmente, são disponibilizados mais de 100.000 corantes comerciais com 7×10^5 tons usados na composição de tintas (NIGAM et al., 1996). Os processos têxteis são geradores de grandes volumes de efluentes complexos que apresentam intensidade de cor, concentrações de matérias orgânicas variadas e teores de sais elevados devido à descontinuidade e diversidade de etapas durante a produção e beneficiamento de tecidos (KAMIDA et al. 2005).

Esses efluentes contribuem potencialmente à degradação do meio-ambiente cuja legislação vem se tornando cada vez mais restritiva e a fiscalização, mais presente. Os corantes aplicados nas operações de tingimento e de beneficiamento são substâncias recalcitrantes que reduzem a fotossíntese e causam diferentes graus de toxicidade, mutagênese e carcinogênese para todos os seres vivos (SANTOS, BRAYNA, FLORÊNCIO, 2005).

Segundo Oliveira e Souza (2003), a indústria têxtil apresenta valor econômico e social, absorvendo expressiva quantidade de mão-de-obra e gerando divisas. No Brasil, esse setor ocupa o 5º lugar em empregos diretos e o 6º, em faturamento; dentre as 5.000 indústrias brasileiras, 11 % são de grande porte, 21 % de pequeno porte e 68 % microempresas.

Na região nordeste, a expansão de indústrias têxteis no segmento de vestuário desenvolveu no agreste pernambucano, um grande pólo produtor de confecções nas cidades de Santa Cruz do Capibaribe, Toritama e Caruaru. No município de Toritama, o beneficiamento de jeans concentra um importante pólo de lavanderias e tinturarias industriais, atualmente com cerca de 80 indústrias que geram em média 1.600 postos de trabalho. Essa atividade garante remunerações superiores à média salarial do estado, aumenta a arrecadação de impostos e desenvolve o comércio e o turismo local. Segundo Santos, Brayna e Florêncio (2005), o beneficiamento das confecções de jeans realizado em escala industrial consome aproximadamente 40 L de água por peça. O consumo mensal atinge em torno de 50.000 a 300.000 litros de água que geram grande volume de efluente, lançado no Capibaribe, rio intermitente da região do semi-árido pernambucano (RECICLAGEM, 2006).

A remoção da cor do efluente gerado no banho de lavagem é um dos grandes problemas do setor têxtil do ponto de vista ambiental. Estima-se que cerca de 15 % da produção mundial de corantes é desperdiçada para o meio ambiente durante a síntese, processamento e aplicação dessas substâncias. Isso é alarmante, considerando o lançamento de cerca de 1,2 tonelada por dia dessa classe de compostos para o meio ambiente. A principal fonte de perda corresponde à incompleta fixação dos corantes (10 – 20 %) durante a etapa de tingimento das fibras têxteis (GUARATINI, ZANONI, 2000).

O processo de tratamento biológico tem a vantagem de tratar grandes volumes de efluentes. A oxidação de corantes por ação de microrganismos transforma esses compostos em estruturas simples (gás carbônico, água e metano), envolvendo custos relativamente baixos. Os corantes de origem sintética e principalmente com estrutura aromática complexa são mais difíceis de serem degradados. São em sua maioria xenobióticos, ou seja, os sistemas naturais de microrganismos não contêm enzimas específicas para degradação desses compostos sob condições aeróbicas e, sob condições anaeróbicas, essa degradação se processa lentamente (PERALTA-ZAMORA et al., 2002; FORGIARINI, 2006).

A utilização de consórcios microbianos tem sido investigada para reduzir o tempo de degradação aeróbica dessas substâncias presentes em efluentes por ação de espécies não identificadas que atuam em sinergismo (ABRAHAM et al., 2003). Uma mistura de bactérias foi investigada na descoloração de compostos azo com remoção de 76 % da cor do efluente de uma planta têxtil depois de 3 dias de atuação sinérgica do consórcio. O tratamento biológico com consórcio microbiano apresenta-se como uma alternativa simples, rápida e econômica para a descoloração de corantes (NIGAM et al., 1996).

O objetivo deste trabalho foi investigar o potencial biotecnológico de consórcio de microrganismos obtidos a partir de efluente de lavanderias e tinturarias industriais de Toritama, localizada no pólo de confecções da região Agreste de Pernambuco.

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Amostragem – três amostras de efluentes foram coletadas no terceiro tanque de equalização da lavanderia e tinturaria industriais Mamute na cidade de Toritama em Pernambuco no mês de julho de 2006.

Caracterização do efluente – foram realizadas as seguintes determinações no efluente segundo o Standard Methods for Water and Wastewater (APHA, 1992):

- macroscópicas: cor e odor;
- físico-químicas: pH, condutividade elétrica, turbidez e cor por espectrofotometria a 455 nm (Programa 950, DR2010 / HACH);
- microbiológicas: contagem padrão de bactérias em meio ágar triptona glicose extrato de levedura (Plate Count Agar) por incubação a 35 °C durante 48 h e contagem de leveduras e fungos filamentosos no meio ágar malte por incubação a 20 °C durante 5 – 7 dias.

Obtenção dos consórcios – amostras de efluentes foram cultivadas em reator de vidro com circulação de água e volume útil de 1200 mL, na presença ou não de nutrientes (4 g/L glicose e 1 g/L sulfato de amônio), a 28 – 30 °C, 1 vvm e 150 rpm, durante 30 dias; foi utilizado um inóculo a 20 % v/v cultivado nas mesmas condições de trabalho em frasco de Erlenmeyer durante 3 dias; pulsos do efluente foram adicionados aos reatores semanalmente.

Avaliação do potencial biotecnológico – pela técnica de difusão em ágar, amostras dos consórcios foram inoculadas em triplicata, utilizando o meio de ágar malte, a 30 °C durante 3 dias; as atividades oxidases foram investigadas na presença de ácido tânico (5 g/L) e ácido gálico (5 g/L) como substratos. Os testes de descoloração foram realizados segundo Borokhov e Rothenburger (2000), utilizando três corantes na concentração de 0,5 g/L no meio de ágar malte: “digo blue”(Clariant) e os corantes reativo vermelho (5-2B, Benzema) e reativo preto (V-B 150, Benzema). Todos os corantes foram doados pela Suape Têxtil (PE).

Tratamento biológico – amostras de efluentes foram tratadas a 28 °C em frascos de Erlenmeyer de 500 mL, contendo volume útil de 200 mL nas condições experimentais estabelecidas por planejamentos fatoriais (Tabela 2.3.1); foram determinados pH, cor e turbidez após 48 h para avaliação do tratamento do efluente.

Tabela 2.3.1 Condições experimentais do planejamento fatorial

FATORES	NÍVEL (-)	PONTO CENTRAL	NÍVEL (+)
Consórcio (% v/v)	0	5	10
Agitação (rpm)	0	100	200
Aeração (vvm)	0	0,5	1,0

Planejamento Experimental – planejamento fatorial completo com ponto central 2³ foi realizado para investigar os efeitos e interações das variáveis independentes: concentração do consórcio, agitação e aeração sobre as variáveis respostas: cor e turbidez (BARROS-NETO, SCARMÍNIO, BRUNS, 1995).

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No processo de beneficiamento de jeans nas lavanderias e tinturarias industriais de Toritama, os efluentes brutos apresentaram macroscopicamente coloração azul dominante, forte odor de matéria em putrefação e sedimento constituído de fibras e resíduos de corantes.

Os efluentes foram coletados à temperatura média de 29,5 °C; foi determinado pH neutro na faixa de 5,9 – 7,0 cujos parâmetros obedeceram à legislação vigente (BRASIL, 2005). A turbidez média das amostras desse efluente atingiu 16 UNT. O valor mínimo determinado de DQO foi 548 mg O₂/L e o máximo 608 mL/L O₂. Foram determinados valores elevados para o parâmetro cor; a cor aparente variou de 1240 a 1360 mgPt/L e a cor verdadeira, de 229 a 235 mgPt/L (Tabela 2.4.1).

Analisando esses parâmetros, justifica-se a pequena variação dos valores determinados devido às amostras terem sido coletadas no terceiro tanque de equalização de uma lavanderia e tinturaria industriais. A condutividade elétrica foi o parâmetro físico-químico investigado que apresentou a maior variação; o valor mínimo determinado foi 208 µS/cm enquanto o máximo atingiu 824 µS/cm condutividade elétrica elevada é justificada pelo acúmulo de sais na reciclagem de água durante o beneficiamento de jeans (SILVA, 2005).

Tabela 2.4.1 Caracterização de efluente de lavanderia e tinturaria industriais

PARÂMETROS \ EFLUENTE	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	MÉDIA
Turbidez (UNT)	19,5	13	16,5	16,3 + 3,253
pH	5,9	6,6	7,0	6,5 + 0,557
Temperatura (°C)	31	27	30	29,3 + 2,082
DQO (mg/L O ₂)	608	548	602	586 + 33,045
Condutividade elétrica (µS/cm)	-	745	824	784,5 + 55,861
Cor aparente (mgPt/L)	1360	1240	1280	1280 + 69,282
Cor verdadeira (mgPt/L)	229	265	235	243 + 19,287

Na avaliação do conteúdo microbiológico das três amostras do efluente, foram determinados os valores máximos de 3 x 10⁷ UFC/mL para bactérias, 2 x 10² UFC/mL para leveduras e 4 x 10 UFC/mL para fungos filamentosos (Tabela 2.4.2). Essas quantidades de microrganismos

determinadas no efluente de lavanderia e tinturaria industriais justificam a proposta de obtenção de consórcio microbiano. Os compostos presentes no efluente atuam como substratos para as bactérias, leveduras e fungos filamentosos que metabolizam os nutrientes para crescimento e manutenção celular durante o tratamento biológico (UZURA et al., 2000 apud GUARATINI, ZANONI, 2000).

