

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

LUIZ CARLOS DE MELO FILHO

**EFEITO DA PRÉ-OZONIZAÇÃO NA GERAÇÃO DE LODO EM
PROCESSOS DE COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO
DE EFLUENTES TÊXTEIS**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Santa Catarina, para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Ambiental.

Orientador : Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.

**FLORIANÓPOLIS
SANTA CATARINA**

JULHO - 1997

EFEITO DA PRÉ-OZONIZAÇÃO NA GERAÇÃO DE LODO EM PROCESSOS DE COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

LUIZ CARLOS DE MELO FILHO

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL
na Área de Tecnologias de Saneamento Ambiental.

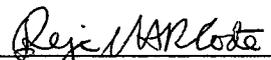
Aprovado por :



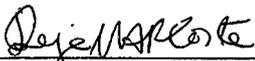
Prof. Dr. Maurício Luiz Sens (Orientador)



Prof. Dr. Paulo Belli Filho



Prof. Dr. Rejane Helena Ribeiro da Costa



Prof. Dr. Rejane Helena Ribeiro da Costa
(Coordenadora)



Prof. Dr. Antônio Edésio Jungles

FLORIANÓPOLIS, SC - BRASIL
SETEMBRO DE 1997

O que é escrito, ordenado, factual, nunca é suficiente para abarcar toda a verdade :a vida sempre transborda de qualquer cálice.

Bóris Pasternak

Dedico esta dissertação :

*Aos meus pais,
meus incansáveis incentivadores .*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

Ao Prof. Dr. Maurício Luiz Sens pelo incentivo, orientação e apoio em todos os períodos deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Alain Laplanche pelas inúmeras sugestões referentes aos ensaios de ozonização.

À Malhas Emerson Ltda. pelo fornecimento de corantes e produtos auxiliares de tingimento utilizados na elaboração do efluente sintético.

À Escola Técnica Federal de Santa Catarina por ter permitido a utilização de suas instalações laboratoriais, possibilitando a continuação da pesquisa no período posterior ao incêndio sofrido pelo Laboratório Integrado do Meio Ambiente (L.I.M.A.).

Aos companheiros de mestrado aos quais contraí muitas dívidas de gratidão que tão generosamente me ajudaram de diversas maneiras neste trabalho, em particular, ao colega Ramon Dalsasso pela elaboração do piloto de ozonização.

Aos professores da pós-graduação pela contribuição e enriquecimento de conteúdo transmitido durante o período de créditos.

Aos funcionários e colegas do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, pelo apoio que me prestaram.

SUMÁRIO

LISTAS DE TABELA.....	i
RELAÇÃO DE FIGURAS	vi
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
CAPÍTULO	
I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivo.....	4
1.1.1. Objetivo Principal	4
1.1.2. Objetivos Secundários	4
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Processo de produção têxtil	5
2.2. Características dos efluentes da indústria têxtil.....	10
2.3. Tratamento dos efluentes têxteis	14
2.3.1. Considerações iniciais.....	14
2.3.2. Principais etapas de tratamento	14
2.3.2.1. Tratamento primário.....	14
2.3.2.2. Tratamento secundário.....	17
2.3.2.3. Tratamento terciário.....	20
2.3.3. Remoção de cor de efluentes têxteis.....	22
2.3.3.1. Considerações iniciais.....	22
2.3.3.2. Remoção de cor por coagulação-floculação.....	22
2.3.3.3. Remoção por adsorção.....	26
2.3.3.4. Remoção por ozonização.....	26
2.3.3.4.1. Considerações gerais.....	26
2.3.3.4.2. Ozonização de soluções coloridas.....	28
2.3.3.4.2.1. Influência do pH e da temperatura.....	30

2.3.3.4.2.2. Influência de matérias presentes em solução.....	31
2.3.4. Ozônio	32
2.3.4.1. Propriedades químicas	32
2.3.4.2. Produção de ozônio	35
2.3.4.3. Transferência de ozônio	37
III. MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
3.1. Efluente sintético.....	45
3.2. Ensaio de coagulação-floculação (Etapa 1).....	45
3.2.1. Equipamento para os ensaios de coagulação-floculação	45
3.2.2. Coagulantes.....	46
3.2.3. Parâmetros analisados e métodos de laboratório.....	47
3.2.4. Protocolo do ensaio de coagulação-floculação.....	47
3.2.4.1. Ensaio para determinar o pH ótimo de floculação.....	47
3.2.4.2. Ensaio para determinar a dosagem ótima de coagulante	48
3.2.4.3. Ensaio com diferentes tempos de floculação e sedimentação.....	49
3.3. Ensaio de ozonização (Etapa 2).....	50
3.3.1. Considerações iniciais	50
3.3.2. Descrição do piloto utilizado para os ensaios de ozonização.....	50
3.3.3. Condições estabelecidas para os ensaios de ozonização	51
3.3.4. Parâmetros analisados e métodos de laboratório.....	52
3.3.5. Estudo da ozonização dos corantes	52
3.3.6. Protocolo do ensaio de ozonização.....	53
3.4. Ensaio de coagulação-floculação para o efluente pré-ozonizado (Etapa 3).....	54
3.4.1. Pré-ozonização do efluente	54
3.4.2. Ensaio de coagulação-floculação	55
3.5. Avaliação do lodo gerado e redução de DQO (Etapa 4).....	55

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1. Principais características do efluente sintético	56
4.2. Ensaios de coagulação-floculação do efluente bruto (Etapa 1).....	57
4.2.1. Ensaios para determinar o pH ótimo de floculação	57
4.2.2. Ensaios para determinar a dosagem ótima de coagulante	59
4.2.3. Ensaios com tempos de floculação e sedimentação diferentes	61
4.3. Ensaios de ozonização (Etapa 2).....	63
4.3.1. Estudo da ozonização dos corantes	63
4.3.2. Ensaios de ozonização do efluente sintético.....	67
4.4. Ensaios de coagulação-floculação do efluente pré-ozonizado.....	70
4.4.1. Pré-ozonização do efluente	70
4.4.2. Ensaios para determinar o pH ótimo de floculação	70
4.4.3. Ensaios para determinar a dosagem ótima de coagulante	72
4.5. Avaliação do lodo gerado e redução de DQO	77
4.5.1. Lodo gerado nos ensaios de coagulação-floculação otimizados.....	77
4.5.2. Redução de DQO	78
V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	80
 ANEXOS	
Anexo1 - Produção do efluente sintético.....	84
Anexo2 -Descrição da metodologia utilizada para determinação da concentração de ozônio, na entrada e na saída da coluna de contato.....	86
Anexo3 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o pH ótimo de floculação (1ª.Etapa).....	89
Anexo4 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o dosagem ótima de Sulfato Ferroso.....	92
Anexo5 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando refinar o valor da dosagem ótima de Sulfato Ferroso.....	96

Anexo6- Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando avaliar os ensaios em diferentes tempos de sedimentação.....	100
Anexo7- Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando avaliar os ensaios com diferentes tempos de floculação.....	102
Anexo8- Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do corante azul, sem a presença dos produtos auxiliares utilizados no tingimento (2ª.Etapa).....	104
Anexo9- Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do corante azul, com a presença dos produtos auxiliares utilizados no tingimento.....	106
Anexo10- Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do corante vermelho, sem a presença dos produtos auxiliares utilizados no tingimento.....	107
Anexo11- Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do corante vermelho, com a presença dos produtos auxiliares utilizados no tingimento.....	108
Anexo12- Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do efluente sintético.....	109
Anexo13- Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação objetivando o pH ótimo de floculação, com o efluente pré-ozonizado a 50% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 5 minutos (3ª.Etapa).....	110
Anexo14- Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando a dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 50% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 5 minutos.....	112
Anexo15- Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando refinar o valor da dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 50% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 5 minutos.....	113
Anexo16- Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando a dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 25% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 3 minutos.....	114
Anexo17- Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando refinar o valor da dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 25% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 3 minutos.....	115
Anexo18- Resultado das análises relativas a quantificação do lodo gerado nos ensaios de coagulação-floculação do efluente bruto e pré-ozonizado, utilizando as dosagens ótimas de coagulante. (4ª.Etapa).....	116
Anexo19- Resultado das análises de DQO após aos ensaios de coagulação-floculação do efluente bruto e pré-ozonizado.....	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características típicas das águas residuárias de processos da fabricação de tecidos.	10
Tabela 2 - Características dos efluentes conforme matéria-prima utilizada e etapa do processamento, os valores são expressos em mg/l.	11
Tabela 3 - Tipos de tratamento de despejos em indústrias têxteis.	20
Tabela 4 - Faixas de eficiência, para diversos processos, normalmente conseguidas no tratamento de efluentes têxteis.	21
Tabela 5 - Eficiência no processo de coagulação-floculação.	25
Tabela 6 - Resumo das Etapas Experimentais.	43
Tabela 7 - Produtos Químicos.	44
Tabela 8 - Composição das soluções utilizadas nos ensaios para o estudo da ozonização dos corantes.	52
Tabela 9 - Características médias dos efluentes têxteis em Santa Catarina.	56
Tabela 10 - Principais características do efluente sintético.	56
Tabela 11 - Médias dos valores de lodo gerado nos ensaios de coagulação-floculação.	77
Tabela 12 - Valores médios de DQO após ensaios de coagulação-floculação.	78
Tabela 13 - Principais características do efluente sintético.	85
Tabela 14 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o pH ótimo de floculação (1ª.Etapa) .	92
Tabela 15 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o pH ótimo de floculação (1ª.Etapa) .	92
Tabela 16 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o pH ótimo de floculação (1ª.Etapa) .	93

Tabela 17 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o pH ótimo de floculação (1ª.Etapa) .	93
Tabela 18 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o pH ótimo de floculação (1ª.Etapa) .	94
Tabela 19 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o pH ótimo de floculação (1ª.Etapa) .	94
Tabela 20 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o pH ótimo de floculação (1ª.Etapa) .	95
Tabela 21 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o pH ótimo de floculação (1ª.Etapa) .	95
Tabela 22 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o dosagem ótima de Sulfato Ferroso.	96
Tabela 23 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o dosagem ótima de Sulfato Ferroso.	96
Tabela 24 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o dosagem ótima de Sulfato Ferroso.	97
Tabela 25 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o dosagem ótima de Sulfato Ferroso.	97
Tabela 26 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o dosagem ótima de Sulfato Ferroso.	98
Tabela 27 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o dosagem ótima de Sulfato Ferroso.	98
Tabela 28 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o dosagem ótima de Sulfato Ferroso.	99
Tabela 29 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o dosagem ótima de Sulfato Ferroso.	99
Tabela 30 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto,objetivando refinar o valor da dosagem ótima de Sulfato Ferroso.	100

Tabela 31 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando refinar o valor da dosagem ótima de Sulfato Ferroso.	100
Tabela 32 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando refinar o valor da dosagem ótima de Sulfato Ferroso.	101
Tabela 33 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, com diferentes tempos de sedimentação.	102
Tabela 34 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, com diferentes tempos de sedimentação.	102
Tabela 35 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, com diferentes tempos de sedimentação.	103
Tabela 36 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, com diferentes tempos de sedimentação.	103
Tabela 37 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, com diferentes tempos de floculação.	104
Tabela 38 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, com diferentes tempos de floculação.	104
Tabela 39 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, com diferentes tempos de floculação.	105
Tabela 40 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, com diferentes tempos de floculação.	105
Tabela 41 - Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do corante azul, sem a presença dos produtos auxiliares utilizados no tingimento.	106
Tabela 42 - Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do corante azul, com a presença dos produtos auxiliares utilizados no tingimento.	107
Tabela 43 - Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do corante vermelho, sem a presença dos produtos auxiliares utilizados no tingimento.	108
Tabela 44 - Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do corante vermelho, com a presença dos produtos auxiliares utilizados no tingimento.	109

- Tabela 45** - Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do efluente sintético. 110
- Tabela 46** - Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do efluente sintético. 111
- Tabela 47** - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação objetivando o pH ótimo de floculação, com o efluente pré-ozonizado a 50% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 5 minutos. 112
- Tabela 48** - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação objetivando o pH ótimo de floculação, com o efluente pré-ozonizado a 50% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 5 minutos. 112
- Tabela 49** - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando o dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 50% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 5 minutos. 113
- Tabela 50** - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando o dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 50% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 5 minutos. 113
- Tabela 51** - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando refinar o valor da dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 50% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 5 minutos. 114
- Tabela 52** - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando refinar o valor da dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 50% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 5 minutos. 114
- Tabela 53** - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando a dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 25% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 3 minutos. 115
- Tabela 54** - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando a dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 25% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 3 minutos. 115

- Tabela 55** - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando refinar o valor da dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 25% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 3 minutos. 116
- Tabela 56** - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando refinar o valor da dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 25% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 3 minutos. 116
- Tabela 57** - Resultado das análises relativas a quantificação do lodo gerado nos ensaios de coagulação-floculação do efluente bruto e pré-ozonizado, utilizando as dosagens ótimas de coagulante. 117
- Tabela 58** - Resultado das análises relativas a quantificação do lodo gerado nos ensaios de coagulação-floculação do efluente bruto e pré-ozonizado, utilizando as dosagens ótimas de coagulante. 117
- Tabela 59** - Resultado das análises de DQO após aos ensaios de coagulação-floculação do efluente bruto e pré-ozonizado. 118

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do processo industrial de tecidos de algodão e sintéticos.	9
Figura 2: Despejos provenientes do processamento de tecidos de algodão e sintéticos.	11
Figura 3: Possíveis formas do ozônio devida a ressonância eletrônica.	32
Figura 4: Reatividade do ozônio em soluções aquosas.	34
Figura 5: Configuração básica de Geradores de Ozônio.	36
Figura 6: Perfil da concentração de gás durante a sua absorção.	38
Figura 7: Aparelho para ensaio de floculação (jar-test).	46
Figura 8: Conjunto piloto de ozonização.	50
Figura 9: Média dos resultados dos ensaios para obtenção do pH ótimo de floculação.	58
Figura 10: Média dos resultados dos ensaios para obtenção da dosagem ótima de sulfato ferroso.	59
Figura 11: Média dos resultados dos ensaios para obtenção da dosagem ótima de coagulante, que utilizaram dosagens de sulfato ferroso compreendidas entre 850 a 950 mg/l.	60
Figura 12: Média dos resultados dos ensaios de coagulação-floculação com diferentes tempos de sedimentação.	61
Figura 13: Média dos resultados dos ensaios com diferentes tempos de floculação.	62
Figura 14: Influência da presença de substâncias auxiliares, no consumo de ozônio durante a descoloração da solução contendo corante azul.	64
Figura 15: Influência da presença de substâncias auxiliares, no consumo de ozônio durante a descoloração da solução contendo corante vermelho.	64
Figura 16: Amostras do ensaio de ozonização da solução contendo somente corante vermelho.	66