Tabela 2.4.2 Conteúdo microbiológico de efluente de lavanderia e tinturaria industriais

MICROORGANISMO \ EFLUENTE	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3
Bactérias (UFC/mL)	2×10^6	3×10^7	2×10^7
Leveduras (UFC/mL)	7×10	2×10^2	1×10^0
Fungos filamentosos (UFC/mL)	3×10	1×10	4×10

Na avaliação do potencial biotecnológico das amostras dos consórcios microbianos investigados, foram visualizados halos de cor marrom, detectados na presença de ácido gálico com 7 dias de incubação. Esses halos característicos aumentaram gradativamente em tamanho e em intensidade de coloração durante os cultivos dos consórcios, evidenciados nas amostras testadas com 14, 21 e 30 dias (Figura 2.4.1). O maior percentual de testes positivos de oxidases foi detectado nos consórcios cultivados na presença dos nutrientes glicose e sulfato de amônio. Abraham e colaboradores (2003) detectaram a presença de lacases, utilizando como substrato ABTS (ácido 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolona)-6 sulfônico) em amostra de consórcio microbiano constituído por bactérias com capacidade de descolorir aerobicamente corantes azóicos da indústria têxtil.



Figura 2.4.1 Atividade oxidase na presença de ácido gálico do consórcio microbiano obtido a partir de efluente de lavanderia e tinturaria industriais

A Tabela 2.4.3 apresenta a capacidade do consórcio de microrganismos obtido na presença de nutrientes em descolorir o “índigo blue” e o corante reativo preto. O corante reativo vermelho investigado não foi descolorido por nenhuma das amostras de consórcio testadas. Os halos de descoloração por amostras do consórcio com 7, 14, 21 e 30 dias de cultivo

foram detectados com 48 h de incubação das placas de Petri contendo os corantes. A partir de 72 h de incubação, o crescimento de fungos filamentosos em colônias gigantes impediu evidenciar diferença na intensidade das descolorações nas placas de Petri investigadas.

A habilidade dos microrganismos existentes no consórcio em apresentar ação oxidativa, alterando a cor de corantes utilizados na indústria têxtil, ressalta a potencialidade da ação sinérgica de microrganismos para futura aplicação no tratamento de efluente de lavanderia e tinturaria industriais (BOROKHOV, ROTHENBURGER, 2000; ABRAHAM et al., 2003).

Tabela 2.4.3 Descoloração de corantes por consórcio microbiano obtido a partir de efluente de lavanderia e tinturaria industriais

INCUBAÇÃO	24 h	48 h
CORANTE		
Reativo vermelho	-	-
Reativo preto	-	+
Índigo <i>blue</i>	-	+

Considerando que os melhores resultados de descoloração de corantes e de atividade oxidase foi apresentado pelo consórcio microbiano obtido na presença de nutrientes com 7 dias de cultivo, essa foi a condição utilizada na investigação do tratamento de efluente.

Na primeira etapa do cultivo para obtenção do consórcio microbiano na presença de nutrientes, o número de microrganismos viáveis cresceu exponencialmente, atingindo o máximo de 3×10^{10} UFC/mL de bactérias com 4 dias cujo valor diminuiu gradativamente conforme ilustra a Figura 2.4.2. O número de fungos variou em função da competição sinérgica entre as leveduras e esses organismos filamentosos. Foi enumerado o valor máximo de 10^5 UFC/mL de leveduras no segundo dia de cultivo cujas colônias não foram evidenciadas a partir do aparecimento de colônias gigantes de fungos filamentosos que atingiu um valor maior do que 10^3 UFC/mL no quinto dia de incubação.

Na segunda etapa para investigação do consórcio microbiano, após 7 dias de cultivo com a adição dos pulsos do efluente, o crescimento de microrganismos foi incentivado e o número de bactérias atingiu a ordem de grandeza de 10^{11} UFC/mL.

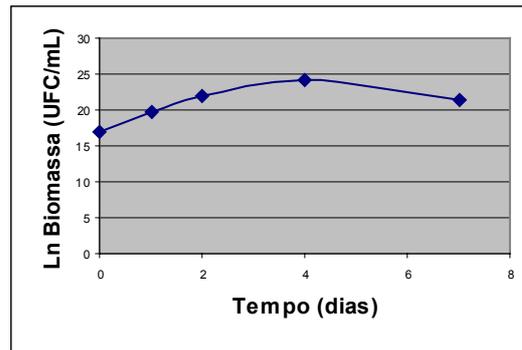


Figura 2.4.2 Curva de crescimento do consórcio microbiano obtido a partir de efluente de lavanderia e tinturaria industriais

A Tabela 2.4.4 apresenta a matriz de planejamento fatorial completo 2^3 com as variáveis independentes ou fatores concentração do consórcio, agitação e aeração na forma real e os resultados das variáveis respostas cor e turbidez observados experimentalmente em cada combinação de níveis (condição experimental). Ao todo foram realizados doze ensaios, sendo quatro deles repetições no ponto central.

Nas Figuras 2.4.3 e 2.4.4 são apresentados os diagramas de Pareto – com nível de significância de 95 % para estimativa dos efeitos principais lineares e de segunda ordem em valor absoluto do planejamento fatorial completo 2^3 – correspondentes as variáveis respostas cor e turbidez. A magnitude de cada efeito é representada pelas colunas e a linha transversal às colunas correspondente ao valor de p igual a 0,05 indica o quão grande deve ser o efeito para ter significado estatístico.

Tabela 2.4.4 Cor e turbidez nas condições experimentais do planejamento fatorial completo 2³

ENSAIO	CONSÓRCIO (% v/v)	AGITAÇÃO (rpm)	AERAÇÃO (vvm)	COR (mg/L Pt Co)	TURBIDEZ (UNT)
1	0	0	0	194	78,75
2	10	0	0	248	90,5
3	0	200	0	310	78,5
4	10	200	0	403	87
5	0	0	1,0	221	67,5
6	10	0	1,0	349	115
7	0	200	1,0	224	112,5
8	10	200	1,0	492	145
9	5	100	0,5	233	30
10	5	100	0,5	326	43
11	5	100	0,5	322	31
12	5	100	0,5	278	31

A análise do primeiro diagrama de Pareto (Figura 2.4.3) indica que nas condições estudadas, o aumento da concentração do consórcio e o aumento da velocidade de agitação, apresentaram efeitos positivos significativos para o aumento da coloração do efluente, ou seja, ambos em seus níveis mais altos desfavoreceram significativamente a descoloração do efluente. Por outro lado, o efeito da interação entre o consórcio e a agitação e o efeito da interação entre o consórcio e a aeração apesar de terem também desfavorecido a descoloração, não apresentaram significância do ponto de vista estatístico. O efeito da interação entre a agitação e a aeração apesar de não ter contribuído para o aumento da cor não foi estatisticamente significativo. A maior descoloração foi obtida nos níveis inferiores dos três fatores estudados (condição 1): sem consórcio, sem agitação e sem aeração.

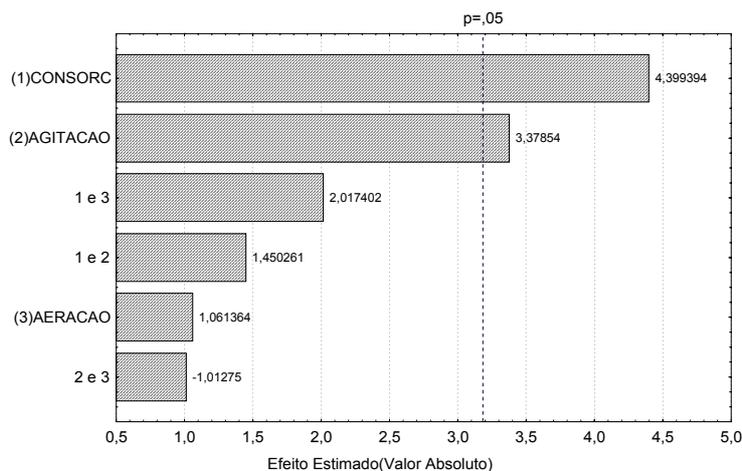


Figura 2.4.3 Diagramas de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores a concentração do consórcio, a agitação e a aeração e como variável resposta a cor. O ponto, no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos (em $p=0,05$) é indicado por uma linha tracejada vertical

A análise do segundo diagrama de Pareto (figura 2.4.4) sugere que, nas condições estudadas, a concentração do consórcio, a velocidade de agitação e a aeração em seus níveis mais altos, favoreceram significativamente o aumento da turbidez do efluente. Pode-se ainda observar que o efeito da interação entre agitação e aeração e o efeito da interação entre concentração do consórcio e aeração também influenciaram significativamente o aumento da turbidez do efluente. A interação entre a concentração do consórcio e a agitação embora não tenha contribuído para o aumento da turbidez, não apresentou efeito estatisticamente significativo. A menor turbidez obtida foi alcançada no ponto central do planejamento, com concentração do consórcio de 5 % v/v, agitação de 100 rpm e aeração de 0,5 vvm.

Baseado nos resultados obtidos fica evidente a necessidade de realização de novo planejamento fatorial 2^3 com valores de concentração do consórcio, velocidade de agitação e aeração no nível superior, menores que os adotados no planejamento apresentado neste trabalho.

Entretanto, antes de adotar o tratamento biológico é necessário analisar e otimizar as condições do processo de descoloração do efluente. Planejamento fatorial e metodologia de superfície de resposta (RSM – “Response Surface Methodology”) são ferramentas importantes para o entendimento e otimização de processos complexos, como os de descoloração microbiológica de efluentes de lavanderias e tinturarias industriais da cidade de Toritama em Pernambuco. Portanto, novos planejamentos associados à análise de

superfície de resposta contribuirão para a otimização futura do processo de descoloração do efluente.

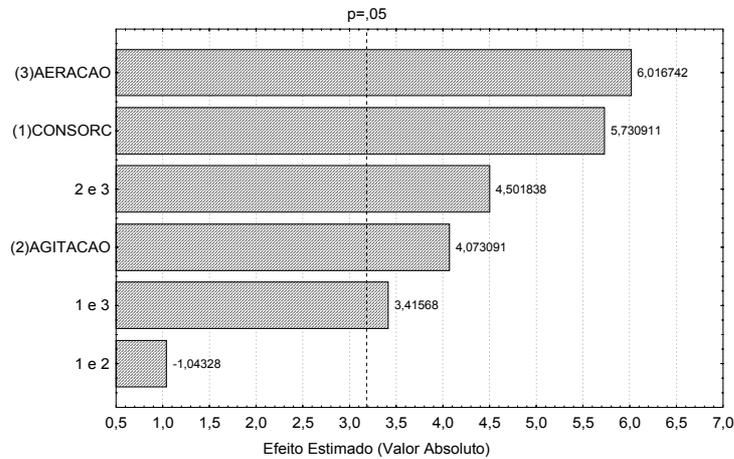


Figura 2.4.4 Diagramas de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores a concentração do consórcio, a agitação e a aeração e como variável resposta a turbidez. O ponto, no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos (em $p=0,05$) é indicado por uma linha tracejada vertical

2.5 AGRADECIMENTO

A Universidade Católica de Pernambuco pelo apoio financeiro para que essa pesquisa fosse realizada. A Lavanderia Mamute, na pessoa de Edílson Tavares de Lima, pelo apoio para que as amostras do efluente bruto fossem coletadas. A Suape Têxtil – PE, pelos corantes cedidos e a disponibilidade para que fosse realizada a determinação de cor.

2.6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O tratamento biológico aeróbico por consórcio microbiano é uma alternativa viável no tratamento de efluente de lavanderias e tinturarias industriais considerando à ação degradadora de corantes por microrganismos, eliminando a cor desse efluente, diminuindo o impacto ambiental causado por corantes na região Agreste de Pernambuco.

Devido à complexidade do processo de descoloração de efluentes de lavanderias e tinturarias industriais, um novo planejamento fatorial associado à metodologia de superfície de resposta (RSM), será aplicado visando à obtenção de um maior entendimento e otimização do processo.

2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for Water and Wastewater. 18. ed., Washington: APHA, 1992.

ABRAHAM, T. E.; SENAN, R. C.; SHAFFIQU, T. S.; ROY, J. J.; POULOSE, T. P.; THOMAS, P. P. Bioremediation of textile azo dyes by an aerobic bacterial consortium using a rotating biological contactor. *Biotechnol. Prog.* v. 19, p. 1372-1376, 2003.

BARROS-NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Planejamento e Otimização de Experimentos. São Paulo: UNICAMP. 1995, 232p.

BRASIL – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2006.

FORGIARINI, E. Degradação de corantes e efluentes têxteis pela enzima *Horseradish Peroxidase* (HRP). Florianópolis. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – UFSC, 2006.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. *Química Nova*. v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

KAMIDA, H. M.; DURRANT, L. R.; MONTEIRO, R. T. R. M.; ARMAS, E. D. Degradação de efluente têxtil por *Pleurotus sajor-caju*. *Química Nova*. v. 28, n. 4, p. 629-632, 2005.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURAN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes industriais. *Química Nova*. v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

NIGAM, P; MULLAN, G. Mc; BANAT, I. M.; MARCHANT, R. Decolourisation of effluent from the textile industry by a microbial consortium. *Biotechnology Letters*. v. 18, p. 117-120, 1996.

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

OLIVEIRA, J. R.; SOUZA, R. R. Biodegradação de efluentes contendo corantes utilizados na indústria têxtil. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA, 2003, Aracajú. Anais... CD-rom. 2003.

PERALTA-ZAMORA, P.; TIBURTIUS, E. R. L; MORAES, S. G; DURÁN, N. Degradação enzimática de corantes têxteis. Química Têxtil. v. 68, p. 32-38, 2002.

RECICLAGEM que serve de exemplo. Disponível em: <[http: www.pernambuco.com](http://www.pernambuco.com)>. Acesso em: 23 abr. 2006.

SANTOS, E. O.; BRAYNA, F. M. M.; FLORÊNCIO, L. Estudo do tratamento dos efluentes de uma lavanderia e tinturaria de jeans através de um reator seqüencial em batelada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, Campo Grande. Anais... CD-rom. Campo Grande: ABES, 2005.

SILVA, G. L. da. Redução de corante em efluente de processos de tingimento de lavanderias industriais por adsorção em argila. Campinas. 2005. 116f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas.

CAPÍTULO 3

REMOÇÃO DE COR E REDUÇÃO DE TURBIDEZ EM EFLUENTE DE LAVANDERIA E TINTURARIA INDUSTRIAIS POR CONSÓRCIO MICROBIANO E AGENTES COAGULANTES*

Andréa Fernanda de Santana Costa

Núcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais (NPCIAMB)
Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais
Centro de Ciências e Tecnologia; Universidade Católica de Pernambuco

Clarissa Daisy da Costa Albuquerque

NPCIAMB; Centro de Ciências e Tecnologia; Universidade Católica de Pernambuco
Rua do Príncipe, 526, Boa Vista, Recife-PE, Brasil CEP: 50050-900
Tel.: +55-81-21194017; e-mail: cdaisy@unicap.br

Alexandra Amorim Salgueiro

NPCIAMB; Centro de Ciências e Tecnologia; Universidade Católica de Pernambuco
Rua do Príncipe, 526, Boa Vista, Recife-PE, Brasil CEP: 50050-900
Tel.: +55-81-21194017; e-mail: aas@unicap.br

*Manuscrito a ser submetido ao Electronic Journal of Biotechnology

Suporte financeiro – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Brasil.

3.1 RESUMO

O presente estudo investigou a remoção de cor e de turbidez em efluente de lavanderia e tinturaria industriais por consórcio microbiano e agentes coagulantes. Inicialmente, um planejamento fatorial completo 2^2 , com 4 ensaios e 3 repetições no ponto central, foi realizado para investigar os efeitos e interações das variáveis independentes: concentração de consórcio microbiano e agitação, sobre as variáveis repostas: cor e turbidez no tratamento biológico do efluente durante 48 horas. Nesse planejamento, o aumento da agitação desfavoreceu significativamente a descoloração e a maior remoção de cor foi obtida no ponto central do planejamento - concentração do consórcio a 1,25 % v/v e agitação de 50 rpm. Nessa condição experimental, a cor média atingiu aproximadamente 138 mgPt/L, correspondendo a uma descoloração do efluente não tratado de cerca de 90 %. Um planejamento fatorial completo 2^3 , com 8 ensaios e 4 repetições no ponto central, também foi realizado para investigar os efeitos e interações das variáveis independentes: concentração de tanino, pH e concentração do polímero POLICAP - 32 sobre as variáveis repostas: cor e turbidez no tratamento físico-químico do efluente bruto. O aumento da concentração de tanino e a interação entre as concentrações de tanino e de polímero favoreceram significativamente a descoloração do efluente. As maiores remoção de cor e redução de turbidez foram obtidas no ponto central do planejamento: concentração do tanino de 0,3 mg/L, polímero auxiliar de coagulação de 15 ppm e pH 7,5 durante 20 minutos. Nessas condições experimentais, a cor média final foi aproximadamente de 50 mgPt/L e a turbidez média aproximada de 4 UNT. A descoloração atingiu 96 % e a redução de turbidez, 79 % do efluente não tratado.

Palavras-chave: efluente industrial, lavanderia e tinturaria, consórcio microbiano, coagulação-floculação, descoloração, planejamento fatorial.

3.2 ABSTRACT

The present study investigated the removal of color in effluent from industrial laundry and dyeing of the microbial consortium and agents coagulants. Initially, a full factorial design 2^2 , with 4 runs and 3 replicates in the central point, was conducted to investigate the effects and interactions of the independent variables: microbial consortium concentration and agitation, on the response variables: color and turbidity on the biological treatment of the effluent during 48 hours. In this experimental design, the increase of the agitation unfavored significantly the decolorization. The largest removal of color was obtained from the central point of the factorial design – 1.25 % v/v consortium concentration and 50 rpm agitation. In this condition, the color average reached approximately 138 mgPt/L, corresponding a discoloration of untreated effluent of approximately 90 %. A full factorial design 2^3 , with 8 runs and 4 replications in central point, has also been conducted to investigate the effects and interactions of the independent variables: tannin concentration, pH and polymer concentration (POLICAP - 32) on the response variables: color and turbidity on the effluent physical-chemical treatment. The increase of the tannin concentration and the interaction between tannin and polymer concentrations significantly favored the discoloration of the effluent. The largest removal of color and further reduction of turbidity were obtained from the central point of the factorial design – 0.3 mg/L tannin concentration, 15 ppm polymer coagulation at pH 7.5 for 20 minutes. In this experimental condition, the average color was approximately 50 mgPt/L and the average turbidity, approximately 4 NTU. The decolorization reached 96 % and the turbidity reduction, 79 % of the untreated effluent.