Figura 17 : Ensaios de Ozonização do efluente sintético.	67
Figura 18 : Remoção de cor do efluente em relação ao tempo de aplicação de ozônio.	68
Figura 19 : Amostras do ensaio de ozonização do efluente sintético.	69
Figura 20 : Resultados do ensaio para obtenção do pH ótimo de floculação do efluente pré-ozonizado durante 5 minutos.	71
Figura 21 : Média dos resultados dos ensaios de coagulação do efluente pré-ozonizado durante cinco minutos, realizados para obtenção da dosagem ótima de coagulante (500 - 1000 mg FeSO ₄ /l).	72
Figura 22 : Média dos resultados dos ensaios de coagulação do efluente pré-ozonizado durante cinco minutos, realizados para obtenção da dosagem ótima de coagulante (600 - 750 mg FeSO ₄ /l).	73
Figura 23 : Média dos resultados dos ensaios de coagulação do efluente pré-ozonizado durante três minutos, realizados para obtenção da dosagem ótima de coagulante (500 - 1000 mg FeSO ₄ /l).	75
Figura 24 : Média dos resultados dos ensaios de coagulação do efluente pré-ozonizado durante três minutos, realizados para obtenção da dosagem ótima de coagulante (700 - 900 mg FeSO ₄ /l).	76
Figura 25 : Receita de banho de tingimento .	84
Figura 26 : Conjunto para determinação de ozônio em fase gasosa.	90

RESUMO

As estações de tratamento de efluentes têxteis são formadas em sua grande maioria, por uma seqüência clássica de processos, composta inicialmente por coagulação-floculação, seguida de um processo biológico, que geralmente são lodos ativados. Diversos problemas envolvem essas estações, em especial o baixo nível de eficiência quanto a remoção de cor e a elevada produção de lodo. Somente na região de Blumenau, onde estão localizadas as maiores indústrias do pólo têxtil catarinense, as estações de tratamento de efluentes dessas indústrias geram diariamente, segundo informações da Associação Comercial e Industrial de Blumenau (Acib), aproximadamente 100 T (toneladas) de lodo, que são enviadas ao aterro controlado municipal, acelerando a saturação do mesmo, e causando problemas ambientais em decorrência da lixiviação do lodo degradado a cursos naturais de água. A grande quantidade de lodo gerada nas estações convencionais de tratamento de efluentes têxteis, vem sendo objeto de muitas pesquisas, algumas buscando o reaproveitamento do lodo têxtil como material de construção, e outras procurando desenvolver tratamentos alternativos que não gerem lodo, ou que pelo menos, diminuam a quantidade de lodo gerada. O ozônio reage facilmente com a maioria dos corantes utilizados nas indústrias têxteis, o que explica que a descoloração de efluentes têxteis faça parte de suas aplicações usuais. A técnica da ozonização, ao contrário do processo de coagulação-floculação, não gera lodo, e combinada com esse processo, representa uma eficiente alternativa para o tratamento de efluentes da indústria têxtil. O presente trabalho investigou através de estudos em laboratório, o efeito da pré-ozonização em relação a geração de lodo no processo de coagulação-floculação. Como efluente de estudo, foi utilizado uma solução sintética, a qual simulou as características dos despejos da indústria têxtil. Ensaios de ozonização foram realizados procurando diminuir o consumo de ozônio, sendo utilizado um piloto semi-contínuo, no qual o efluente sintético recirculava, e o gás ozonizado era injetado continuamente. Ensaios de coagulação-floculação do efluente bruto e pré-ozonizado determinaram a dosagem ótima de coagulante, sendo posteriormente avaliados em relação a geração de lodo e a redução de DQO. Com base no trabalho experimental realizado, concluiu-se que a pré-ozonização reduz a geração de lodo em até 40%, como consequência da diminuição da taxa de coagulante, e é praticamente ineficaz na redução da DQO quando utiliza baixas taxas de tratamento.

ABSTRACT

The great majority of treatment stations for textile waste operates in a classic sequence of processes, composed initially of coagulation-flocculation, followed by a biological process, which usually consists of activated sludge. These stations are confronted with several different problems, mainly the low level of efficiency in removing color and the high production of sludge. In the region of Blumenau alone, where Santa Catarina's largest textile factories are located, the treatment stations for the effluents from these factories generate daily, according to the information from the Blumenau Commercial and Industrial Association (ACIB), approximately 100 T (tons) of sludge, which is dumped into the controlled municipal landfill, where each new load brings excessive saturation, causing environmental problems, due to the leaching of degraded sludge that is later carried to natural water streams. The large quantity of sludge generated in conventional treatment stations for textile waste, has been the object of a great deal of research, some of which attempts to recycle textile sludge as building material, while others seek to develop alternative treatments that generate either no sludge or a considerably reduced quantity. Ozone easily reacts to most of the dyes utilized in the textile industry, which explains how fading of textile effluents is a usual consequence of its application. The ozonization technique, unlike the coagulation-flocculation process, does not generate sludge, and combined with the latter process, represents an efficient alternative for the treatment of effluents from the textile industry. The present study has investigated, through laboratory tests, the effect of pre-ozonization in relation to sludge generation in the coagulation-flocculation process. As an experimental effluent, a synthetic solution was utilized, simulating the characteristics of waste from the textile industry. Ozonization tests were carried out, seeking to reduce ozone consumption, with the utilization of a semi-continuous pilot, in which the synthetic effluent recirculated and the ozonized gas was continually injected. Coagulation-flocculation tests of the gross, pre-ozonized effluent determined the optimum dosing of the coagulant, with a subsequent evaluation regarding sludge generation and DQO reduction. Based on these laboratory experiments, it was concluded that pre-ozonization reduces sludge generation by as much as 40%, as a consequence of decreased rate of coagulation, while it is virtually ineffective in the DQO reduction when a low scale of treatment is utilized.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina concentrou em pouco mais de um século, o segundo maior pólo têxtil em volume de produção do Brasil. Localizadas em sua grande maioria no Vale do Itajaí, sobretudo nos municípios de Blumenau e Brusque, e no norte e nordeste do estado, nos municípios de Joinville e Jaraguá do Sul, as indústrias têxteis respondem hoje, segundo o relatório do ano de 1996 da Fundação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (FIESC, 1996) por aproximadamente 25% do valor da transformação industrial catarinense. São roupas de cama, mesa e banho, camisetas de malha dentre outros artigos têxteis, que perfazem cerca de 110 mil toneladas de artigos produzidos anualmente na região.

~~Em~~ Em decorrência do grande volume de produção, também vultoso é o volume de resíduos gerados nos processos de produção destas indústrias. Assim, seus efluentes incorporam substâncias provenientes de todas as etapas do beneficiamento de fibras têxteis tais como: desengomagem, lavagem, alvejamento, tingimento, estamparia, dentre outros. Os despejos da operação de desengomagem, por exemplo, são formados principalmente pelos produtos da decomposição da goma de amido e do reagente de hidrólise. O volume é relativamente baixo e a DBO alta, podendo contribuir com 50% da DBO total do efluente da indústria. Já na operação de tingimento, os despejos são variados em virtude dos diferentes tipos de corantes e da forma de aplicação, volumosos, tem forte coloração e, alguns, podem ser tóxicos. Sua DBO é geralmente baixa, mas pode atingir 37% da carga total do efluente em algumas indústrias têxteis (CETESB, 1991).

Toda esta carga poluidora vinha sendo lançada até pouco tempo, diretamente nos corpos d'água da região, com exceção das indústrias de maior porte, que em função do grande volume de efluentes lançados, produziam os chamados "rios coloridos" de Blumenau. Tal fenômeno mobilizou a opinião pública da época, fazendo com que essas indústrias já instalassem estações de tratamento de efluentes desde o final dos anos 70.

A partir de 1989, a Fundação de Amparo ao Meio Ambiente (Fatma) elaborou um programa de recuperação ambiental da região, onde sessenta indústrias, responsáveis por 80% da carga poluidora lançada nos rios, foram selecionadas e a elas concedido prazo para a construção de estações de tratamento de efluentes (SOARES, 1992).

Passados cinco anos, as indústrias selecionadas implantaram suas estações de tratamento de efluentes, as quais são formadas na maioria dos casos, por uma seqüência clássica de processos, composta inicialmente por coagulação-floculação, seguida de um processo biológico, que geralmente são lodos ativados.

Diversos problemas envolvem essas estações, em especial o baixo nível de eficiência quanto a remoção de cor e a elevada produção de lodo. O leito de secagem de lodo de uma determinada tinturaria por exemplo, segundo relatório de fiscalização da Fatma em 1994, não conseguia absorver o volume de lodo gerado na estação de tratamento de efluente.

Os tratamentos convencionais, entre os quais estão a coagulação-química e lodos ativados, geram em média de três a cinco Kg (quilogramas) de lodo por metro cúbico de efluente tratado (RAIZER, 1996).

Só no município de Blumenau, onde estão localizadas as maiores indústrias do pólo têxtil catarinense, as estações de tratamento dessas indústrias geram diariamente, segundo informações da Associação Comercial e Industrial de Blumenau (ACIB), apro-

ximadamente 100 T (toneladas) de lodo, que são enviados ao depósito de lixo municipal.

Considerando-se as quantidades de lodo geradas, bem como sua provável composição química, pode-se imaginar que a deposição destes rejeitos no ambiente, torna-se um procedimento problemático sob vários pontos de vista, uma vez que, além do perigo da saturação dos depósitos, possam ocorrer problemas causados pela poluição ambiental, em decorrência da degradação do lodo e da sua lixiviação a cursos naturais de água.

A grande quantidade de lodo gerada nas estações convencionais de tratamento de efluentes têxteis vem sendo objeto de muitas pesquisas no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, algumas buscando o reaproveitamento do lodo têxtil, como material de construção, e outras procurando desenvolver tratamentos alternativos, que não gerem lodo, ou que pelo menos, diminuam a quantidade gerada.

A técnica da ozonização, ao contrário da coagulação-floculação, não gera lodo (BALDES, 1993). O ozônio reage facilmente com a maior parte dos corantes utilizados nas indústrias têxteis, o que explica que a descoloração de efluentes de tinturaria faça parte de suas aplicações usuais (NAYME, 1997). A ozonização combinada com a coagulação-floculação representa uma eficiente alternativa para o tratamento de efluentes têxteis (LIU e LIN, 1994). A partir dessas citações encontradas na bibliografia técnica especializada, e no conhecimento dos benefícios decorrentes da pré-ozonização na redução da dosagem de coagulante no tratamento de água, pretendeu-se estudar o efeito da pré-ozonização na geração de lodo em processos de coagulação-floculação no tratamento de efluentes têxteis.

O presente trabalho tem como propósito, demonstrar através de estudos pilotos desenvolvidos em laboratório, que o emprego de pequenas doses de ozônio poderá resultar na diminuição do volume de lodo gerado na coagulação-floculação, como com-

seqüência da diminuição da taxa de coagulante necessária ao tratamento de efluentes têxteis.

1.1 - Objetivos

1.1.1 - Objetivo Principal

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da pré-ozonização na geração de lodo no processo de coagulação-floculação no tratamento de efluentes têxteis.

1.1.2 - Objetivos Secundários

- ⇒ Avaliar a interferência dos produtos auxiliares de tingimento no consumo de ozônio na descoloração de efluentes têxteis.
- ⇒ Avaliar o efeito de baixas concentrações de ozônio na redução de DQO em efluentes têxteis.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Processo de produção têxtil

Os produtos têxteis são derivados da manufatura de fibras naturais, como a lã e o algodão, e da manufatura de fibras sintéticas como o poliéster, nylon, rayon ou acetato. As fibras têxteis naturais podem ser classificadas em vegetais e animais, e as fibras sintéticas ou químicas como de polímeros naturais ou polímeros sintéticos.

- **Fibras naturais vegetais:** algodão, linho, rami, juta, sisal e outras.
- **Fibras naturais animais:** lã de ovelha, coelho, cabra, seda e outras.
- **Fibras químicas de polímeros naturais:** celulose regenerada, ésteres de celulose e látex (vegetal) e caseína (animal).
- **Fibras químicas de polímeros sintéticos:** poliéster, poliamida, e acrílicas.

Os processos envolvidos na operação das indústrias têxteis podem ser identificados como: processos secos e processos úmidos. Os processos chamados secos incluem a manufatura dos fios (fiação) e tecelagem, enquanto o processo úmido inclui várias categorias de acordo com o processo empregado e a matéria-prima utilizada, mas de modo geral estas etapas seriam a de lavagem, tingimento, engomagem, desengomagem, cozimento, alvejamento, mercerização, estamparia, tinturaria, vaporização e acabamento.

As etapas que constam do processamento genérico de tecidos serão descritas como segue:

- **Matéria-prima:** A matéria-prima vem acondicionada em fardos de algodão, rayon-viscose, poliéster ou de naylon.
- **Preparação de fição e fiação:** A matéria-prima é processada nos abridores, batedores, cardas, passadores, penteadeiras, maçarqueiras, filatórios, retorcedeiras e conicaleiras.
- **Tingimento dos fios:** Neste processo os fios são fervidos, em rolos ou em bobinas, em soluções de soda cáustica ou detergente (cozimento), seguindo-se a lavagem em água corrente e posterior imersão em soluções contendo corantes. Os fios tingidos em bobinas, seguem direto para a tecelagem, enquanto que os tingidos em rolos seguem para a engomagem. Os despejos provenientes desta etapa produtiva apresentam cor forte e contém, basicamente, soda cáustica, detergente e sabões. A descarga não apresenta-se de forma contínua, ou seja, é intermitente.
- **Engomagem:** Esta etapa visa aumentar a resistência mecânica dos fios, pois o trabalho nos teares requer resistência dos mesmos, portanto esta etapa é indispensável antes da tecelagem. Os fios chegam às unidades de engomagem em rolos de urdume; são submetidos a uma solução de goma de fécula fervida, da onde serão formados rolos engomados da tecelagem. Os efluentes gerados nesta etapa constituem-se da água de lavagem dos reservatórios e cozinhadores de goma e pelas descargas das engomadeiras. Apresentam elevada DBO, principalmente devido a presença de amido, volume que varia entre 0,5 a 8 l/kg de material processado e um pH que varia entre 7 e 9.