Keywords: effluent industrial, laundry and dyeing, microbial consortium, coagulation-flocculation, decolorization, factorial design.

3.3 INTRODUÇÃO

As lavanderias e tinturarias industriais produzem grande volume de águas residuárias que degradam os corpos hídricos receptores. O processo de beneficiamento de peças em jeans gera efluentes que variam entre 50.000 a 300.000 litros por dia. A poluição dos recursos hídricos altera o ciclo biológico principalmente dos processos de fotossíntese, devido à presença de corantes e seus subprodutos que são carcinogênicos e ou mutagênicos (ARSLAN-ALATON, ALATON, 2007; ZAMORA et al., 2002).

Os corantes sintéticos são em sua maioria xenobióticos, ou seja, os sistemas naturais de microrganismos em rios e lagos não contêm enzimas específicas para degradação desse tipo de composto sob condições aeróbicas e, sob condições anaeróbicas, a degradação do corante ocorre muito lentamente. O corante índigo presente nos efluentes de lavanderias industriais de jeans é uma molécula altamente estável, insolúvel em meio aquoso e recalcitrante (ARSLAN-ALATON, ALATON, 2007; DELLAMATRICE, MONTEIRO, 2006; PERALTA, SOUZA, BOÊR, 2004).

Os efluentes têxteis apresentam além dos corantes, temperatura elevada, pH altamente flutuante, uma grande quantidade de sólidos suspensos, elevado teor de matérias oxidáveis, considerável quantidade de metais pesados (Cr, Ni e ou Cu), compostos orgânicos clorados e de surfactantes, sendo necessário a aplicação eficiente de técnicas de tratamento, para minimizar os impactos ambientais (METCALF & EDDY, 2003).

As indústrias têxteis devem realizar tratamentos de seus efluentes *in loco* antes de seu despejo final. Para o atendimento dessa exigência, pesquisas têm sido desenvolvidas na busca de tecnologias, visando à redução da carga orgânica e à descoloração de corantes nos efluentes. A eficiência na remoção de cor é necessária para o reuso da água no tingimento, sendo ausência de cor na água imprescindível na etapa do beneficiamento de confecções (MOHAMMAD et al., 2006).

Os tratamentos dos efluentes têxteis podem incluir processos físicos, químicos, físico-químicos e ou biológicos. Não há um método universal para o tratamento. Os métodos para descoloração e degradação de corantes envolvem diversas tecnologias devido à complexidade, variedade e natureza química dos corantes presentes nos efluentes têxteis (SPERLING, 2005; SUDARJANTO, KELLER-LEHMANN, KELLER, 2006).

O processo biológico trata grandes volumes de efluentes e fundamenta-se na oxidação por ação enzimática de microrganismos através de processos bioquímicos,

transformando compostos orgânicos em água, gás carbônico e ou metano. Esse tipo de tratamento utiliza os compostos presentes no efluente, como substratos para o crescimento e manutenção dos microrganismos que atuam no processo (UZURA et al. apud GUARATINI, ZANONI, 2000).

Abraham et al. (2003) investigaram tratamentos biológicos, utilizando um consórcio de microrganismos com bactérias e fungos de atuação eficiente na degradação de corantes azóicos em processos aeróbios. Os consórcios microbianos atuam por sinergismo entre espécies e apresentando capacidade enzimática de degradar poluentes complexos como os corantes (GHAZALI et al., 2004; PERALTA-ZAMORA et al., 2002).

Nas lavanderias e tinturarias no pólo de confecções no Agreste de Pernambuco, tem sido aplicado apenas tratamento físico-químico por coagulação, floculação e decantação por ser rápido, eficiente e prático, não exigindo conhecimento técnico específico e conseqüente necessidade de contratação de mão-de-obra especializada para ser aplicados. Os custos abrangem as substâncias coagulantes e à estrutura física dos tanques cujos volumes dependem da capacidade de cada empresa. Geralmente, o efluente tratado apresenta valores de cor, pH e concentração de sais adequados para ser reutilizado no processo de beneficiamento de jeans. Porém, esse tipo de tratamento gera grande volume de lodo que contém metais pesados e corantes (BARRADAS, 2005) cujo resíduo é armazenado em sacos e encaminhados ao aterro municipal, com um custo adicional para as empresas.

O tratamento biológico é obrigatório para os efluentes industriais de acordo com a legislação CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Nesse tratamento a geração de lodo é menor que no tratamento físico-químico. Entretanto, as condições físicas necessárias para o tratamento biológico dos efluentes e os custos inviabilizam sua aplicação em pequenas empresas.

Os processos aeróbios dependem de energia para promover aeração e/ou agitação do efluente. Os processos anaeróbios precisam de biorreatores específicos, que representam investimentos elevados. Nas lagoas, são necessárias extensas áreas e tempo prolongado para que se atinjam níveis de biodegradação por ação dos microrganismos. das substâncias tóxicas que não interfiram nas características do corpo receptor.

Muitas investigações de laboratório, descoloração, avaliam apenas o comportamento de efluentes sintéticos, contendo um ou mais corantes em concentrações baixas em cujas condições, as variáveis do processo são investigadas com erros experimentais aceitáveis (ABRAHAM et al., 2003; MEZOHEGYI et al., 2007; PARSHETTI et al., 2007; RAVIKUMAR et al., 2005; SHARMA et al., 2004; SUDARJANTO, KELLER-LEHMANN, KELLER, 2006). Os resultados das pesquisas em escala laboratorial e ou piloto que utilizam efluentes coletados nas indústrias apresentam em potencial, maior aplicabilidade da tecnologia desenvolvida considerando que as condições de trabalho se aproximam da realidade.

Os efluentes descartados nas indústrias apresentam uma complexa composição química, resultante do processo industrial (GOGATE, PANDIT, 2004). Os erros experimentais dos resultados das pesquisas com os efluentes brutos são bem maiores devido a interferências da presença de diversas substâncias utilizadas no processo industrial. Na lavagem e tingimento de confecções são utilizados detergentes que dificultam a completa separação das partículas suspensas. Na determinação da cor verdadeira ocorreram limitações técnicas na separação do sobrenadante após a centrifugação. O problema é crítico nas amostras submetidas a tratamento biológico. Os microrganismos, durante seu crescimento metabolizam as substâncias presentes, degradando-as com formação de outros compostos. Paralelamente, há formação de espumas nos cultivos aerados, exigindo a adição de detergentes para evitar transbordamentos.

Otimização de processos de tratamento de efluentes industriais é, portanto, um enorme desafio. Para obter parâmetros de degradação ótimos, muitos estudos têm-se focado em técnicas estatísticas univariadas (PARRA et al., 2000). Nesse caso, um parâmetro é variado por vez, mantendo os outros constantes.

Planejamento fatorial é uma técnica estatística que permite mudanças simultâneas de mais de uma variável fornecendo, mais informações que métodos experimentais clássicos que estudam uma variável por vez, já que permite avaliar efeitos individuais e interações entre variáveis experimentais dentro do intervalo estudado, conduzindo a maior conhecimento do processo, redução de tempo e minimização de custos. Essa técnica associada à metodologia de superfície de resposta (MSR) tem mostrado ser uma ferramenta valiosa para modelar processos complexos como tratamentos de efluentes industriais (BARROS-NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2005).

Planejamento central composto e RSM foram efetivos na determinação das condições ótimas para a descoloração de RR 195A e remoção de demanda química de oxigênio solúvel (DQOs) por processo de tratamento integrado usando processo oxidativo avançado (UV/H₂O₂) e degradação biológica aeróbica. Resultados experimentais obtidos por Sudarjanto, Keller-Lehmann e Keller (2006) demonstraram que a eficiência de remoção de corante e de DQOs aumentou de 20 para 86 % e de 3 para 39 %, respectivamente, pela modificação dos parâmetros mais influentes: o tempo de irradiação UV, a dosagem inicial de peróxido de hidrogênio, e a fração de recirculação do sistema. O fator com maior influência foi a fração de recirculação. O tempo de irradiação mais longo e as concentrações de peróxido de hidrogênio mais altas apresentaram efeitos positivos sobre as eficiências da remoção de corante e de DQOs. Condições de degradação de cor ótimas previstas pelo modelo baseado em MSR foram bem validadas por resultados experimentais adicionais, atingindo remoção de corante acima de 99 %. Esses resultados que demonstram a utilidade e efetividade de MSR na predição do desempenho do sistema e na identificação de

condições que maximizam a degradação do corante usando processos de tratamento biológico e químico integrado.

O objetivo deste trabalho foi investigar a remoção de cor e de turbidez em efluentes de lavanderia e tinturaria industriais, empregando tratamentos biológico e físico-químico com aplicação de planejamento fatorial.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem - efluente coletado no terceiro tanque de equalização de lavanderia e tinturaria industriais no município de Toritama no Agreste de Pernambuco, nordeste do Brasil.