- **Tecelagem:** Este é o processo pelo qual os fios são transformados em tecidos nos teares, como trata-se de um processo a seco, não há geração de efluentes líquidos.
- **Chamuscagem e desengomagem:** A chamuscagem é a queima da penugem do pano, obtida pela passagem do mesmo sobre grelhas acesas. Após a chamuscagem o pano é enviado a um saturador, o qual destina-se a embeber o pano com enzimas, detergentes alcalinos quentes ou sabões emolientes dissolvidos em água, com a finalidade de destruir gomas. Após o período de embebição (2 a 10 horas em temperatura superior a 120°C) as enzimas destroem os amidos. A seguir, o tecido passa por lavadeiras especiais. Os despejos são constituídos, principalmente, por produtos da decomposição da goma de amido e do reagente de hidrólise. O volume é relativamente baixo e a DBO elevada, podendo contribuir com 50% da DBO total, já o efluente de resfriamento da chamuscadeira pode ser totalmente recirculado.
- **Acabamento:** O acabamento pode ser dividido em três partes, sendo:
 - ⇒ Pré-lavagem - onde ocorre realmente a desengomagem.
 - ⇒ Cozimento - este pode ser realizado por meio de processo contínuo ou por cargas. O cozimento se dá através da ação de um meio alcalino e detergentes onde óleos orgânicos da matéria-prima são removidos, para que não haja interferência no processo de tingimento.
 - ⇒ Alvejamento - nesta etapa utiliza-se o peróxido de hidrogênio e/ou cloro. A DBO dos efluentes gerados pode contribuir em até 10% da carga total, as águas residuárias geradas apresentam matéria orgânica proveniente da matéria-prima utilizada e ácidos.

- **Mercerização:** O tecido acabado é submetido a um banho alcalino sob tensão por meio de corantes, o que faz com que as fibras adquiram brilho.
- **Secagem:** É realizada através de secadeiras, constituídas por uma série de cilindros aquecidos com vapor. Não há ocorrência de despejos, já que a água condensada desses cilindros retorna para as caldeiras.

Após a mercerização, o tecido tem dois caminhos alternativos, ou segue para a tinturaria onde lhe é atribuída cor através de corantes e pigmentos, ou segue para a estamparia.

- **Tinturaria:** O tecido passa por uma solução de tinta, é fixado e lavado. O tingimento pode ser realizado por processos contínuos e descontínuos. No processo contínuo, o tecido após impregnação em um banho contendo tinta e produtos químicos, é prensado entre dois rolos e secado. A seguir, passa por um processo de vaporização. No processo descontínuo, o tecido é submetido a um movimento de vaivém, enrolando-se e desenrolando-se entre dois cilindros, e simultaneamente passando por um tanque contendo tintas e produtos auxiliares. Os despejos do tingimento são variados, devido aos diferentes tipos de corantes e diferentes maneiras com que são aplicados, apresentam volume elevado, forte coloração e alguns podem apresentar toxicidade. A DBO é geralmente baixa, mas pode atingir 37% da carga total em algumas unidades fabris. Em alguns casos, estes despejos apresentam uma demanda imediata de oxigênio significativa, dependendo dos agentes de redução usados em alguns banhos de tingimento.

- **Estamparia:** Este é um processo automático de cilindros perfurados semelhante a um “silk screen”, de onde as imagens são transferidas para o tecido com a aplicação de corantes e pigmentos. Os efluentes gerados contêm corantes e pigmentos e em alguns casos soda cáustica e goma.
- **Acabamento:** Esta é a ultima etapa no processamento do tecido. Nesta etapa o tecido recebe tratamentos para satisfazer o consumidor. Consiste na aplicação de gomas e resinas, as quais são secadas ou fixadas sob temperatura controlada. Os efluentes são provenientes das lavagens do fular (cilindros), das máquinas e do piso, e contêm uréia, formol, trifosfato, amido, estearato, óleo sulfuricinado, emulsões e resinas polivinílicas e sais de magnésio.

A figura 1 mostra o fluxograma do processo industrial para o algodão e tecidos sintéticos.

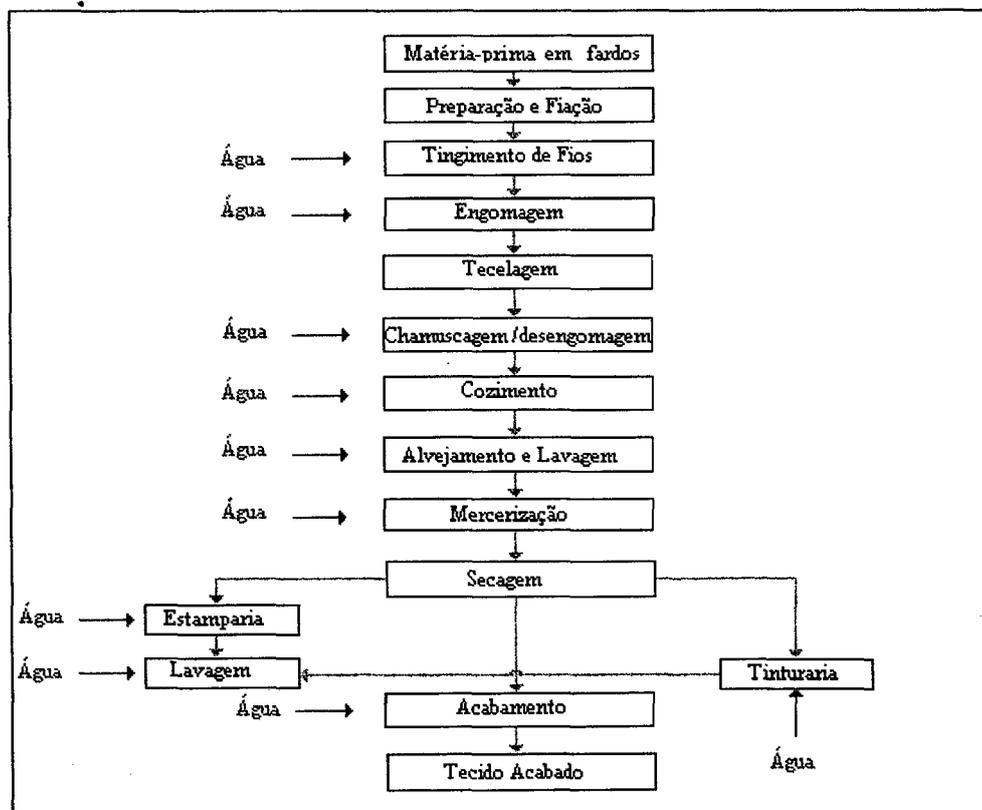


Figura 1: Fluxograma do processo industrial de tecidos de algodão e sintéticos.
 Fonte: Braille, P.M., Cavalcanti, J.E.W., Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais, São Paulo, Cetesb, 1993.

2.2 - Características das águas residuárias geradas nas indústrias têxteis

As águas residuárias geradas nos processos têxteis são variáveis na quantidade e composição, dependendo do processo e da matéria-prima utilizados. Estes efluentes são caracterizados por elevada carga orgânica, assim como elevada vazão e alta carga de sólidos, presença de metais pesados e cor. A tabela 1 ilustra as características destas águas conforme as etapas do processo de produção.

Tabela 1- Características típicas das águas residuárias de processos da fabricação de tecidos.

Processo	Volume (m³/t)	DBO₅ (kg/t)	SST₍₁₎ (kg/t)	SDT₍₂₎ (kg/t)	pH
Engomagem	4,2	2,8	--	57	7 - 12
Desengomagem	22	58	30	53	7
Cozimento	100	53	22	65	10 - 13
Alvejamento	100	8	5	35	8,5 - 9,6
Mercerização	35	8	2,5	33	5,5 - 9,5
Tingimento	50	60	25	70	5 - 10
Estamparia	14	54	12	71	--

1. Sólidos Suspensos totais

2. Sólidos Dissolvidos Totais

Fonte: Nota Técnica sobre Tecnologia de Controle - Indústria Têxtil, NT-22, São Paulo, Cetesb, 1991.

Os valores expressos na tabela 1 independem do processo e tipo de tecido fabricado, portanto são valores genéricos. A tabela 2, ilustra as características das águas residuárias de acordo com a matéria-prima e etapa do processo.

Tabela 2 : Características dos efluentes conforme matéria-prima utilizada e etapa do processamento, os valores são expressos em mg/l.

Parâmetro	Lã beneficiamento	Lã acabamento	Fiação/ Tecelagem	Tinturaria	Malharia	Tingimento de fios
			(A,AP,AV)	(A,AP,AV)	(A,N)	(A,AP,N,P)
DBO	5480	300	300	550	250	200
SST	7500	130	150	185	300	50
DQO	30500	1041	950	850	850	524
Óleos/Graxas	5340	*	*	*	*	*
Cromo Total	0,05	4	*	0,04	0,05	0,013
Fenol	1,5	0,5	*	0,04	0,27	0,12
Sulfetos	0,2	0,1	*	2,72	0,2	*
Cor	2000	500-1700	*	325	400	600
pH	6 a 9	6 a 11	6 a 11	7 a 11	6 a 9	7 a 12

A - Algodão, AP - Algodão-poliéster, AV - Algodão - viscose, N - Nylon, P - Poliéster

Fonte: Conchon, J. A, Tratamento de Águas Residuárias de Indústrias Têxteis. São Paulo, Neotex Consultoria Energética e Ambiental Ltda., 1995.

A figura 2, mostra os despejos provenientes do processamento de tecidos de algodão e sintéticos.

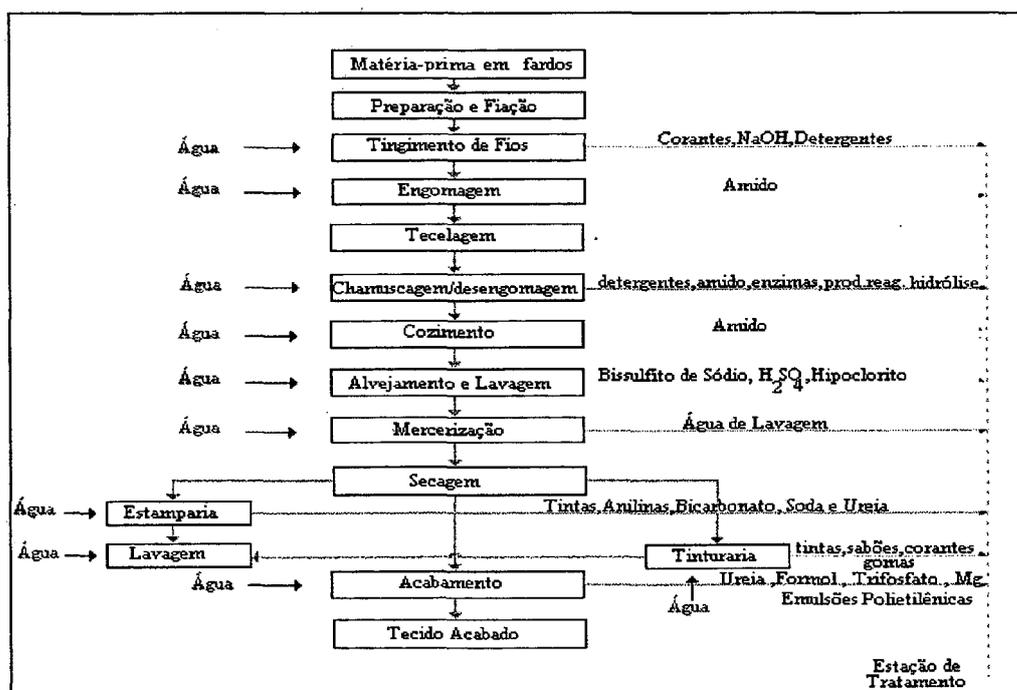


Figura 2: Despejos provenientes do processamento de tecidos de algodão e sintéticos.

Fonte: Braile, P.M., Cavalcanti, J.E.W.A, Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais, São Paulo, Cetesb, 1993.

De acordo com LAPOSY et al. (1995), os poluentes gerados na indústria têxtil podem ser classificados como segue :

- **poluentes de prioridade 1** : São aqueles que causam efeitos nocivos imediatos sobre o corpo d'água receptor, como o pH, DBO, temperatura, óleos e graxas (solúveis em hexano) e sólidos.
- **Poluentes de prioridade 2**: São aqueles que podem causar um efeito nocivo/adverso ao meio receptor, dependendo das características do corpo receptor, da utilização da água e do tempo, como DQO, cor, detergentes.
- **Tóxicos**: Estes são de grande importância, pois interferem diretamente no metabolismo dos organismos vivos, podendo causar desequilíbrios no ecossistema. São os metais pesados e fenóis.

Segundo LAPOSY et al. *ibid.*, para o controle destes poluentes e mitigação dos efeitos que os mesmos possam causar no corpo d'água receptor, devem-se considerar algumas de suas características:

- Regularidade da vazão para evitar choques no meio receptor e tratamento biológico.
- pH e temperatura, sendo o pH mantido entre 5 e 9 para não causar desequilíbrio no ecossistema aquático, já para o processo biológico este deve ser mantido entre 6,5 a 7,5. A temperatura muito elevada leva a depleção da concentração de oxigênio.

- A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) expressa a matéria orgânica contida nos efluentes que será consumida pelos microrganismos presentes, os quais consumirão oxigênio dissolvido na água. Portanto se a DBO for muito elevada o teor de oxigênio dissolvido decresce, podendo até alcançar valores próximos de zero, prejudicando assim toda a vida aquática pertencente ao ecossistema receptor.
- Os sólidos contribuem para o assoreamento dos lagos e rios, podendo interferir nos nichos ecológicos dos organismos presentes, interferindo na biodiversidade do ecossistema. Um outro aspecto que deve ser levado em consideração é que concentrações elevadas de sólidos podem causar o entupimento das vias respiratórias em peixes.
- Os metais pesados interferem de maneira decisiva na atividade enzimática dos microrganismos. Estes devem ser removidos dos efluentes, e quando há tratamento biológico, estes devem ser removidos a montante do mesmo.
- Os óleos e graxas interferem na oxigenação do meio aquático receptor formando películas na interface ar/água e podem causar entupimentos das vias respiratórias dos peixes. Se houver tratamento biológico, estas substâncias devem ser removidas através de tratamentos físico-químicos.
- A cor é um parâmetro importante, pois não se permite atribuir cor a um rio, pois poderá dificultar a atividade fotossintética, captação e tratamento para o abastecimento público.

Conhecendo as características dos efluentes gerados pela indústria têxtil, não há dúvidas quanto a necessidade destas águas serem tratadas adequadamente, minimizando o seu potencial poluidor.

2.3 - Tratamento dos efluentes da indústria têxtil

2.3.1 - Considerações iniciais

O tratamento dos despejos deve ser efetuado para garantir um efluente final dentro dos padrões de emissão previstos na legislação ambiental, com a finalidade de preservar o meio aquático receptor.

A escolha do processo de tratamento dos efluentes ou a seqüência do processo, depende de uma série de fatores, tais como: característica do efluente (DBO, concentração de sólidos em suspensão, pH e presença de substâncias tóxicas), qualidade do efluente requerida após o tratamento, custo, disponibilidade de área e disponibilidade tecnológica.