Caracterização do efluente – foram realizadas as determinações de pH, condutividade elétrica, DQO, turbidez e cor (espectrofotometria a 455 nm; Programa 950, DR2010 / HACH) no efluente (APHA, 1992).

Consórcio de microrganismo – foi obtido um consórcio microbiano a partir do cultivo de amostra de efluente, em reator de vidro com circulação de água e volume útil de 1200 mL, a 28 - 30 °C, 1 vvm e 150 rpm, durante 7 dias; foi utilizado inóculo a 20 % v/v, cultivado nas mesmas condições de trabalho em frasco de Erlenmeyer durante 3 dias. O consórcio utilizado apresentou atividades oxidases e de descoloração dos corantes “índigo ”blue” (Clariant), reativo vermelho (5-2B, Benzema) e reativo preto (V-B 150, Benzema) (COSTA et al., 2007).

Tratamento biológico – amostras do efluente foram tratadas a 28 °C durante 48 horas, em frascos de Erlenmeyer de 500 mL em duplicata, contendo volume útil de 200 mL nas condições experimentais estabelecidas por planejamentos fatoriais. A cor aparente das amostras do efluente tratado foi determinada após 20 minutos de decantação da biomassa.

Tratamento físico-químico – amostras do efluente foram tratadas em béqueres de 1000 mL em duplicata, contendo volume útil de 500 mL, nas condições experimentais estabelecidas por planejamentos fatoriais, utilizando jar-test em uma rotação de 60 rpm durante 20 minutos.

Planejamento fatorial – Este planejamento experimental foi utilizado para verificar a influência de vários fatores, empregados em tratamento biológico e em tratamento físico-químico, sobre a cor e a turbidez de efluente de lavanderia e tinturaria industriais.

Baseado em resultados do planejamento experimental anterior (COSTA et al., 2007), inicialmente, foi realizado um planejamento completo 2^2 com 4 ensaios e 3 repetições no ponto central para estudar os efeitos principais e as interações das variáveis

independentes, concentração do consórcio microbiano e agitação, utilizadas no tratamento biológico, sobre as variáveis respostas cor e turbidez.

No tratamento físico-químico, foi realizado um planejamento fatorial completo 2^3 com 8 ensaios e 4 repetições no ponto central para estudar os efeitos principais e as interações das variáveis independentes, concentração de tanino (TANFLOC – polímero catiônico, líquido a 1 mg/mL e solúvel em água,), pH e concentração de um polímero auxiliar de floculação (POLICAP - 32 – resina catiônica à base de poliacrilamida), sobre as variáveis respostas cor e turbidez.

A análise estatística dos resultados foi realizada com o programa Statistica® versão 6.0 (Statsoft. Inc, Tulsa/OK,USA).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efluentes provenientes de indústrias têxteis possuem como principal característica a presença de diversos tipos de corantes em sua composição, além de uma alta concentração de produtos químicos e uma elevada DQO (KAMMRADT, 2004; OLIVEIRA, 2006).

A seguir são apresentados os resultados da caracterização de efluente de lavanderia e tinturaria industriais e de dois tratamentos alternativos, biológico e físico-químico, propostos no presente trabalho, para remover a cor e reduzir a turbidez do referido efluente.

3.5.1 Caracterização do efluente

As características dos efluentes industriais são bastante variáveis. Os efluentes têxteis, em particular, apresentam problemas estéticos e ambientais ao absorver luz e interferir nos processos biológicos próprios do corpo hídrico. Poluentes coloridos têm sido apontados como substâncias potencialmente tóxicas (KAO et al., 2001). A maior preocupação com relação aos efluentes têxteis está associada à ampla utilização de corantes sintéticos da família dos corantes azóicos, os quais possuem caráter carcinogênico e mutagênico, além de elevada resistência à degradação natural (GONÇALVES et al., 2000; KAMMRADT, 2004).

A amostra do efluente de lavanderia e tinturaria industriais, utilizada nesse trabalho (figura 3.5.1.1), antes do mesmo ser submetido a tratamentos biológicos e físico-químicos, apresentou os máximos valores de contagem em UFC/mL: bactérias 3×10^7 , leveduras 2×10^2 e fungos filamentosos 4×10 . E características físico-químicas: pH 5,9, condutividade elétrica 208 $\mu\text{S}/\text{cm}$, DQO 608 mg O_2/L , turbidez 19,5 UNT, cor aparente 1360 mgPt/L e cor verdadeira 229 mgPt/L.



Figura 3.5.1.1 Efluente de lavanderia e tinturaria industriais

Esse efluente coletado no terceiro tanque de equalização, apresentou pH com valor na faixa limite estabelecida pela legislação, pH 5 a 9 (BRASIL, 2005). Considerando que o processo de coagulação - floculação exige valores de pH entre 5,0 e 8,0 (NUNES, 2003), esse parâmetro não precisou ser ajustado no tratamento físico-químico nesse trabalho.

O efluente utilizado apresenta baixa concentração de sais, e por conseguinte, ao ser lançado no corpo receptor não altera a classificação da água do rio Capibaribe (água doce) obedecendo à legislação (BRASIL, 2005). Silva (2005), determinou em efluentes de lavanderia e tinturaria industriais, valores de condutividade elétrica em função das etapas de beneficiamento, variando entre 945 μS na desgomagem neutra e 55.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no tingimento e fixação.

A DQO do efluente utilizado nesse trabalho apresentou valor compatível com outros efluentes têxteis. Segundo Somensi et al. (2007), a DQO variou de 808 a 671 $\text{mL O}_2/\text{L}$ no mesmo efluente em função do tempo de repouso. Esse fato é explicado pelas partículas em suspensão no efluente. Um percentual de corante índigo é perdido no processo de tingimento (SILVA, SOUZA, MAGALHÃES, 2004).

A turbidez de 19,5 UNT desse efluente, não interfere nas características de água da Classe 1 (valor limite igual a 40 UNT – CONAMA 357/2005) que corresponde à classificação do rio Capibaribe que é o corpo receptor dos efluentes em Toritama (BRASIL, 2005, PERNAMBUCO, 1986).

A cor aparente do efluente foi aproximadamente quatro vezes maior que a cor verdadeira devido às partículas de corantes e pigmentos em suspensão. A variedade de tons, as concentrações de corantes e a presença de detergentes nos efluentes de lavanderia e tinturaria industriais, dentre outras substâncias químicas utilizadas no beneficiamento de confecções, dificultam a determinação da cor (SPERLING, 2005).

3.5.2. Tratamento Biológico

Planejamento fatorial completo 2^3 - com 8 ensaios e 4 repetições no ponto central, tendo como variáveis independentes ou fatores concentração do consórcio microbiano, velocidade de agitação e aeração, como variáveis respostas cor e turbidez de efluente de lavanderia e tinturaria industriais - realizado anteriormente (COSTA et al., 2007), evidenciou a necessidade de novo planejamento fatorial com valores menores de concentração do consórcio, de velocidade de agitação e de aeração que os adotados no nível superior do referido planejamento. Baseado em tais resultados, realizou-se um planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores a concentração do consórcio microbiano e a agitação e como variáveis respostas a cor e a turbidez após 48 horas de tratamento. Considerando que no planejamento anterior, a aeração não apresentou efeito significativo, essa variável não foi investigada no planejamento fatorial. As variáveis independentes, os níveis e os valores reais utilizados nesse novo planejamento, estão apresentados na tabela 3.5.2.1.

Tabela 3.5.2.1 Valores dos fatores nos níveis -1 e +1 e no ponto central no tratamento biológico do efluente de lavanderia e tinturaria industriais

Fatores	-1	0	+1
Consórcio microbiano	0	1,25 %	2,5 %
Agitação	0	50 rpm	100 rpm

A tabela 3.5.2.2 apresenta a matriz de planejamento com as variáveis independentes, concentração do consórcio microbiano e agitação, na forma real, e os resultados das variáveis respostas cor e turbidez, observados experimentalmente, em cada combinação de níveis (condição experimental).

Tabela 3.5.2.2 Cor aparente e turbidez nas condições experimentais do planejamento fatorial completo 2^2 no tratamento biológico do efluente de lavanderia e tinturaria industriais

Ensaio	Consórcio microbiano (% v/v)	Agitação (rpm)	Cor aparente (mgPt/L)	Turbidez (UNT)
1	0	0	237	53
2	2,5	0	279	60
3	0	100	402	50
4	2,5	100	321	49
5	1,25	50	157	45
6	1,25	50	115	37
7	1,25	50	142	35

Nas figuras 3.5.2.1 e 3.5.2.2 são apresentados os Diagramas de Pareto - com nível de significância de 95 % para estimativa dos efeitos principais lineares e de segunda ordem em valor absoluto do planejamento fatorial completo 2^2 - correspondentes às variáveis respostas cor e turbidez, respectivamente. A magnitude de cada efeito é representada pelas colunas e a linha transversal às colunas corresponde ao valor de p igual a 0,05 e indica o quão grande deve ser o efeito para ter significado estatístico.