2.3.2 - Principais etapas do processo de tratamento

A Nota Técnica Sobre Tecnologias de Controle Para Indústria Têxtil (CETESB, 1991) descreve resumidamente as etapas mais utilizadas no processo de tratamento dos efluentes têxteis, como segue :

2.3.2.1 - Tratamento primário

O tratamento primário implica na remoção de sólidos e o condicionamento do efluente, visando o encaminhamento para o tratamento secundário.

- **Gradeamento** - Remove o material grosseiro. Esta etapa previne entupimentos de tubulação e equipamentos, preservando as etapas subsequentes do tratamento.
- **Remoção de areia** - As caixas de areia são utilizadas para a retenção de areia e outros detritos pesados inertes, em suspensão nos efluentes. São utilizadas com objetivo de proteger bombas e tubulações contra a abrasão e entupimento. Estas caixas são construídas com velocidade controlada, em torno de 0,3 m/s, permitindo manter os sólidos mais leves em suspensão, notadamente matéria orgânica, separando-os do material mais pesado.
- **Remoção de óleos e gorduras** - Os retentores de óleos são recipientes que provocam a redução da velocidade do efluente e apresentam uma superfície sem turbulência. Enquanto os sólidos mais densos se depositam no fundo formando lodo, os corpos menos densos sobem à superfície, formando escumas, as quais são retiradas mecanicamente ou manualmente.
- **Equalização** - Promove uniformes condições de vazão e/ou concentração a montante do tratamento biológico. Geralmente o tempo de detenção nesta etapa é de 24 horas, podendo ocorrer sedimentação de sólidos e produção de maus odores. Em casos assim, é recomendável fornecer aeração para evitar condições anaeróbias. A equalização dos efluentes deve ser efetuada se houver grande variação de vazão, pH, carga orgânica ou de temperatura, com a finalidade de garantir uma boa eficiência do tratamento secundário.

- **Neutralização** - Os efluentes têxteis apresentam valores de pH entre 5 e 12, devido a natureza ácida dos corantes, e a natureza alcalina das etapas de lavagem. Os despejos ácidos são neutralizados por produtos como o cal, carbonato de sódio ou soda. A cal é mais barata, mas apresenta a dificuldade de manuseio e produz uma grande quantidade de lodo. Despejos alcalinos podem ser neutralizados usando-se ácido fortes. Algumas unidades não neutralizam seus efluentes alcalinos, porque já há um abaixamento do pH no tanque de equalização, reforçado se ainda forem adicionados esgotos domésticos.
- **Coagulação e floculação** - Pode ser utilizado como um tratamento primário ou então como terciário. Produtos químicos são adicionados para a remoção de colóides, material suspenso orgânico ou inorgânico. Geralmente são utilizados produtos como o sulfato de alumínio, sais de ferro e cal. Corantes dispersos podem ser removidos através da coagulação, entretanto não é eficiente para outros tipos de corante. A classificação dos corantes utilizados na indústria têxtil esta apresentada no **anexo 2**.
- **Sedimentação** - Remoção de sólidos por gravidade. A sedimentação pode ser utilizada nos processos de tratamento para equalização, remoção de orgânicos e inorgânicos e da coagulação química. O tempo de retenção é da ordem de 3 horas. As unidades que apresentarem efluentes com quantidades não significativas de sólidos sedimentáveis, os decantadores têm sido utilizados para promover a equalização parcial, remoção de fibras e escumas, acerto de pH, remoção de cromo, coagulação química e tratamento de sulfetos ou então, de fenóis.

- **Flotação** - É um processo usado para separar a fase sólida da fase líquida, tendo os mesmos objetivos da decantação por gravidade. No entanto, a separação das duas fases é aumentada através da pressurização do efluente na unidade de flotação para permitir a liberação de bolhas que se agregam às partículas em suspensão. As partículas sólidos-ar emergem para a superfície da unidade de flotação, de onde são removidos através de raspadores de lodo.

2.3.2.2 - Tratamento secundário

O tratamento secundário promove a remoção da matéria orgânica dissolvida e sólidos suspensos presentes nos efluentes industriais, são os chamados tratamentos biológicos. Estes sistemas copiam a ação existente nos rios e lagos, quando lhes são oferecidas condições, como pH, temperatura, nutrientes e oxigênio dissolvido, para o desenvolvimento de microrganismos. Dentre os microrganismos as bactérias se sobressaem, pois constituem a principal parte da biomassa e é o nível trófico básico em todos os estágios dos tratamentos biológicos. As faixas de pH e temperatura fora das recomendáveis e concentrações inadequadas de metais pesados interferem no metabolismo enzimático das bactérias prejudicando a performance do tratamento.

Os processos biológicos são caracterizados de acordo com a maneira que se efetua o contato da matéria orgânica com a microfauna e da presença ou não do oxigênio molecular.

Dentre os tratamentos biológicos empregados no tratamento de efluentes têxteis estão :

- **Lodos ativados** - É o processo biológico mais utilizado no tratamento de efluentes têxteis . O sistema de lodos ativados pode ser definido como um sistema no qual uma massa biológica, que cresce e flocula é continuamente recirculada e colocada em contato com a matéria orgânica do despejo, na presença de oxigênio dissolvido fornecido por borbulhamento ou oxigênio puro através de aeradores mecânicos ou difusores. O sistema possui uma unidade de aeração seguida por uma unidade de separação sólido/líquido, de onde o lodo é separado, sendo uma porção descartada e outra retorna ao tanque de aeração, que constitui um inóculo permanente e aclimatado. O processo de lodos ativados apresenta três variações operacionais : aeração prolongada, convencional e rápida. A variante de aeração prolongada produz efluente altamente nitrificado, e opera com baixos fatores de carga, requerendo um tanque de aeração com volume relativamente grande, o que constitui um fator limitante do seu emprego em sistemas de tratamento de despejos de indústrias de médio e grande porte. As principais desvantagens do processo são o seu custo relativamente alto, particularmente para o fornecimento de oxigênio dissolvido, geração de grande quantidade de lodo e uma baixa eficiência na remoção de cor. A eficiência de remoção de DBO neste processo pode atingir valores entre 90 e 98%.
- **Filtros biológicos** - Nos filtros biológicos, a população microbiana fica aderida a um meio suporte, que pode ser formado por pedras ou materiais sintéticos. O despejo é percolado sobre o leito filtrante e a matéria orgânica é oxidada pelos microrganismos aderidos ao meio filtrante. O oxigênio necessário é obtido através do ar existente nos interstícios da estrutura. Os filtros biológicos, por serem muito sensíveis à variações dos despejos, não permitem flexibilidade de

operação. O filtro biológico de único estágio não é aconselhável para despejos de processamento de algodão, por atingir menor eficiência que o processo de lodos ativados, atingindo uma remoção de DBO entre 50 e 75 %, por outro lado, consegue-se bons resultados com filtros biológicos de dois estágios, mas o processo é mais oneroso que o de lodos ativados.

- **Lagoas de estabilização** - As lagoas de estabilização podem ser classificadas em lagoas de oxidação (aeróbias), facultativas, anaeróbias, de maturação ou polimento e as mecanicamente aeradas. As lagoas de oxidação têm pequena profundidade, entre 0,30 a 0,45 metros, elevados tempos de detenção, na ordem de meses, e ocupam grandes áreas. As taxas de aplicação variam de 60 a 220 kg DBO/ha x dia e a remoção de matéria orgânica é da ordem de 80 a 95%. Já as lagoas facultativas são projetadas para taxas de aplicação de 17 a 90 Kg DBO/ha x dia e profundidades entre 0,90 a 2,5 metros. A remoção de matéria orgânica é da ordem de 70 a 95%. As lagoas mecanicamente aeradas têm sido usadas com sucesso no tratamento de despejos da indústria têxtil, requerendo apenas 3 a 5% da área necessária para uma lagoa de oxidação. As profundidades variam entre 2,5 a 5,0 metros e os tempos detenção entre 2 e 10 dias. O oxigênio necessário ao processo biológico é introduzido mecanicamente e, para se garantir um efluente de boa qualidade, é comum utilizar um tanque de sedimentação após a lagoa. A remoção da DBO e de sólidos em suspensão, depende basicamente do tempo de detenção, da temperatura e do grau de mistura, podendo variar entre 50 e 90%.
- **Combinações de processos** - Para efluentes têxteis, pode-se usar também, combinações de processos, tais como: lodos ativados de dois estágios, filtro biológico de alta taxa seguido de lodos ativados de biodisco. Consegue-se remoção de DBO acima de 90%, mas a um custo bem mais elevado.

2.3.2.3 - Tratamento terciário

O tratamento terciário deverá ser realizado se houver necessidade, por exemplo, de remoção de cor, que não é removida no tratamento biológico, e retirada de nutrientes. Os processos mais utilizados são a ozonização, a coagulação-floculação, a adsorção com carvão ativado ou com resinas sintéticas e as lagoas de polimento.

A tabela 3 apresenta tipos de tratamento utilizados por dez indústrias têxteis com diferentes processos de produção.

Tabela 3: Tipos de tratamento de despejos em indústrias têxteis

Indústria	Etapas de beneficiamento	Tratamento dos efluentes líquidos
1	Alvejamento/Tingimento/Estamparia (Algodão)	Equalização/Neutralização/Lodos Ativados
2	Alvejamento/Tingimento/Estamparia (Algodão, S, CV, AC, PA, PES)	Coagulação/Flotação/Lodos Ativados
3	Alvejamento/Tingimento/Aprestos (Linho)	Coagulação/Floculação/Sedimentação seguida de filtração em carvão ativado
4	Alvejamento/Tingimento/Aprestos (Algodão)	Tratamento Biológico por Lodos Ativados
5	Alvejamento/Tingimento/Aprestos	Coagulação/Floculação/Flotação/Lodos Ativados
6	Alvejamento/Tingimento/Aprestos (Algodão)	Coagulação/Floculação/Flotação/Lodos Ativados
7	Alvejamento/Tingimento/Aprestos (Algodão)	Coagulação/Floculação/Sedimentação seguida de Lodos Ativados
8	Alvejamento/Tingimento/Aprestos (Algodão)	Coagulação/Floculação/Flotação/Lodos Ativados
9	Alvejamento/Tingimento/Estamparia Aprestos	Coagulação/Floculação/Flotação/Lodos Ativados
10	Alvejamento/Tingimento/Estamparia Aprestos (Algodão, CV)	Equalização/Neutralização/Lodos Ativados

Obs: S-Seda, CV-Viscose, AC-Acetato, PA-Poliamida, PES-Poliéster

Fonte: Aspectos do Tratamento de Efluentes Líquidos Têxteis no Brasil e na Alemanha: Uma Comparação: Parte 1, in-Revista Têxtil, Ed. 1, Fev/Mar-95.

A eficiência esperada para os diversos processos de tratamento utilizados na indústria têxtil estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Faixas de eficiência, para diversos processos, normalmente conseguidas no tratamento de efluentes têxteis.

TIPO E UNIDADE DE TRATAMENTO	FAIXA DE REMOÇÃO, EM %				
	DBO ₅	DQO	Sólidos Suspensos Totais	Óleos e Graxas	Cor
TRATAMENTO PRIMÁRIO					
Peneiramento	0 - 5	-	5 - 20	-	-
Equalização	0 - 20	-	-	-	-
Neutralização	-	-	-	-	-
Coagulação química (a remoção depende dos produtos químicos e das dosagens utilizadas)	40 - 70	40 - 70	30 - 90	90 - 97	0 - 70
Flotação	30 - 50	20 - 40	50 - 60	90 - 98	-
Sedimentação primária	5 - 15	-	15 - 60	-	-
TRATAMENTO SECUNDÁRIO					
Lodos ativados convencionais + clarificação	70 - 95	50 - 70	85 - 90	0 - 15	A remoção de cor em tratamento biológico não foi documentada.
Aeração prolongada + clarificação	70 - 94	50 - 70	85 - 95	0 - 15	
Lagoa aerada e clarificação	60 - 90	45 - 60	85 - 95	0 - 10	
Lagoa aeróbia	50 - 80	35 - 60	50 - 60	0 - 10	
Filtros biológicos	40 - 70	20 - 40	-	-	
Lodos ativados em dois estágios	90	-	-	-	
Filtros biológicos em dois estágios	90	-	-	-	
Filtros biológicos de alta taxa + lodos ativados	90	-	-	-	
TRATAMENTO TERCIÁRIO					
Coagulação química	40 - 70	40 - 70	30 - 90	90 - 97	0 - 70
Filtração em meio misto	25 - 40	25 - 40	80	-	-
Adsorção em carvão ativado	25 - 40	25 - 60	25 - 40	-	80 - 90
Cloração	0 - 5	0 - 5	-	0 - 5	0 - 5
Ozonização	-	30 - 40	50 - 70	-	70 - 80
Lagoa de polimento	50	-	-	-	-

Fonte : CETESB. Nota Técnica Sobre Tecnologias de Controle Para Indústria Têxtil, NT 22. São Paulo, 1991.

2.3.3 - Remoção da cor de efluentes têxteis

2.3.3.1 - Considerações gerais

De acordo com SANIM (1997, p.28) o problema da cor, com respeito à indústria têxtil, está associado principalmente aos corantes solúveis em água. Os corantes insolúveis, tais como pigmentos dispersos, tintas, sulfurosos ou azóicos, são eliminados pelo tratamento de sedimentação e somente entram em água superficiais por descarga direta.

Outros corantes solúveis, como os diretos, básicos, muitos ácidos e pré-metalizados, são adsorvidos pelo processo de lodos ativados, e portanto não criam, na prática, problemas posteriores.

Segundo SANIM *ibid.* o problema está com os corantes reativos e ácidos, que são adsorvidos em quantidade insignificante (menos de 25%) e, portanto saem no efluente das estações de tratamento de efluentes convencionais.

2.3.3.2 - Remoção da cor por coagulação-floculação

A coagulação-floculação transforma pequenas partículas em agregados maiores, passíveis de sedimentação. A coagulação resulta de dois fenômenos: o primeiro, químico, consiste da reação do coagulante com a água e a conseqüente formação das espécies hidrolisadas com carga positiva; o segundo físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para viabilizar seu contato com as impurezas. Trata-se de um processo muito rápido (de décimos de segundo a 100 segundos), e dependente do pH, temperatura e quantidade de impurezas do meio líquido, ocorrendo sob condições de forte agitação.