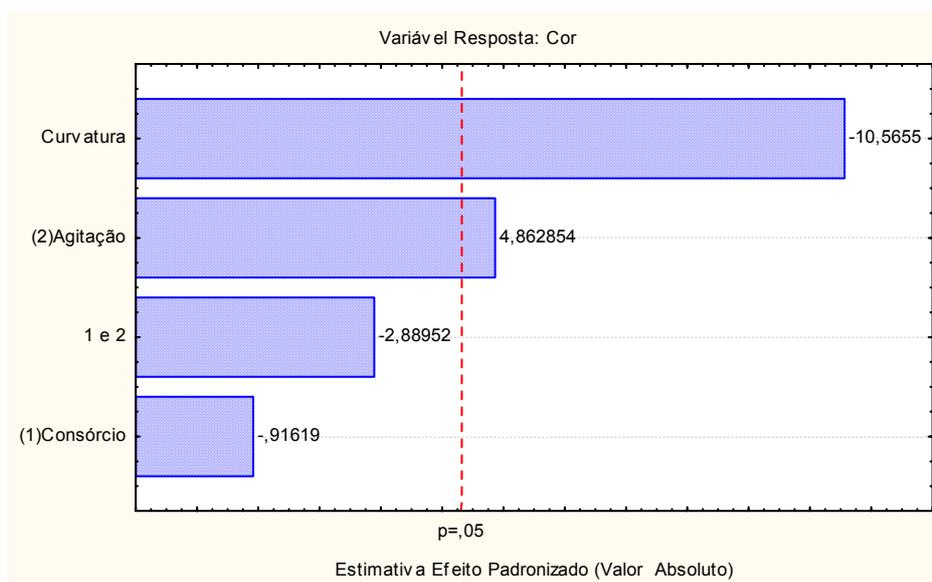


Figura 3.5.2.1 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores a concentração do consórcio microbiano e a agitação e, como variável resposta a cor aparente do efluente. O ponto, no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos ($p=0,05$) é indicado por uma linha tracejada vertical

A análise do Diagrama de Pareto, apresentado na figura 3.5.2.1, indica que nas condições estudadas, o aumento da velocidade de agitação apresentou efeito positivo significativo para o aumento da coloração do efluente, ou seja, em seu nível mais alto desfavoreceu significativamente a descoloração do efluente. Por outro lado, o aumento da concentração do consórcio e o efeito da interação entre o consórcio e a agitação favoreceram a descoloração, mas não apresentaram significância do ponto de vista estatístico. A maior remoção de cor foi obtida no ponto central do planejamento - concentração do consórcio igual a 1,25 % v/v e agitação igual a 50 rpm - condição em que a cor média atingiu aproximadamente 138 mgPt/L, correspondendo a uma descoloração de 90 % em relação à do efluente não tratado.

Esse resultado, de percentual elevado está no mesmo nível dos citados na literatura para remoção de cor por processos de biodegradação de efluentes sintéticos, contendo corantes da indústria têxtil. Desde o fim do século passado, misturas de bactérias foram utilizadas por Nigam et al. (1996) na descoloração de compostos azóicos, obtendo remoção de 76 % da cor do efluente de uma planta têxtil depois de 3 dias de tratamento. Sharma et al. (2004) conseguiram a remoção de 94 % do corante ácido azul-15 utilizando consórcio microbiano de três bactérias imobilizadas. Para uma mistura de corantes têxteis sob condições estáticas Moosvi, Kher, Madamwar (2007) atingiram 93 % de descoloração. Mezohegyi et al. (2007) alcançaram a descoloração máxima de 99 % para o azo corante ácido amarelo-7 utilizando um sistema biológico em carvão ativado como suporte por processo contínuo anaeróbico.

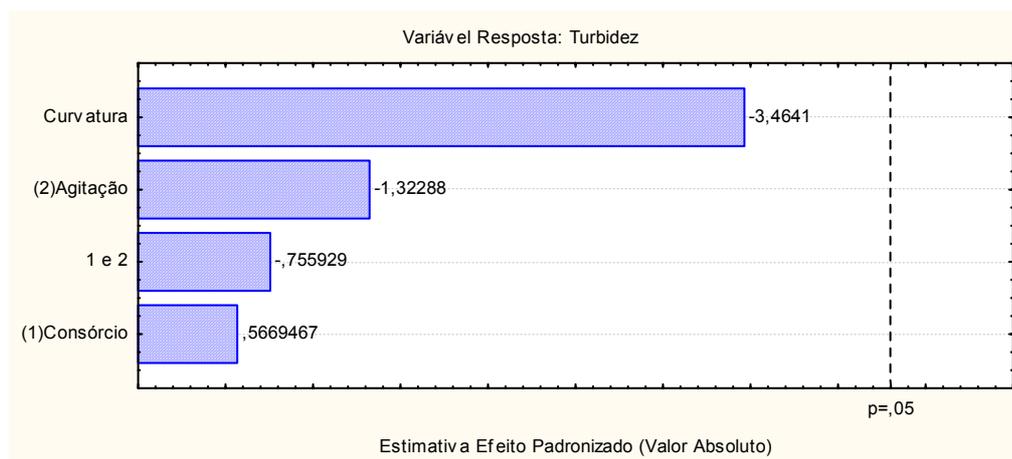


Figura 3.5.2.2 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores a concentração do consórcio microbiano e a agitação e, como variável resposta a turbidez do efluente. O ponto, no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos ($p=0,05$) é indicado por uma linha tracejada vertical

O Diagrama de Pareto (figura 3.5.2.2) sugere que nas condições estudadas, a velocidade de agitação aplicada, desfavoreceu o aumento da turbidez do efluente, ou seja, favoreceu a redução da turbidez. A interação entre a velocidade de agitação e a concentração do consórcio microbiano também favoreceu, embora não significativamente a redução da turbidez do efluente. A concentração do consórcio em seu nível mais alto contribuiu para o aumento da turbidez mas, não apresentou efeito estatisticamente significativo.

A menor turbidez foi alcançada no ponto central do planejamento, com concentração de 1,25 % v/v do consórcio e agitação de 50 rpm, quando a turbidez média foi aproximadamente 39 UNT, e correspondente a um aumento de 100 % com relação à do efluente não tratado. Este valor alto da turbidez é consequência da presença dos microrganismos suspensos nas amostras tratadas biologicamente, devido à utilização do consórcio microbiano.

A degradação de corantes azóicos por consórcios de bactérias aeróbicas imobilizadas e utilizadas em reator biológico sob agitação, foi estudada por Abraham et al. (2003). O processo foi eficiente para remoção de corantes azóicos (diretos, básicos, reativos e ácido) em concentrações de 25, 50 e 100 µg/mL. Foram preparadas soluções distintas com três corantes individualmente e mistura de sete corantes, em pH alcalino e salinidade semelhantes aos efluentes têxteis.

3.5.3 Tratamento físico-químico

A influência de três variáveis independentes - concentração de tanino (TANFLOC), pH e concentração de polímero (POLICAP - 32) do tratamento físico-químico sobre as variáveis respostas cor e turbidez, foi investigada em um planejamento fatorial completo 2³, composto por 8 ensaios e 4 repetições no ponto central. As variáveis independentes, os níveis e os valores reais utilizados estão apresentados na tabela 3.5.3.1.

Tabela 3.5.3.1 Valores dos fatores nos níveis -1 e +1 e no ponto central no tratamento físico-químico do efluente de lavanderia e tinturaria industriais

Fatores	-1	0	+1
Tanino (TANFLOC)	0,2 mg/L	0,3 mg/L	0,5 mg/L
PH	6,5	7,5	8,5
Polímero (POLICAP - 32)	0	15 ppm	30 ppm

A tabela 3.5.3.2 apresenta a matriz de planejamento com a concentração do tanino concentração de polímero POLICAP - 32 e pH na forma real e os resultados experimentais

das variáveis respostas cor e turbidez, em cada combinação de níveis (condição experimental).

Tabela 3.5.3.2 Cor e turbidez nas condições experimentais do planejamento 2³ no tratamento físico-químico do efluente de lavanderia e tinturaria industriais

Ensaio	Tanino (mg/L)	Polímero (ppm)	pH	Cor aparente (mgPt/L)	Turbidez (UNT)
1	0,2	0	6,5	70	4,4
2	1,0	0	6,5	79,5	9,1
3	0,2	30	6,5	80	10
4	1,0	30	6,5	56	6,4
5	0,2	0	8,5	91,5	30
6	1,0	0	8,5	82,5	6
7	0,2	30	8,5	99,5	7,5
8	1,0	30	8,5	103	3,8
9	0,6	15	7,5	50	4
10	0,6	15	7,5		
11	0,6	15	7,5		
12	0,6	15	7,5		

No Diagrama de Pareto da figura 3.5.3.1 pode ser visto que o pH influenciou bastante no aumento da cor. O aumento do pH e a interação da concentração do polímero com o pH exerceram efeito positivo altamente significativo sobre o aumento da cor, ou seja, desfavoreceram significativamente a descoloração do efluente. O aumento da concentração de tanino e sua interação com o polímero, desfavoreceram significativamente o aumento da cor, e conseqüentemente, favoreceram significativamente a descoloração do efluente. O aumento da concentração de polímero apresentou um efeito positivo, muito próximo a significância estatística, sobre o aumento da cor. A interação da concentração de tanino com o pH não apresentou efeito estatisticamente significativo para o aumento da cor do efluente.

A maior remoção de cor foi obtida no ponto central do planejamento (concentração de tanino igual a 0,3 mg/L, concentração de polímero auxiliar de floculação igual a 15 ppm, em pH 7,5) condição em que a cor aparente média foi de 50 mgPt/L, correspondendo a uma descoloração de aproximadamente 96 %.