Segundo GONÇALVES (1996), considera-se a coagulação como o resultado de quatro mecanismos distintos:

- Compressão da camada difusa do colóide - formada pelo agrupamento de íons na superfície do colóide, onde a introdução de um eletrólito indiferente (sais simples como NaCl) no sistema coloidal causa um aumento na densidade de cargas na camada difusa e, por conseguinte, a diminuição da esfera de influência das partículas, ocorrendo a coagulação.
- Adsorção e neutralização de carga - provavelmente devida às interações coagulante/solvente (água ou efluente, no caso), a adsorção ocorre na interface colóide/água. Esse mecanismo é muito importante quando o tratamento é realizado por meio de filtração direta, onde não há necessidade de produção de flocos para posterior sedimentação, mas de partículas desestabilizada que serão retidas no meio filtrante.
- Varredura - quando, dependendo das condições de pH da mistura, da concentração de alguns tipos de íons no meio líquido e da quantidade de coagulante adicionada, ocorrer a formação de precipitados do tipo Al(OH)_{3p} ou Fe(OH)_{3p} . Nessa situação, as partículas coloidais são envolvidas por esses precipitados, resultando flocos de maior tamanho e com maior velocidade de sedimentação que os obtidos com o mecanismo de adsorção/neutralização. Esse mecanismo independe da carga de neutralização dos colóides e a condição ótima de coagulação pode não corresponder àquela em que é mínimo o potencial zeta.

- Adsorção e formação de pontes - onde são utilizados polímeros, que vêm a ser compostos orgânicos sintéticos e naturais, caracterizados por grandes cadeias moleculares e que apresentam sítios ionizáveis ao longo dessas cadeias, o que lhes permite serem utilizados como coagulantes.

A floculação resulta do choque entre as impurezas, as quais se aglomeram formando partículas maiores (flocos), que sedimentam. Ocorre sob condições de agitação lenta. Do ponto de vista dos mecanismos físicos da coagulação / floculação, na mistura rápida (coagulação), busca-se uma distribuição uniforme do coagulante no meio líquido, de forma que todas as partículas tenham contato com as espécies hidrolisadas. Na floculação, procura-se obter o maior número possível de encontros e a formação de agregados que sejam eficientemente removidos por sedimentação ou filtração.

De acordo com SANIM (1997, p. 30) o processo de coagulação-floculação é uma técnica físico-química levada a cabo em três etapas distintas :

- Coagulação - floculação : A coagulação é conseguida tradicionalmente no tratamento de efluentes industriais mediante o uso de hidróxido de cálcio e sais metálicos polivalentes como o sulfato ferroso, sulfato férrico, cloreto férrico e sulfato de alumínio. O hidróxido reage com o sal metálico para formar um hidróxido insolúvel, volumoso, sobre o qual se adsorve a cor.
- Separação de sólidos/líquidos : Os flocos são removidos da fase aquosa por um dos seguintes métodos : sedimentação por gravidade, flotação, centrifugação e filtração. Os métodos mais usados na prática são os dois primeiros.

- **Desidratação do lodo** : O lodo separado por sedimentação ou flotação com ar, contém aproximadamente 2,5% de sólidos. Para levá-lo ao local de depósito deve-se desidratá-lo. Utilizando polieletrólitos flocculantes de alto peso molecular, a desidratação é facilitada. Depois dessa operação o lodo terá aproximadamente 30 a 40% de sólidos.

A eficiência do processo de coagulação-floculação no tratamento de efluentes de uma indústria têxtil, utilizando sulfato ferroso como coagulante em pH elevado apresentado por GRAU (1990) é mostrada a seguir:

Tabela 5: Eficiência no processo de coagulação-floculação

Parâmetro	Remoção (%)
DBO ₅	40 a 55
DQO	35 a 40
Cor	80 a 90

Fonte : GRAU, P. Textile Industry Wastewater Treatment. *Water Science and Technology*. Grã-Bretanha, v 24, n^o1, p 97-103,1991.

As vantagens da coagulação-floculação são a tecnologia comprovada, os produtos químicos disponíveis e equipamentos simples, por outro lado é um processo que requer muito espaço, altos custos de químicos e de manuseio, destino adequado do grande volume de lodo, além de apresentar uma grande sensibilidade a variações de pH e temperatura.

2.3.3.3 - Remoção da cor por adsorção

O carvão ativado é o adsorvente mais amplamente usado, porém, é relativamente ineficaz na remoção de alguns corantes dispersos, tintas e pigmentos, sendo muito mais efetivo para descolorir efluentes que contenham corantes reativos, básicos e ácidos.

São utilizadas duas formas de carvão ativado no tratamento de efluentes, o carvão ativado granular e o carvão ativado em pó. Este último é usado conjuntamente com processos de lodos ativados.

O sistema com carvão ativado granular oferece as seguintes facilidades : armazenamento e movimentação do carvão, equipamento de adsorção e planta de reativação. A principal desvantagem da adsorção com carvão ativado granular é sua forma lenta de adsorção ($1 - 2 \text{ m}^3 / \text{h.m}^2$). Algumas vezes é necessário pré-tratar antes da adsorção já que concentrações de sólidos suspensos maiores que 50 mg/l podem se acumular nos leitos de carvão e reduzir a eficiência da descoloração.

Em resumo, a adsorção sobre carvão ativado granular é aplicável em processos descontínuos e com baixas concentrações de cor.

2.3.3.4 - Remoção da cor por ozonização

2.3.3.4.1 - Considerações iniciais

Numerosos autores efetuaram ensaios de descoloração por ozônio sobre diversos corantes existentes e sobre efluentes provenientes de tinturarias. A ozonização é muito eficaz para descolorir uma solução, mais frequentemente o preço de revenda de uma instalação é muito elevado. Em consequência, as pesquisas são mais direcionadas para a otimização do processo: taxa de tratamento

adaptada à solução a tratar; desenho da instalação permitindo uma reatividade ótima do ozônio (mistura gaz-líquido); pesquisas de condições ótimas de reação em função das características do efluente (temperatura, pH, sólidos em suspensão).

A grande dificuldade em comparar os resultados das pesquisas realizadas está na ausência de um método padrão para avaliar a cor de efluentes industriais, sendo que cada autor escolhe o seu método de avaliação. Os principais métodos de avaliar a cor utilizados são:

- Escala Hazen, unidade normalizada em água potável, $1^\circ\text{Hazen} = 1\text{mg/l Pt/Co}$ ou ainda $1\text{mg/l Pt} = 1$ unidade APHA, esta unidade é recomendável nos casos de colorações levemente amarelo-marrom;
- Medidas de absorbância à comprimento de onda de absorção máxima, à espectrofotometro visível, esta medida tem a vantagem de ser rápida e significativa;
- Existe em seguida os métodos de mensuração que necessitam uma aparelhagem mais especializada, fazendo apelo as coordenadas tricromáticas após três medidas de absorbância à comprimento de onda seguintes; 700nm (vermelho), 546.1nm (verde), 435.8nm (azul). As unidades ADMI (American Dyes Manufactures Institute) resultam desta metodologia;
- É possível pôr outro lado exprimir a eficiência de um tratamento de descoloração por diluições de efluente não tratado até obtenção da cor do efluente tratado. Este método é muito interessante quando o objetivo da descoloração é obter um efluente comparável a uma água de referência;

De fato esta grande disparidade de métodos de mensuração, as vezes dificulta comparar os resultados de pesquisas desenvolvidas.

2.3.3.4.2 - Ozonização de soluções coloridas

IKEHATA (1975) fez ensaios de descoloração por ozônio sobre aproximadamente uma centena de corantes provenientes de diversas famílias químicas. Seus ensaios foram realizados em “batch” e sobretudo em contínuo, a descoloração é dentro de todos os casos medida por espectrofotometria. Em seguida realizou estudos sobre um piloto de descoloração por ozônio, utilizando efluente proveniente de uma usina de tinturaria de seda artificial (rayon) previamente clarificado. Ele retirou destes ensaios as seguintes constatações :

- A reação de descoloração segue uma lei cinética de primeira ordem até a eliminação de 90% de cor.
- A taxa global de reação está sobretudo ligada a transferência de massa gaz-líquido, de onde a necessidade de obter o melhor rendimento de transferência otimizando a injeção de ozônio.
- O pré-tratamento do efluente industrial permite dividir por três a quantidade de ozônio necessária afim de obter uma descoloração de 95%, permitindo por outro lado uma melhor eliminação da DQO e da DBO (25 e 10% respectivamente).

MOTL et al. (1986) precisaram que sobre uma água submetida previamente a uma coagulação a diminuição em ozônio para obter a mesma descoloração é de $5\text{g}/\text{m}^3$. Após um tratamento a água pode eventualmente ser reciclada no processo de tinturaria, mesmo se um corante mais claro que aquele que acaba de ser eliminado deve ser utilizado. A possibilidade de recircular água em usinas de enobrecimento têxtil é muito importante, de fato, certas usinas situadas em regiões secas são as vezes obrigadas a parar sua produção.

GOULD et al.(1987) confirmam a lei cinética de primeira ordem para cinco corantes sobre seis estudados. O sexto apresentou uma fase inicial de ordem zero à $\text{pH} = 5$. Ele precisa que concentrações em ozônio de 1 à 4 mmole/l permitem dividir a concentração em corantes por dois.

Numerosos autores confirmam estes resultados mostrando que o ozônio é muito eficaz para eliminar os corantes solúveis ácidos, básicos e reativos enquanto os corantes dispersáveis são mais economicamente eliminados por métodos físico-químicos (coagulação-floculação).

GOUGH (1993) efetuou ensaios pilotos de descoloração sobre um efluente de estação de tratamento. A estação trata uma mistura de esgoto doméstico e efluentes industriais, especialmente de tinturarias. Após a fileira clássica da estação, uma fraca concentração de ozônio (15g/m^3) permite baixar a cor até a um valor inferior à 100mg Co-Pt em 30 minutos. Além disso o ozônio permite obter um melhor rendimento de eliminação de DQO e DBO_5 .

É conhecido que o ozônio é utilizado no tratamento d'água potável por suas propriedades bactericidas. Assim, a utilização do ozônio para a descoloração permitiria também obter uma desinfecção do efluente antes de ser lançado no meio natural. Este parâmetro não está no instante submetido à uma normalização, mais do mesmo modo que a cor, a desinfecção do efluente pode torna-se uma obrigação no futuro .

Existe também problemas de efluentes coloridos dentro das indústrias que fabricam os corantes, ROCHE et al.(1993) compararam diferentes métodos de tratamento: ozonização à pH básico, à pH ácido e o tratamento com coagulação-sedimentação e um ajustamento de pH . Os efluentes foram caracterizados por cromatografia em fase gasosa acoplada á um espectrofotometro de massa e por todos os parâmetros que exprimem a qualidade de uma água (DQO,COT,SS). A

ozonização permite obter rendimentos de eliminação de cor e DQO na ordem de 90%, o mesmo para a eliminação da maioria dos compostos orgânicos detectados em cromatografia gasosa, estes resultados são superiores aqueles obtidos pela fileira clássica. A ozonização à pH básico permite uma diminuição da COT comparável aquela obtida a coagulação. Autores prevêem estudar a combinação da ozonização com outros métodos de depuração afim de diminuir a quantidade de nitrobenzeno, principal subproduto da reação da ozonização (80% à pH ácido) e compostos azoicos (55% à pH básico).

RAKOCZI (1991) descreve uma instalação tratando o mesmo tipo de efluente onde a ozonização é realizada à pH = 10-12. O reator de ozonização é uma coluna funcionando à contra corrente, o efluente é tratado de maneira a eliminar os “captores de radicais”, a passagem na coluna pode ser repetida até que o efluente possua as qualidades requeridas.

2.3.3.4.2.1 -Influência do pH e da temperatura

Segundo o tipo de corante escolhido o pH do efluente pode variar, a maioria dos processos de tingimento se fazem em geral à temperatura vizinha de 100°C, de onde a necessidade de estudar a influência destes dois parâmetros sobre a descoloração de um efluente. Além disso a estabilidade do ozônio varia muito com a temperatura, é então muito importante ajustar as características do efluente afim de ter a reatividade ótima ozônio-corante.

CARRIÈRE et al.(1993) estudaram a reatividade do ozônio com um corante ácido e mais tarde, os mesmos ensaios foram realizados com corante dispersável, variando o pH e a temperatura. Os pH estudados são 4 e 10, à pH = 4, a temperatura tem pouca influência enquanto à pH = 10, a descoloração é mais rápida à 30°C para uma concentração de corante de 480mg/l. A 30°C, o consumo de ozônio é mais importante à pH mais elevado. A temperatura de 30°C parece ser

um ótimo dentro dos casos estudados, pois, se um aumento da temperatura permite uma maior solubilidade do corante, a concentração em ozônio dissolvido diminui rapidamente. Uma diminuição similar da concentração em ozônio dissolvido é observada com o aumento do pH, sendo então o pH ótimo 4.

TINCHER e AVERETE (1982) efetuaram ensaios de descoloração de corantes puros variando a temperatura : à 80°C , a quantidade de ozônio necessária a fim de descolorir um corante ácido aumenta 30%, enquanto um corante dispersável é mais facilmente descolorido à esta temperatura devido a sua maior solubilidade.

2.3.3.4.2.2 - Influência de matérias presentes em solução

Nos processos de tingimento têxtil, é provável achar uma certa quantidade de produtos orgânicos utilizados na fabricação do têxtil. Por isso os efluentes são caracterizados pelos seguintes parâmetros:

- pH : 4 à 12, frequentemente básico, segundo a técnica de tingimento utilizada;
- DQO: 250 à 1500mgO₂/l, ligado aos corantes e outros produtos químicos utilizados;
- DBO₅ : 80 à 500mg O₂/l, ligado aos detergentes, e aos produtos auxiliares utilizados afim de permitir uma melhor penetração do corante na fibra;
- SS : 30 à 1000mg/l, constituídos de fibras e partículas diversas;

CARRIÈRE et al. (1993) estudaram a influência da goma utilizada para preparar as pastas de corantes em impressão a fim de limitar a difusão dentro das fibras. As experiências foram efetuadas à uma temperatura de 30°C e um pH de 4. Os tempos de descoloração de uma solução aumenta com a concentração em goma. A presença de goma aumenta o consumo de ozônio de 19,4% para uma

concentração em goma de 200mg/l ,e 60,3% para 480mg/l, para descolorir as soluções de corante.

TINCHER e AVERETE (1982) estudaram a degradação de produtos auxiliares (agente dispersante) por ozônio, sua cinética de reação é mais lenta que a dos corantes. Em conseqüência, sua presença no efluente aumentará fracamente o consumo de ozônio mais uma boa parte destes produtos poderá ser reciclada.

2.3.4 - Ozônio

2.3.4.1 - Propriedades químicas

O ozônio é o segundo oxidante mais poderoso, excedido em seu potencial de oxidação somente pelo flúor. É um gás que ferve a 112° C à pressão atmosférica, é parcialmente solúvel na água e facilmente detectável em concentrações muito baixas (0,01 a 0,05 mg/l).

A estrutura do ozônio é uma ressonância híbrida das seguintes configurações eletrônicas :

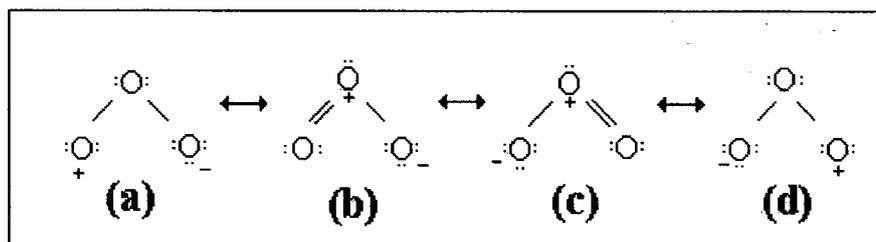


Figura 3: Possíveis formas do ozônio devida a ressonância eletrônica.

Fonte: Nebel, C. Ozone. In : KIRK, R.E and OTHMER, D.F (Ed.), Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd edition, vol. 16, Wiley, New York, 683-713,1981.

Segundo NEBEL (1981), as formas (a) e (d) são os maiores contribuintes das estruturas de ressonância, sendo caracterizadas por um oxigênio na extremidade, com seis elétrons. A ligação das moléculas de oxigênio resulta de duas ligações do tipo σ e uma ligação π , no qual o orbital alonga-se sobre os três

átomos de oxigênio. Isto permite mostrar que o ozônio possui características nucleofílicas, eletrofílicas e um dipolo, sendo assim, sobre compostos orgânicos contendo ligações insaturadas, o ozônio poderá provocar reações eletrofílicas ou de adição.

CHELKOWSKA e GRASSO (1989) observaram que, em água pura, a decomposição do ozônio é iniciada pela reação entre ozônio e íons de OH^- :



O superóxido aniônico O_2^- e o radical hidroperoxil HO_2 estão em equilíbrio ($\text{pK}_a = 4,8$), tal que :



Durante a propagação, o íon superóxido O_2^- transfere imediatamente um elétron ao O_3 , formando o ânion ozoneto e oxigênio molecular,



Conforme os referidos autores, o ânion ozoneto (O_3^-) é protonado e, em seguida, decompõe-se a radical OH , o qual poderá reagir com qualquer soluto, como mostrado a seguir :



Os mecanismos de ação do ozônio em compostos orgânicos ocorrem através das reações do ozônio com estes compostos e podem ser divididos em dois tipos : reações diretas, as quais envolvem o ozônio molecular e, reações indiretas, que envolvem reações com os radicais hidroxilas (OH^\bullet).

A figura 4, ilustra os caminhos das reações do ozônio com compostos orgânicos na água :

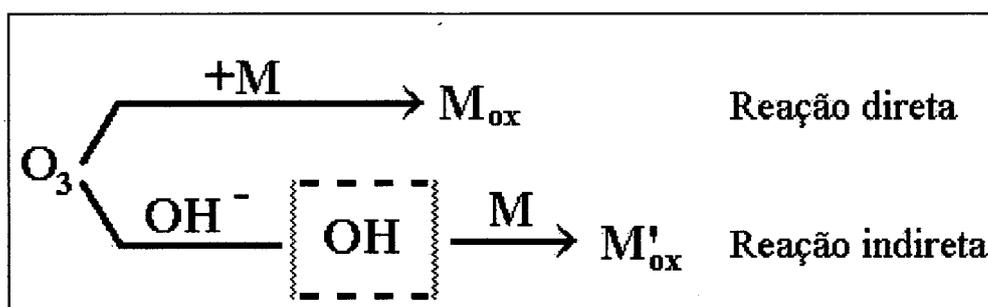


Figura 4 : Reatividade do ozônio em soluções aquosas.

Fonte: Langlais, B. Ozone in water Treatment - Application and Engineering. Compagnie Générale des Eaux, 1991.

Segundo THOMPSON et al. (1989), enquanto a reação direta é altamente seletiva e relativamente lenta, a reação indireta através do OH^\bullet pode reagir facilmente e rapidamente com muitos compostos presentes na água .

BOLLYKY e SILER (1989), afirmam que sob condições de pH ácido ou neutro, o ozônio molecular dissolvido reage com materiais orgânicos, e em condições de pH alcalino, o ozônio decompõe-se primeiramente para formar radicais hidroxilas (OH^\bullet), os quais reagem rapidamente com a maioria dos compostos orgânicos. Os radicais hidroxilas são conhecidos por serem mais reativos e menos seletivos em suas reações que o ozônio molecular.

De acordo com as características do meio à tratar, as espécies reativas à considerar não serão as mesmas. Isto implica que as cinéticas de reação serão diferentes conforme a reação é do tipo radical livre ou se trata de um ataque

direto do ozônio sobre a molécula orgânica. Os subprodutos serão certamente diferentes. Poderá ser interessante comparar os mecanismos reacionais segundo as condições para as diferentes famílias de corantes, pois se uma reação é muito mais rápida ou se os subprodutos são mais interessantes, uma modificação das características do meio poderá melhorar notadamente a reação de descoloração.

2.3.4.2 - Produção de ozônio

O ozônio é um gás instável, produzido através de descarga elétrica. Como é difícil o seu armazenamento e transporte, devido a sua rápida decomposição, ele é normalmente produzido próximo ao local de consumo.

Segundo NEBEL (1981), o ozônio pode ser gerado de diversas maneiras, sendo que a maioria delas requer que as ligações estáveis da molécula de oxigênio sejam divididas em dois átomos de oxigênio. Estes átomos reagem quase que imediatamente com a molécula do oxigênio para formar o ozônio.

Quando se necessita de grandes quantidades de ozônio e maiores concentrações deste gás, a tecnologia da descarga da corona deve ser aplicada. É uma descarga elétrica silenciosa, que fornece aos elétrons energia cinética suficiente para dividir a dupla ligação, do oxigênio-oxigênio, no impacto com a molécula de oxigênio. Os dois átomos de oxigênio, produtos desta colisão, reagem com outra molécula de oxigênio para formar o ozônio.

De acordo com SCHULHOF et al. (1988), em 1857, Werner Von Siemens, mostrou que o ozônio é produzido a partir do oxigênio, através da seguinte reação:



Segundo os referidos autores, um gerador típico deste processo, requer cerca de 16,5 kWh para produzir 1,0 kg de ozônio a partir do ar.

Desde o final do século passado, quando foi construído o primeiro ozonizador por Marius Otto, até o presente momento, os equipamentos operam segundo o mesmos princípios. Basicamente, o oxigênio é introduzido em uma célula, onde ocorre a descarga elétrica, produzida por uma fonte elétrica de alta voltagem. Esta descarga ocorre em uma abertura de dimensões características, entre dois eletrodos (um de alta voltagem e o outro, aterrado), ocupado por duas substâncias dielétricas, uma o oxigênio e a outra, vidro ou cerâmica (geralmente utilizado para limitar a descarga e evitar a formação de arco), conforme mostra esquematicamente a figura 5.

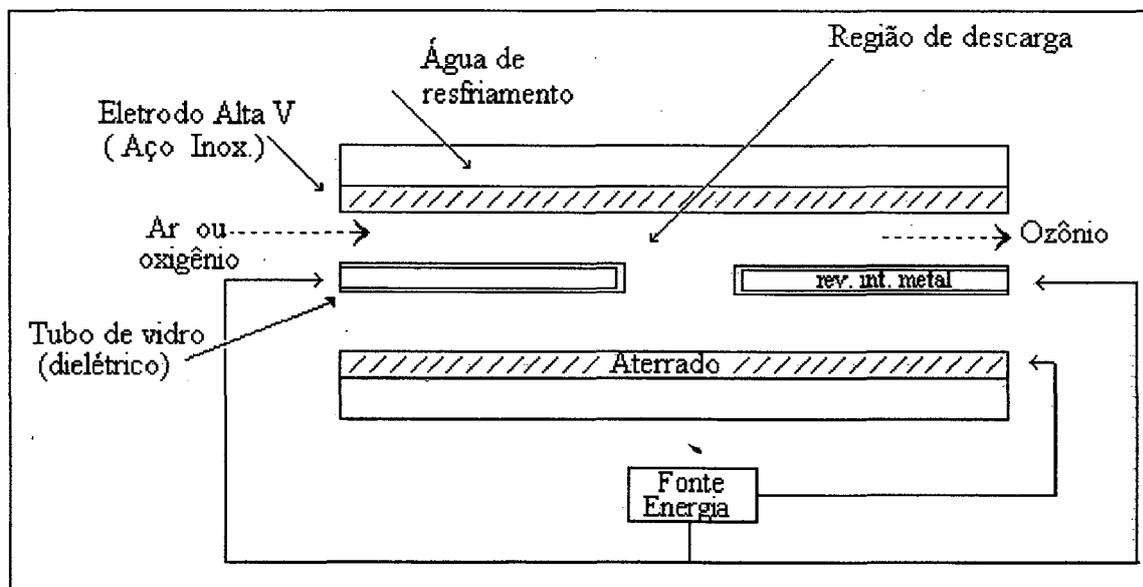
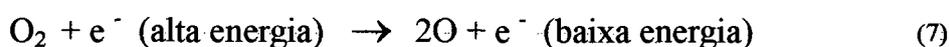


Figura 5 : Configuração básica de Geradores de Ozônio.

Fonte: Glaze, W.H Evaluation of Ozonation by Products from Two California Surface Water.
Journal of American Water Works Association, 81(8): 66-73,1989.

NEBEL (1981), afirma que a taxa de dissociação da molécula de oxigênio pelo impacto com elétrons de 6 a 7 V de energia, depende da distribuição da energia na descarga da corona, conforme a reação 7:



Segundo o referido autor, a descarga da corona é composta por numerosas descargas de pulsação colunares, as quais extinguem-se em pequenos intervalos. Os átomos reativos reagem rapidamente com as moléculas de oxigênio, para formar o ozônio de acordo com a reação 8. Os átomos de oxigênio também reagem com as moléculas de ozônio para formar o oxigênio, como mostra a reação 9.



NEBEL (1981), verificou ainda que, quanto mais alta a concentração do ozônio, maior é a sua taxa de destruição pelo átomo de oxigênio, formado no aparelho gerador de ozônio, porém a velocidade de destruição é muito lenta. Portanto a concentração do ozônio deve ser limitada, de modo que a taxa de formação não se iguale à taxa de destruição. Na prática, esta concentração é da ordem de 4 ou 8% da concentração do alimentador de ozônio em forma de ar ou oxigênio, respectivamente.

2.3.4.3 - Transferência de ozônio

Quando o ozônio é utilizado para tratar águas de abastecimento público ou águas residuárias, deve ser transferido da fase gasosa, na qual é gerado, para a fase líquida.

Segundo GOULD et al. (1989), os sistemas de aplicação de ozônio mais usuais são os processos heterogêneos, que envolvem transferência de massa do ozônio por meio de bolhas, através da interface gás/líquido, para a água.

LAPLANCHE et al. (1989), afirmam que a resistência na transferência de massa durante a fase gasosa pode ser considerada praticamente desprezível. A única resistência que pode ser encontrada durante a absorção do gás no líquido, é na membrana líquida, perto da interface gás-líquido.

Charpentier, citado por SOTELO et al. (1989), acredita que, se a absorção do gás for acompanhada por uma reação química irreversível no líquido, esta reação poderá ocorrer na massa líquida, reação química lenta (regime cinético lento) ou, na camada líquida, onde a velocidade de absorção será maior (regime cinético rápido), dependendo da proporção entre a taxa máxima de reação química desenvolvida na membrana e a taxa máxima de absorção física. Estas possibilidades são esquematizadas na figura 6.

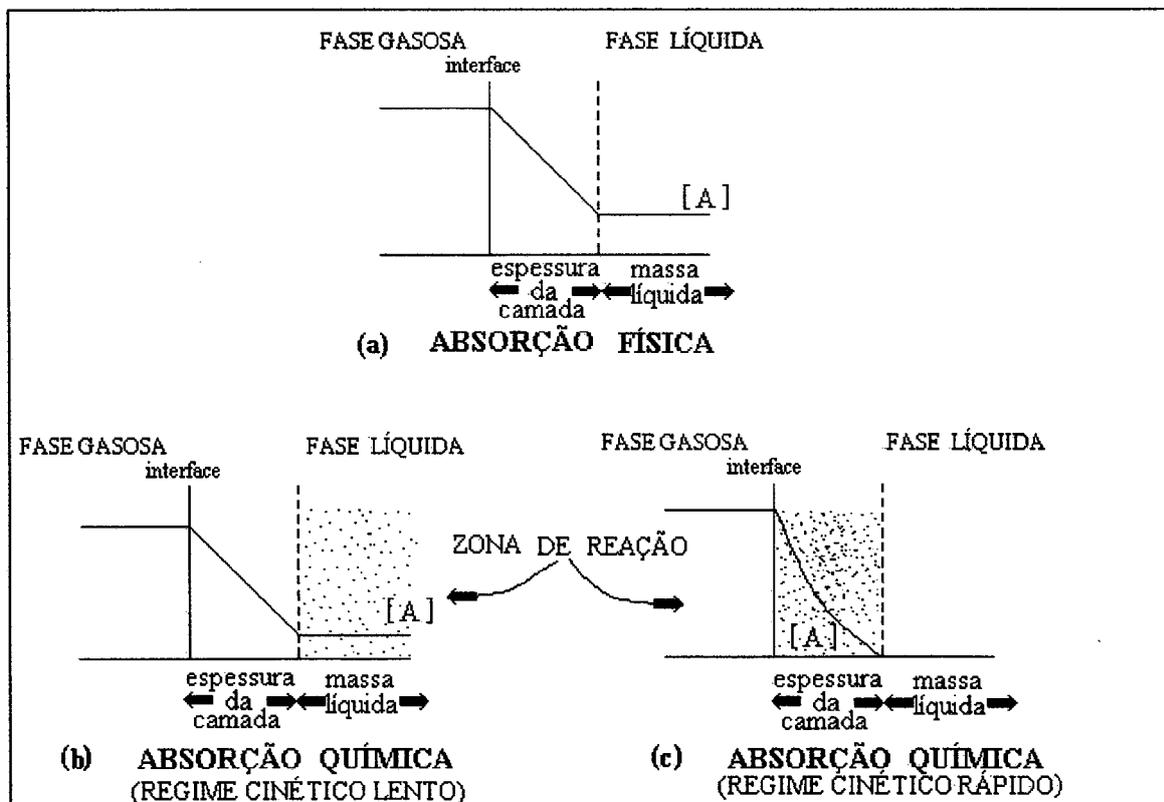


Figura 6: Perfil da concentração de gás durante a sua absorção.

Fonte : Sotelo, J.L. et al. Henry's-Law Constant for the Ozone-Water System. Water Research, 1989.