O tratamento combinando tanino comercial e polímero auxiliar de floculação permite a reutilização da água no processo de beneficiamento de confecções devido ao alto percentual de descoloração do efluente de lavanderia e tinturaria industrial e por não acumular íons de alumínio ou ferro no lodo final (ÖZACAR, SENGIL, 2003). A baixa concentração de polímero sintético utilizado (15 ppm) viabiliza economicamente esse tratamento.

Os sais de alumínio e de ferro são ambientalmente indesejáveis, pois os lodos produzidos podem disponibilizar íons solúveis que comprometem a saúde humana. É necessário, portanto, buscar coagulantes ambientalmente mais compatíveis (SILVA, SOUZA, MAGALHÃES, 2004).

A coagulação e a floculação consistem na clarificação das águas pelo arraste do material finamente dividido em suspensão por agentes químicos. Além dos coagulantes alumínio ou de ferro, as vezes é necessário o uso de auxiliares de floculação e coagulação como os polieletrólitos naturais ou sintéticos (BARROS, NOZAKI, 2002; OLIVEIRA, SOUZA, 2003).

Outros tratamentos físico-químicos para remoção de corantes em efluentes sintéticos, empregando a técnica de coagulação-floculação, realizados por Joo et al. (2007), Silva, Souza e Magalhães (2003) e Ravikumar et al. (2007) obtiveram eficiência de 19 a 49 % na presença de coagulantes naturais, de 40 a 60 % na presença de sais de alumínio e ferro e de 100 % na presença de polímeros sintéticos, respectivamente.

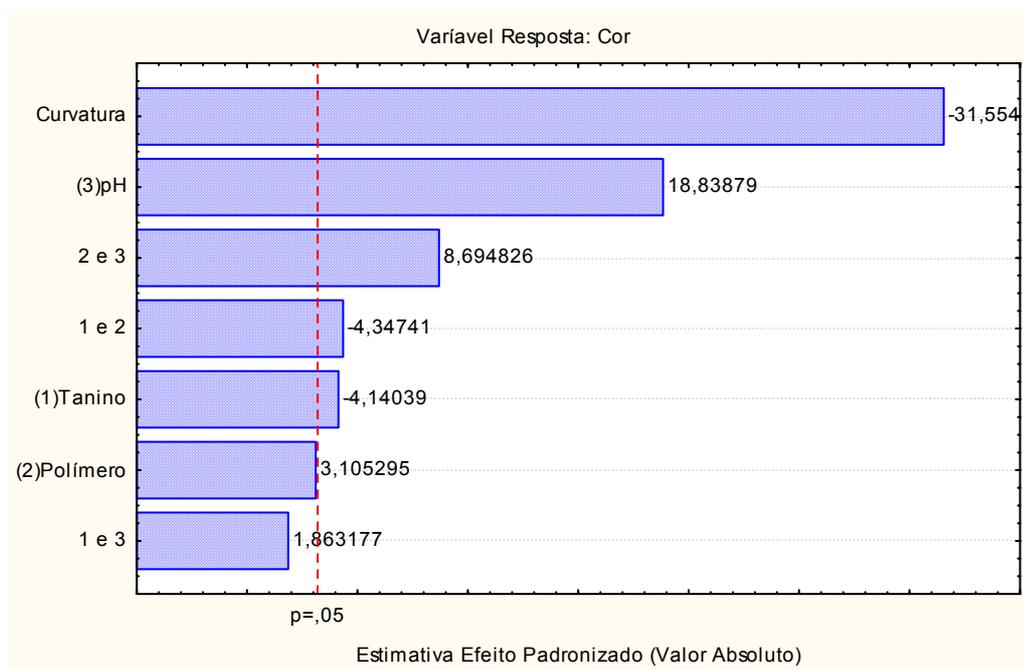


Figura 3.5.3.1 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores o pH, a concentração de tanino e a concentração de polímero e, como variável resposta a cor aparente do efluente. O ponto, no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos ($p=0,05$) é indicado por uma linha tracejada vertical

O Diagrama de Pareto (figura 3.5.3.1) mostrou que todos os fatores, pH, concentração de tanino e concentração do polímero, a interação entre eles, apresentaram significância estatística. A interação entre o tanino e o pH, entre o polímero e o pH, o aumento da

concentração de tanino e o aumento da concentração de polímero, nessa ordem, exerceram efeitos negativos muito significativos sobre o aumento da turbidez do efluente, ou seja favoreceram significativamente a diminuição da turbidez cuja condição é essencial no equilíbrio ecológico e na eliminação de microrganismos. Água de melhor qualidade industrial são de baixa turbidez. São também melhores para aplicar desinfecção e oferecer um produto seguro à saúde pública (BRASIL, 2005). O pH e a interação do tanino com e o polímero nas concentrações aqui utilizadas e nessa ordem, favoreceram o aumento da turbidez do efluente.

A maior redução de turbidez foi obtida no ponto central do planejamento (tanino de 0,3 mg/L, 15 ppm do polímero auxiliar de floculação pH 7,5 durante 20 minutos) condição em que a turbidez média atingiu aproximadamente 4 UNT. Foi obtido uma redução de turbidez de aproximadamente 79 % com relação ao efluente bruto.

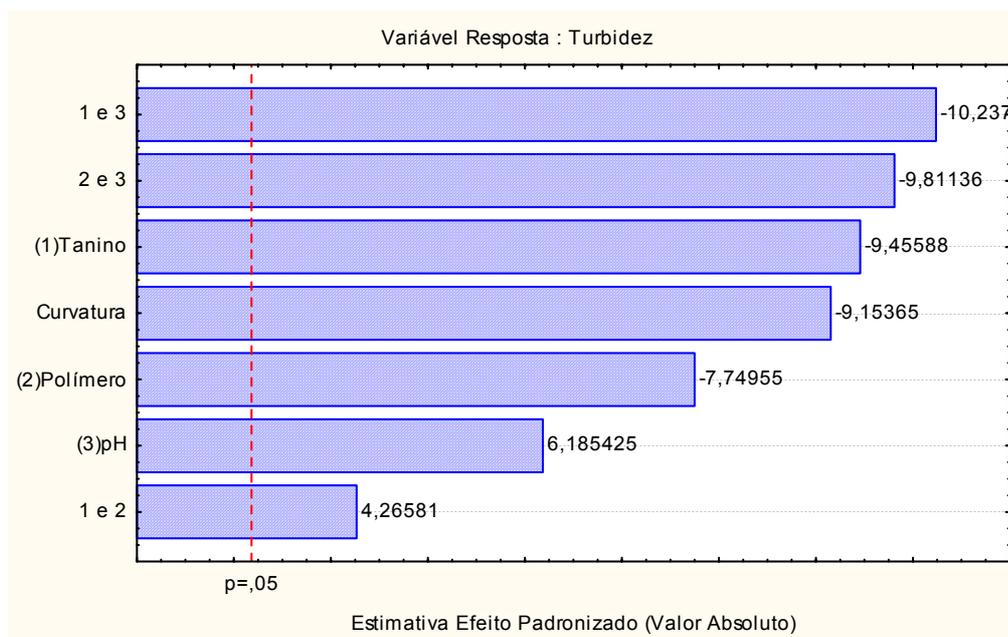


Figura 3.5.3.2 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH, a concentração de tanino e a concentração de polímero e, como variável resposta a turbidez do efluente. O ponto, no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos ($p=0,05$) é indicado por uma linha tracejada vertical.

Testes de curvatura revelaram falta de ajuste dos modelos lineares para as variáveis respostas cor e turbidez nos tratamentos biológico e físico-químico aplicados. Os diagramas de Pareto (figuras 3.5.2.1, 3.5.2.2, 3.5.3.1 e 3.5.3.2) mostraram que o efeito da curvatura cruzou o nível de confiança de 95 %, indicando a proximidade do ponto ótimo e a

necessidade de um modelo quadrático e de planejamento composto central que incorpore o efeito da curvatura.

A remoção de cor por reações bioquímicas no tratamento biológico de efluentes de lavanderia e tinturaria industriais atendeu à legislação ambiental pela degradação dos poluentes por microrganismos autóctones em processo aeróbio de bioaugmentação. A presença de bactérias e material orgânico nos esgotos domésticos misturados a esses efluentes industriais favorece a formação de consórcio microbiano (lodo ativado) cuja biomassa metabolizou os compostos poluentes com produção de energia e material celular (ou processo de bioestimulação).

O tratamento físico-químico na presença de tanino e polímero auxiliar de floculação reduz a quantidade de alumínio e conseqüentemente, a concentração de sais no efluente tratado, viabilizando o reuso e a economia de água na indústria de beneficiamento de confecções.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostram que embora os tratamentos biológico e físico-químico propostos foram exitosos na remoção da cor de efluente de lavanderia e tinturaria industriais, podem ainda ser otimizados. O tratamento físico-químico do efluente de lavanderia e tinturaria industrial por coagulação-floculação remove 96 % da cor e 79 % da turbidez. No tratamento biológico, as células de microrganismos do consórcio em suspensão aumentaram a turbidez do efluente, mas removeram 90 % da cor. A turbidez de origem biológica deve ser reduzida pela decantação antes do descarte do efluente no corpo receptor, a valores permitidos pela legislação. Na descoloração desse efluente, a concentração celular do consórcio microbiano e a agitação são os fatores mais importantes do tratamento biológico. No tratamento físico-químico, o tanino e o polímero auxiliar de floculação são os fatores que mais contribuem para a descoloração dos efluentes de lavanderia e tinturaria.