De acordo com SOTELO et al. (1989), a raiz quadrada desta proporção (taxa máxima de reação química desenvolvida na membrana e a taxa máxima de absorção física) é o número adimensional de Hatta, que é expresso na equação 10, para qualquer tipo de absorção química, em m reações irreversíveis.

$$Ha = \frac{\sqrt{(2/m+1) \cdot D_A \cdot K \cdot [A^*]^{m-1}}}{K_L} \quad (10)$$

O valor desta proporção permite determinar o tipo de regime cinético de reação. Baixos valores de Hatta ($Ha < 0,3$), indicam que a reação é lenta e, a taxa de absorção do gás, poderá ser obtida através da equação 11.

$$N_A \cdot a = K_L \cdot a \cdot ([A^*] - [A]) \quad (11)$$

A taxa de absorção também poderá ser expressa em função das reações químicas e, da taxa de acumulação do gás dissolvido na massa líquida, conforme a equação 12.

$$N_A \cdot a = r + \frac{d[A]}{dt} \quad (12)$$

Se a cinética da reação é rápida, o número de Hatta (Ha) é maior que 3 e, a absorção do gás, pode ser expressa através da equação 13 :

$$N_A \cdot a = K_L \cdot a \cdot [A^*] \cdot E \quad (13)$$

Ainda segundo o referido autor, a absorção de gás na água é afetada pela presença de sais em solução, que interferem na força iônica da mesma. A solubilidade do gás A, que é a concentração do gás dissolvido $[A^*]$, em equilíbrio com a pressão parcial, é dada por :

$$P_A = H \cdot [A^*] \quad (14)$$

GLAZE (1987) afirma que a transferência de massa da fase gasosa para a fase aquosa, pode também ser descrita por :

$$\frac{dC}{dt} = K_L \cdot a \cdot (C^* - C) = K_L \cdot a \cdot (P_a / H - C) \quad (15)$$

De acordo com GOULD et al.(1989), Rice e Browning apontam, como sendo os fatores que afetam a transferência de massa do ozônio no líquido: **(a)** a concentração do ozônio na fase gasosa; **(b)** a pressão, temperatura e o pH; **(c)** o método de transferência e tempo de contato; **(d)** e o tamanho das bolhas de gás.

Segundo GUROL (1985), os efeitos físicos e as reações químicas que ocorrem numa câmara, onde a mistura gasosa ar-ozônio ou oxigênio-ozônio entra em contato com a água, para remover poluentes podem ser :

- Transferência da massa de ozônio da fase gasosa para a fase líquida;
- Transferência da massa de compostos voláteis da água para a fase gasosa;
- Reação química do ozônio com os compostos existentes na água;
- Decomposição do ozônio nas fases líquidas e gasosas;
- Formação do residual de ozônio na fase líquida;
- Caminhamento de pequenas bolhas de ozônio para a saída da câmara;

NEBEL (1981) relata que, em águas poluídas, uma variável importante que afeta a transferência de massa do ozônio, é a concentração do mesmo dissolvido em relação ao material reativo presente na água. Quando estes compostos reativos estão presentes, a eficiência de transferência de massa de ozônio é aumentada, sendo que quanto maior a concentração de ozônio, maior será o volume necessário de gás transportado, resultando em câmaras de contato de tamanhos menores, reduzindo os custos de operação.

LAPLANCHE et al. (1989), através de várias experiências, mostrou, no entanto, que, se houver um grande aumento da concentração do gás ozônio, a eficiência de transferência não atinge valores muito maiores que 5%, além de ocorrer um drástico aumento da concentração do gás a ser lançada na atmosfera.

As investigações realizadas por NOBEL (1981), mostraram, em conformidade com a lei de Henry, que a pressão parcial do ozônio na fase gasosa é diretamente proporcional à solubilidade do ozônio na água, e quanto maior a solubilidade do ozônio na água, maior é a força dirigida para dissolver o ozônio.

JOOST et al. (1989); NEBEL (1981) e SOLETO et al. (1989), pesquisaram o efeito da temperatura na transferência de ozônio, e verificaram que o aumento da temperatura da água provoca um decréscimo na concentração do ozônio dissolvido, devido à queda da força dirigida na fase líquida, à maior taxa de decomposição do ozônio e às taxas de reações mais rápidas.

SOLETO et al. (1989), verificou que, para um dado pH e com o aumento do tempo de ozonização, a concentração do ozônio vai aumentando numa taxa menor até atingir um valor limite para cada temperatura de estudo.

De acordo com NEBEL (1981), a superfície de contato entre o gás e o líquido influencia sobremaneira de absorção. Para aumentar a eficiência desse me-

canismo, o gás contendo ozônio é introduzido na água em forma de bolhas nas câmaras de contato.

JOOST et al. (1989), o tamanho das bolhas tem grande influência na transferência do ozônio para a água. Este tamanho deve ser controlado pela escolha apropriada de um difusor de ozônio.

MASSCHELEIN (1988), evidencia que as câmaras de contato com difusores que dispersam o gás em forma de bolhas são os sistemas de contato mais amplamente usados para ozonização, especialmente para tratamento de água. A mistura do gás na água é realizada por difusores porosos ou tubos sinterizados, acoplados no fundo da câmara.

O tempo de contato entre as bolhas e a água também influi na eficiência do processo de transferência. De acordo com NEBEL (1981), quanto mais lenta for a ascensão das bolhas no meio líquido, maior o tempo de contato.

LAPLANCHE et al. (1989), realizaram experimentos utilizando uma câmara com dispersor liberando gás em forma de bolhas, sistema contínuo em contra-corrente, e observaram que, através da coleta de amostras em vários pontos da câmara, com o aumento da altura da câmara, o residual de ozônio diminuía devido o seu consumo pelos compostos existentes na água. Em um ponto de amostragem situado logo acima da placa difusora de ozônio e na seção de saída da água ozonizada, que se localizou num ponto pouco abaixo da placa difusora, as concentrações de ozônio foram maiores, significando que, praticamente, não há consumo de ozônio devido a auto-decomposição ou a oxidação de compostos na água.

Segundo DI BERNARDO (1989), o volume da câmara de ozônio deve ser suficiente para prevenir que as bolhas borbulhem excessivamente próximas umas das outras, e quanto menor a relação entre o volume de gás por volume de líquido, mais dispersa será a distribuição do gás.

CAPÍTULO III

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A investigação experimental foi desenvolvida em quatro etapas, sintetizadas na tabela 6 :

TABELA 6 : Resumo das Etapas Experimentais

ETAPA	OBJETIVOS	PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS
1	Determinação da dosagem ótima de coagulante para o efluente sintético.	Aparelho de ensaio de floculação (jar-test); pHmêtro; turbidímetro e espectrofotômetro.
2	Obtenção da curva de eficiência de remoção de cor em relação ao tempo de aplicação de ozônio para o efluente sintético.	Piloto de ozonização e espectrofotômetro.
3	Determinação da dosagem ótima de coagulante para o efluente sintético pré-ozonizado.	Piloto de ozonização; espectrofotômetro; aparelho de ensaio de floculação (jar-test); pHmetro; turbidímetro.
4	Quantificação do lodo gerado e eficiência na remoção de DQO nos ensaios de coagulação-floculação, utilizando a dosagem ótima de coagulante determinada para o efluente sintético "bruto" e pré-ozonizado.	Piloto de ozonização; espectrofotômetro; aparelho de ensaio de floculação; cone Imhoff; mufla; aparelho para banho-maria; estufa, bomba de vácuo e reator para digestão (DQO) .

Os reagentes utilizados na investigação experimental foram preparados com produtos químicos (P.A) de alto grau de pureza. A diluição foi efetuada com emprego de água deionizada. Os produtos químicos e soluções utilizados em cada etapa da investigação estão descritos na **tabela 7**.

TABELA 7 : Produtos Químicos

ETAPA	FINALIDADE	PRODUTOS QUÍMICOS
1	Ensaio de Coagulação-Floculação (efluente sintético bruto)	Sulfato Ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) - Solução 1% Óxido de Cálcio (CaO) - Solução 1% (água de cal); Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) - Solução 0,5% (PA)
2	Determinação da concentração de ozônio no gás injetado na coluna de contato e no gás de saída da coluna de contato. (Método Iodométrico)	Iodeto de Potássio (KI) - Solução 2% Tiosulfato de Sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) - Solução 0,1 N Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) - Solução 1,0N (PA)
3	Ensaio de Coagulação-Floculação (efluente sintético pré-ozonizado)	Sulfato Ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) - Solução 1% Óxido de Cálcio (CaO) - Solução 1% (água de cal); Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) - Solução 0,5% (PA)
4	Ensaio de Coagulação-Floculação (utilizando as dosagens ótimas para o efluente sintético bruto e pré-ozonizado)	Sulfato Ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) - Solução 1% Óxido de Cálcio (CaO) - Solução 1% (água de cal); Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) - Solução 0,5% (PA)

Convém ressaltar que todas as vidrarias e recipientes utilizados na preparação dos reagentes e na realização dos ensaios, foram lavados com água tratada e posteriormente enxaguados com água destilada .

3.1 - Efluente sintético

De acordo com o exposto no capítulo referente à Revisão Bibliográfica, os efluentes têxteis possuem uma composição altamente variada em função das diferentes matérias-primas, processos, corantes e produtos químicos empregados. Com o objetivo de controlar a composição do efluente durante a investigação experimental, optou-se pela elaboração de uma solução sintética que simulasse as características encontradas nos efluentes têxteis.

O efluente sintético foi produzido a partir das receitas de banhos de tingimento realizados pela indústria Malhas Emerson, Gaspar, em dia normal de produção, respeitando-se proporcionalmente a concentração de todos produtos químicos envolvidos nos banhos.

O **anexo 1** descreve detalhadamente a produção do efluente sintético, utilizado nos diferentes ensaios desta investigação experimental.

3.2 - Etapa 1 - Ensaios de coagulação-floculação

3.2.1 - Equipamento para os ensaios de coagulação-floculação

Para a realização dos ensaios de coagulação-floculação utilizou-se um aparelho fabricado pela Polilab Instrumentos Técnicos e Científicos-Ltda., composto de seis

reatores tronco-prismáticos com seção transversal quadrada, de capacidade de 2 litros, e dispositivo de controle de agitação regulável entre 10 e 120 rpm.

A fig.7, apresenta um aparelho para ensaio de floculação (jar-test), semelhante ao que foi utilizado na investigação experimental.

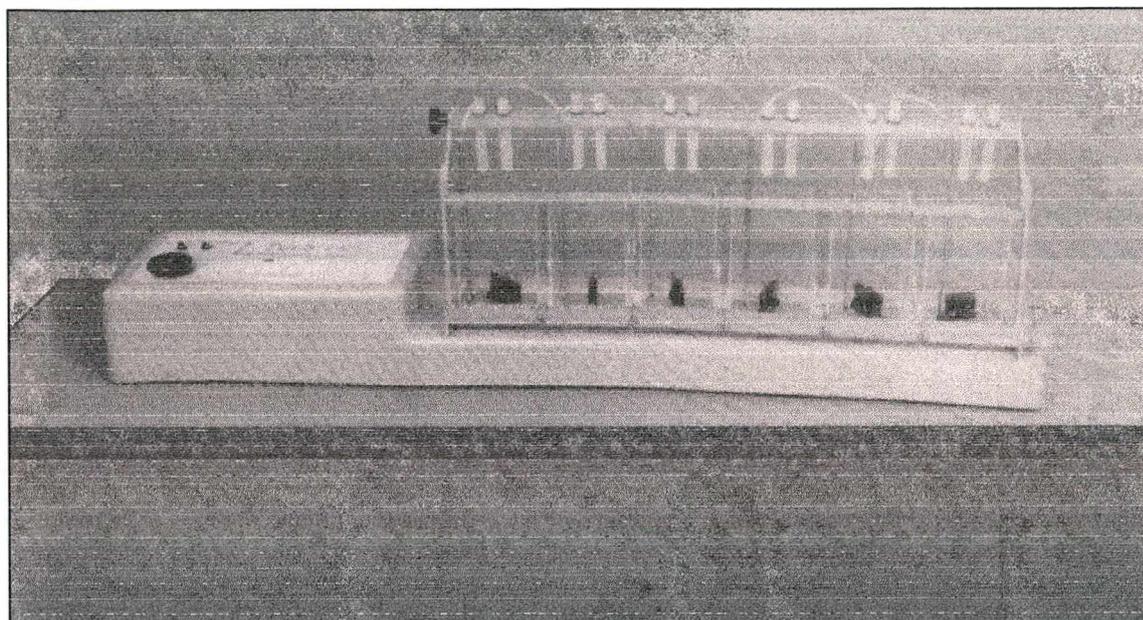


Figura 7 - Aparelho para ensaio de floculação (jar-test)

3.2.2 - Coagulantes

Os ensaios foram realizados somente com sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -99% teor de pureza), dada a grande aplicação em estações de tratamento de efluentes de indústrias têxteis e por ser o coagulante primário utilizado na estação de tratamento de efluente das Malhas Emerson, cujos banhos de tingimento, serviram de base para a elaboração do efluente sintético. As soluções foram preparadas previamente dissolvendo-se 10,0 gramas de sulfato ferroso em 1000 mililitros de água deionizada.

3.2.3 - Parâmetros analisados e métodos de laboratório

Os parâmetros analisados durante os ensaios de coagulação-floculação foram a turbidez e a cor residual. A turbidez foi obtida através de leitura direta em turbidímetro (modelo 2100-P da Hach Company), e a cor residual através de leitura em espectrofotômetro (modelo DR/4000 UV-VIS da Hach Company) da absorbância, no comprimento de onda de máxima absorbância do efluente bruto, na faixa do visível.

Não existe uma metodologia normatizada para a determinação da coloração de efluentes industriais, o que dificulta a comparação dos resultados dos estudos relacionados ao tratamento de efluentes têxteis.

3.2.4 - Protocolo do ensaio de coagulação-floculação

A metodologia utilizada nos ensaios de coagulação-floculação para a seleção das dosagens ótimas de coagulante-primário esta descrita abaixo :

3.2.4.1 - Ensaio para determinar o pH ótimo de floculação

Os primeiros ensaios foram realizados objetivando o pH ótimo de floculação para o efluente em estudo. Diferentes valores de pH foram fixados nos reatores do aparelho, através da aplicação de diversas dosagens de solução alcalinizante e acidificante. Como solução alcalinizante, foi utilizado a solução de óxido de cálcio 1% (OCa - 97% teor de pureza), dissolvendo-se 10,0 gramas em 1000 mililitros de água deionizada, e como solução acidificante, foi utilizado a solução de ácido sulfúrico

0,5% (H_2SO_4 - 96% teor de pureza), acrescentando-se $5,43 \text{ cm}^3$ deste reagente a 1000 mililitros de água deionizada.

Posteriormente à fixação dos valores de pH, foram adicionados simultaneamente em todos os reatores, um determinado volume da solução de coagulante, de maneira que os referidos reatores obtivessem o mesmo valor de concentração de coagulante. A concentração inicial de 800 mg/l foi estabelecida em função da dosagem utilizada na estação de tratamento de efluentes das Malhas Emerson, cujo efluente serviu de base para a produção da solução sintética utilizada nesta investigação experimental.