A configuração do reator biológico para a biomassa imobilizada em um suporte e a combinação do tratamento biológico com o tratamento físico-químico, serão investigados sob aspectos operacionais e econômicos. Na otimização da remoção de cor e da redução de turbidez dos efluentes de lavanderia e tinturaria industriais, serão avaliadas as características físico-químicas e microbiológicas além da toxicidade do efluente tratado em busca do desenvolvimento de tecnologia para diminuir o impacto ambiental causado pelos corantes nos corpos d'água e favorecer o desenvolvimento sustentável.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM, T. E.; SENAN, R. C.; SHAFFIQU, T. S.; ROY, J. J.; POULOSE, T. P.; THOMAS, P. P. Bioremediation of textile azo dyes by an aerobic bacterial consortium using a rotating biological contactor. **Biotechnology progress**. v. 19, p. 1372-1376, 2003.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for Water and Wastewater**. 18. ed., Washington: APHA, 1992.

ARSLAN-ALATON, I.; ALATON, I. Degadation of xenobiotics originating from the textile preparation, **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 68, p. 98-107, 2007.

BARRADAS, J. L. D. Tanino - **Uma solução ecológicamente correta: Agente floculante biodegradável de origem vegetal no tratamento de água**. Novo Hamburgo: EDITORA, 2004.

BARROS-NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos - pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas, Editora da Unicamp, 2005.

BARROS, M. J., NOZAKI J. Redução de poluentes de efluentes das indústrias de papel e celulose pela floculação/coagulação e degradação fotoquímica. **Química Nova**. v. 25, n. 5, p. 736-740, 2002.

BRASIL - Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2006.

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

COSTA, A. F. S.; PAIVA, S. C.; ALBUQUERQUE, C. D. C. SALGUEIRO, A. A. Tratamento biológico de efluentes de lavanderias e tinturarias industriais de Toritama, Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 24., 2004. Belo Horizonte. **Anais ... CD-rom**, II-073, 2007.

DELLAMATRICE, P. M.; MONTEIRO, R. T. R. Decolorization and toxicity of municipal waste by Horseradish (*Cochlearia arnoracia*). **Química Nova**. v. 29, p. 419-421, 2006.

GHAZALI, F. M.; RAHMAN, R. N. Z. A.; BASRI, A. B. S.; MAHIRAN. Biodegradation of hydrocarbons in soil by microbial consortium. **International Biodeterioration & Biodegradation**. v. 54. p. 61-67, 2004.

GOGATE, P.R.; PANDIT, A.B. A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods. **Advances in Environmental Research**, v. 8, p. 553-597, 2004.

GONÇALVES, M. S. T.; OLIVEIRA-CAMPOS, A. M. F.; PINTO, E. M. M. S.; PLASÊNCIA, GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**. v. 23, p. 71-78. 2000.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**. v. 23, p. 71-78. 2000.

JOO, D. J.; SHIN, W. S.; CHOI, J-H; CHOI, S. J.; KIM, M-C; HAN, M. H.; HA, T. W.; KIM, Y-H. Decolorization of reactive dyes using inorganic coagulants and synthetic polymer. **Dyes and pigments**. v. 73, p. 59-64, 2007

KAMMRADT, P. B. **Remoção de cor de efluentes de tinturarias industriais através de processo de oxidação avançada**. 2004. 92f. Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná.

KAO, C. M.; CHOU, M. S.; FANG, W. L.; LIU, B. W.; HUANG, B. R. Regulating colored textile wastewaters by 3 / 31 wavelength ADMI methods in Taiwan. **Chemosphere**, v. 44, p. 1055-063, 2001.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes industriais. **Química Nova**. v. 25, p. 78-82, 2002.

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

METCALF & EDDY, Inc. Constituents in wastewater. In: _____ **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed., rev. G. Tchobanoglous, F. L. Burton, H. D. Stensel. New York: McGraw-Hill, p. 29-151, 2003.

MEZOHEGYI, G.; KOLODKIN, A.; CASTRO, U. I.; BENGUA, C.; STUBER, F.; FONT, J.; FABREGAT, A. Effective anaerobic decolorization of azo dye acid orange 7 in continuous upflow packed-bed reactor using biological activated carbon system. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 46, p. 6788-6792, 2007.

MOHAMMAD, P.; AZARMIDOKHT, H.; FATOLLAH, M.; MAHBOUBEH, B. Application of response surface methodology for optimization of important parameters in decolorizing treated distillery wastewater using *Aspergillus fumigatus* UB2 60. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 57, p. 195-199, 2006.

MOOSVI, S.; KHER, X.; MADAMWAR, D. Isolation, characterization and decolorization of textile dyes by a mixed bacterial consortium JW-2. **Dyes and Pigments**. v. 74, p. 723-729, 2007.

NIGAM, P; MULLAN, G. Mc; BANAT, I. M.; MARCHANT, R. Decolourisation of effluent from the textile industry by a microbial consortium. **Biotechnology Letters**. v. 18, p. 117-120, 1996.

NUNES, J. A. Processos unitários de tratamento físico-químico. In: **Tratamento físico-químico de efluentes industriais**. Aracaju, 2003.

OLIVEIRA, J. R.; SOUZA, R. R. Biodegradação de efluentes contendo corantes utilizados na indústria têxtil. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA, 2003, Aracajú. **Anais... CD-rom**. 2003.

ÖZACAR, M., SENGIL, I. A. Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. v. 229, p. 85-96, 2003.

PARRA, S.; SARRIA, V.; MALATO, S.; PERINGER, P.; PULGARIN, C. Photochemical versus coupled photochemical-biological flow system for the treatment of two biorecalcitrant herbicides: metobromuron and isoproturon. **Applied Catalysis B: Environmental** – Elsevier. v. 27, p. 53-168, 2000.

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

PARSHETT, G. K.; KALME, S. D.; GOMARE, S.S.; GOVINDWAR, S. P. Biodegradation of Reactive blue-25 by *Aspergillus ochraceus* NCIM -1146. **Bioresource Technology**. v. 98, p. 3638-3642, 2007.

PERALTA, R. M.; SOUZA, C. G. M.; BÔER, C. G. As principais oxiredutases de uso industrial. In: SAID, S.; PIETRO, R. C. L. R. **Enzimas como agentes biotecnológicos**. Ribeirão Preto: Legis Summa. p. 161-184, 2004.

PERALTA-ZAMORA, P.; TIBURTIUS, E. R. L; MORAES, S. G; DURÁN, N. Degradação enzimática de corantes têxteis. **Química Têxtil**. v. 68, p. 32-38, 2002.

PERNAMBUCO. Decreto nº 11.358, de 29 de abril de 1986. Enquadra os cursos d'água das Bacias Hidrográficas dos Rios Jaboatão e Pirapama. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**. 30 abr. 1986.

RAVIKUMAR, K.; KRISHNAN, S.; RAMALINGAM, S.; BALU, K. Optmization of process variables by application of response surface methodology for dye removal using a novel adsorvent. **Dyes and Pigments**. v.72, p. 66-77, 2007.

SHARMA, D. K.; SAINI, H. S.; SINGH, M.; CHIMNI, S.S.; CHADHA, B. S. Biodegradation of acid blue-15, a textile dye by an up-flow immobilized cell bioreactor. **Journal Ind Microbiol Biotechnol**. v. 31, p. 109-114, 2004.

SILVA, G. L. **Redução de corante em efluente de processos de tingimento de lavanderias industriais por adsorção em argila**. 2005. 116f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas.

SILVA, F. J. A.; SOUZA, L. M. M.; MAGALHÃES, S. L. Uso potencial de biopolímeros de origem vegetal na descolorização de efluente têxtil índigo In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 22., 2004. Santa Catarina, **Anais ... CD-rom**, 2004.

SOMENSI, C. A.; BERTOLI, S. L.; JUNIOR, A. W.; SIMION, E. L. Ozonização de efluente têxtil em escala piloto: avaliações iniciais para a redução de cor e DQO. REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA 29. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Disponível em: <https://sec.s bq.org.br/cd29ra/resumos/T0980-1.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2007.

Costa, A. F. S. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes ... Recife, 2008.

SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e o tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005, 452p.

SUDARJANTO, G.; KELLER-LEHMANN, B.; KELLER, J. Optimization of integrated chemical-biological degradation of a reactive azo dye using response surface methodology. **Journal of Hazardous Materials**. v. 138, p. 160-168, 2006.

CAPÍTULO 4

4.1 CONCLUSÕES GERAIS

Os consórcios microbianos obtidos a partir de efluentes de lavanderia e tinturaria industriais apresentam potencial biotecnológico na descoloração de corantes.

O tratamento biológico aeróbio por consórcio microbiano é uma alternativa viável no tratamento de efluentes de lavanderia e tinturaria industriais considerando a ação degradadora de corantes por microrganismos, eliminando a cor desse efluente e diminuindo o impacto ambiental causado por corantes.

O tratamento físico-químico de coagulação-floculação utilizando tanino e polímero auxiliar de floculação é eficiente na remoção de corantes e de turbidez de efluentes de lavanderia e tinturaria industriais.

O tratamento dos efluentes precisa ser otimizado em reatores com agitação mecânica considerando as limitações dos fenômenos de agitação em orbital e a consequente aeração dos experimentos de laboratório onde são utilizados frascos de vidro com volume reduzido.

Planejamento fatorial associado à RSM, combinando o tratamento biológico ao físico-químico deve ser aplicado visando à otimização do processo.