A adição do coagulante (coagulação/mistura rápida) foi realizada com os agitadores a 100 rpm ($G = 93,25 \text{ s}^{-1}$), mantida durante 1 minuto e 30 segundos. Posteriormente os agitadores foram levados a 40 rpm ($G = 37,30 \text{ s}^{-1}$) durante 15 minutos, correspondendo ao período de floculação (mistura lenta), ao final do qual, os agitadores foram desligados, passando-se a fase de sedimentação onde os flocos formados sedimentavam num período de 20 minutos. As condições de agitação (energia) e tempo de duração para os ensaios de coagulação-floculação, foram estabelecidas em função dos valores recomendados por Campos e Povinelli (AZEVEDO NETTO et al., 1987).

Ao término do período de sedimentação, foram retiradas amostras a 10 cm abaixo do nível do efluente, para determinação da turbidez e cor residual. O reator que apresentou os menores valores de turbidez e cor residual foi identificado como o de pH ótimo de floculação.

3.2.4.2 - Ensaios para determinar a dosagem ótima de coagulante

Após a determinação do valor do pH ótimo de floculação, foram realizados novos ensaios de coagulação-floculação, fixando-se em todos os reatores, a dosagem da solução alcalinizante ou acidificante correspondente ao pH ótimo, e variando-se as

dosagens de coagulante, em valores próximos acima e abaixo da dosagem constante, utilizada no ensaio de pH ótimo.

O coagulante foi adicionado com os agitadores a 100 rpm, durante 1 minuto e 30 segundos, a formação de flocos (floculação) realizada com os agitadores a 40 rpm, durante 15 minutos, e a sedimentação com os agitadores desligados durante 20 minutos.

As condições de agitação e tempo de duração, foram estabelecidos em função das faixas recomendadas pela literatura técnica para este tipo de ensaio.

As amostras foram retiradas a 10 cm do nível do efluente e analisadas conforme o aspecto dos flocos, turbidez e coloração residual. O reator de menor valor de turbidez e coloração residual, foi adotado como o de dosagem ótima de coagulante.

Novos ensaios foram realizados com intervalos de dosagens menores, próximos à dosagem de melhor resultado, com o objetivo de precisar ainda mais o valor da dosagem ótima de coagulante.

3.2.4.3 - Ensaio com tempos de floculação e sedimentação diferentes

Com as melhores dosagens de coagulante, foram realizados alguns ensaios modificando-se os tempos de floculação e sedimentação, mantendo-se o mesmo tempo de coagulação (mistura rápida) e as mesmas condições de agitação. Os tempos de floculação foram estabelecidos em 10 e 20 minutos, e de sedimentação em 10 e 15 minutos.

3.3 - Etapa 2 - Ensaios de ozonização

3.3.1 - Considerações Iniciais

Os ensaios de ozonização realizados nesta etapa da investigação experimental, foram baseados nos estudos pilotos de ozonização desenvolvidos por Christelle Nayme e orientados por Alain Laplanche (NAYME, 1997).

3.3.2 - Descrição do piloto utilizado para os ensaios de ozonização

A figura 8 apresenta um desenho esquemático do piloto utilizado para realização dos ensaios de ozonização.

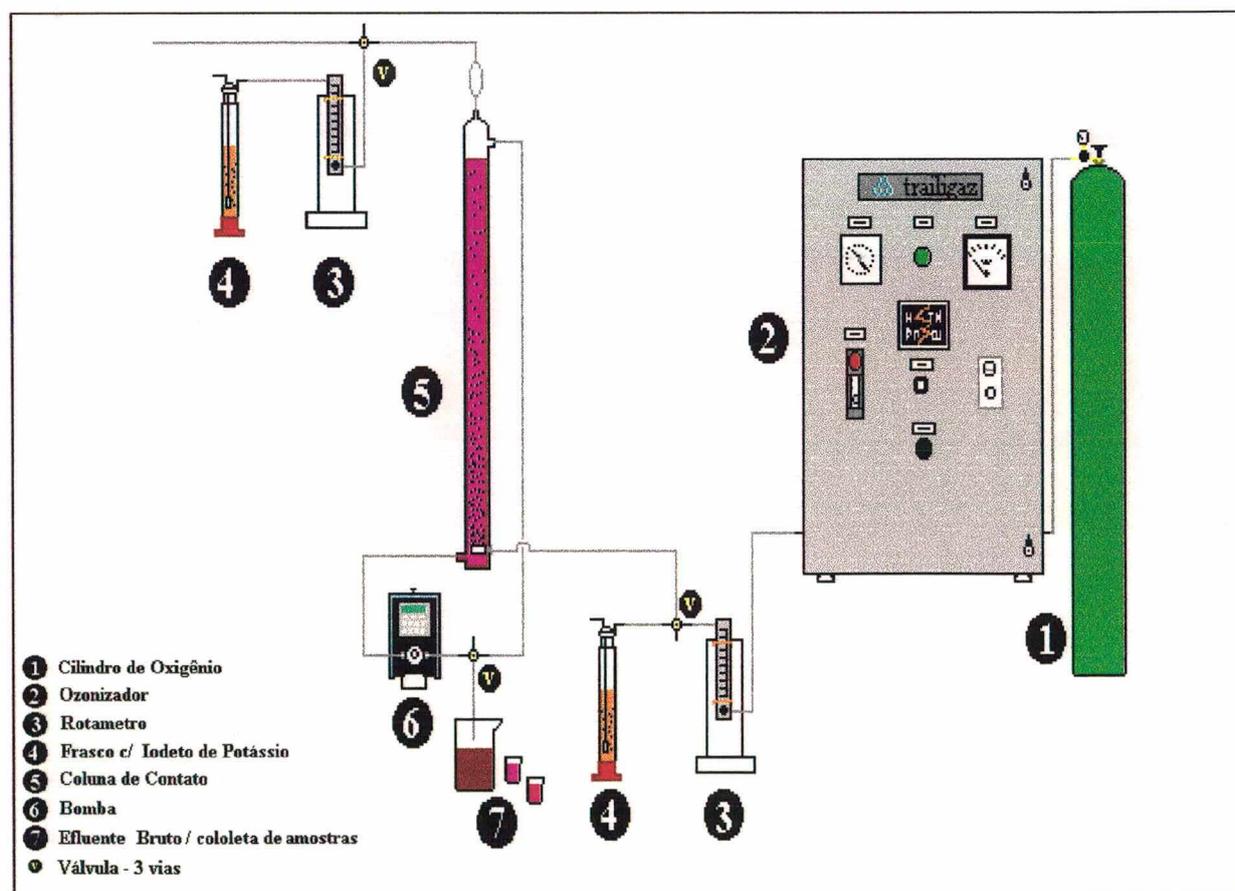


Figura 8 : Conjunto piloto de ozonização

O conjunto piloto de ozonização era composto por :

Ozonizador de laboratório - modelo LABO 6LO - fabricado pela Traligaz, com capacidade de produção média de 9 g/h de gás à uma concentração de 15 gO₃/m³, a partir de oxigênio.

Cilindro de oxigênio puro - fornecido pela White Martins.

Rotâmetros para gases - modelo P, fabricado pela Omel - escala 0-25 l/h.

Frascos lavadores - 500ml, fabricado pela Anitel.

Coluna de contato - feita em vidro, com 1,25 m de altura e 0,05 m de diâmetro.

Bomba - modelo Expert Scilog Fluid- fabricada pela Metering Inc. com capacidade máxima de 300 l/h.

3.3.3 - Condições estabelecidas para os ensaios de ozonização

Nayme (1997) concluiu em seus estudos, que a quantidade de ozônio necessária para obter uma mesma porcentagem de descoloração é menos elevada quando a concentração de ozônio no gás é mais fraca, e que o consumo de ozônio necessário à descoloração é menor, com a diminuição da vazão de gás injetado.

Procurando otimizar os ensaios de ozonização, minimizando o consumo de ozônio necessário à descoloração, adotou-se para os parâmetros de utilização valores próximos aos dos melhores resultados obtidos nos estudos de Christelle Nayme .

Todos os ensaios de ozonização obedeceram as seguintes condições :

Concentração de ozônio aplicada - [O₃] = 7,2 mg/l

Vazão do gás injetado na coluna - Q_G = 25 l/h

Vazão de recirculação - 20 l/h

3.3.4 - Parâmetros analisados e métodos de laboratório

O único parâmetro analisado nos ensaios de ozonização foi a cor residual, obtida através da leitura em espectrofotômetro (modelo DR/4000 UV-VIS da Hach Company) da absorbância, no comprimento de onda de máxima absorbância do efluente bruto, na faixa do visível.

3.3.5 - Estudo da ozonização dos corantes

Com objetivo de observar o comportamento do consumo de ozônio em relação a presença dos produtos químicos empregados nos banhos de tingimento, e que também compõem o efluente sintético, foram realizados alguns ensaios de ozonização, utilizando apenas os corantes.

Os primeiros ensaios utilizaram soluções contendo somente o corante dissolvido em água, sendo que à cada litro d'água foi adicionado 0,1 grama de corante. As soluções dos demais ensaios utilizaram além do corante, os produtos auxiliares, conforme os percentuais descritos na tabela 8.

Tabela 8 : Composição das soluções utilizadas nos ensaios para o estudo da ozonização dos corantes.

PRODUTO	SOLUÇÃO AZUL	SOLUÇÃO VERMELHA	SOLUÇÃO LARANJA
Corante (reativo)	0,1 g/l	0,1 g/l	0,1 g/l
Lubrisoft 7030 (umectante)	0,04 g/l	0,1 g/l	0,1 g/l
Biavin 109 (deslizante)	0,09 g/l	0,3 g/l	0,3 g/l
Meropan VD Novo (dispersante)	0,04 g/l	1,5 g/l	1,5 g/l
Quimerol DS (detergente)	1,5 g/l	1,5 g/l	1,5 g/l
Barrilha Leve (carbonato de sódio)	1,5 g/l	2,0 g/l	2,0 g/l

3.3.6 - Protocolo do ensaio de ozonização

A metodologia empregada nos ensaios de ozonização das soluções de corantes e do efluente sintético, é já descrita a seguir:

Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente de 25°C. O oxigênio era introduzido no ozonizador à uma pressão regulada em 6 bar (Kgf/cm²), sendo ajustada em 0,5 bar (Kgf/cm²) através de um retentor de pressão, antes da entrada na célula geradora de ozônio.

O comando regulador de intensidade de potência era rotacionado até a primeira posição, correspondendo a uma potência de 5 W, indicada no wattímetro.

Ao sair do ozonizador, o gás ozonizado passava por um rotâmetro que estabelecia a vazão em 25 l/h.

Respeitando-se a essas condições, a concentração de ozônio no gás era fixada em aproximadamente 7,2 mgO₃/l. A concentração de ozônio foi determinada pelo método iodométrico descrito por MAIER e KURZMANN (1977), desviando-se uma amostra do gás através de uma válvula de três vias, para um frasco contendo iodeto de potássio.

O conjunto piloto de ozonização funcionava de modo semi-contínuo, ou seja, a fase líquida, o efluente recirculava e a fase gasosa, o gás ozonizado, era injetado continuamente.

A transferência do ozônio para a massa líquida era realizada em uma coluna clássica de bolhas, injetando-se o gás continuamente através de um difusor poroso, situado na base da coluna.

O volume de efluente na coluna de contato era de 1,6 litros que por meio de uma bomba, recirculava a contra corrente da injeção do gás, à uma vazão de 20 l/h.

O excesso de gás, ou seja, a parcela da mistura gasosa que não ficava retida na massa líquida, saía pelo topo da coluna, e era direcionado à atmosfera. Para determinar a concentração de ozônio no gás que saía da coluna, um volume deste gás era desviado

para um frasco contendo iodeto de potássio (método iodométrico). O método iodométrico para determinação da concentração de ozônio na fase gasosa é apresentado no **anexo 2**.

A concentração de ozônio consumida para alcançar determinado nível de descoloração do efluente, foi obtida pela diferença entre a concentração de ozônio no gás injetado na coluna de contato, e a concentração de ozônio no gás que saía da coluna (off-gás). Na verdade, tratava-se não da concentração de ozônio consumida, mas sim da transferida, pois a concentração de ozônio dissolvido na massa líquida não era mensurada.

Segundo Nayme (1997), as reações entre ozônio e corantes reativos são reações de cinéticas muito rápidas, e o ozônio dissolvido aparece somente após a eliminação quase que total dos corantes. Tomando estas informações e, tendo em vista a dificuldade de determinação da concentração de ozônio, dissolvido em soluções fortemente coloridas, estabeleceu-se nesta pesquisa, que todo o ozônio transferido à massa líquida seria imediatamente consumido na reação de descoloração.

Amostras para análise da coloração residual, eram coletadas simultaneamente à determinação da concentração de ozônio no gás que saía da coluna (off-gás), em intervalos de tempo previamente estabelecidos, à fim de se obter as curvas de remoção de cor em relação ao tempo de aplicação, e ao consumo de ozônio.

3.4 - Etapa 3 - Ensaios de coagulação-floculação para o efluente pré-ozonizado

3.4.1 - Pré-ozonização do efluente

A pré-ozonização do efluente foi realizada tendo como base os ensaios de ozonização anteriormente realizados. Como nesses ensaios a produção de ozônio foi mantida constante, variando-se o tempo de aplicação, diferentes concentrações de ozônio foram transferidas à massa líquida. Os tempos de ozonização correspondentes às reduções de cor de 25 e 50%, foram adotados para pré-ozonizar o efluente.

3.4.2 - Ensaios de coagulação-floculação

Os ensaios de coagulação-floculação foram realizados com o efluente pré-ozonizado em diferentes tempos, objetivando as novas dosagens ótimas do coagulante primário e do auxiliar de coagulação. A metodologia empregada nos ensaios de coagulação-floculação está descrita no protocolo do ensaio de coagulação-floculação, item 3.2.4 dessa dissertação.

3.5 - Etapa 4 - Avaliação do lodo gerado e redução de DQO

Ensaios de coagulação-floculação foram realizados utilizando-se as dosagens ótimas de coagulante e auxiliar de floculação, determinadas para o efluente bruto e pré-ozonizado. O lodo gerado nestes ensaios foi quantificado através da determinação de sólidos totais do material sedimentado, e da análise volumétrica de sólidos sedimentáveis.

Através de uma bomba de vácuo, foi retirado um litro da massa líquida sobrenadante dos reatores do aparelho para ensaio de floculação (jar-test). A massa líquida restante, formada de água mais flocos sedimentados, foi completamente homogeneizada para retirada de amostras. A metodologia empregada para determinação de sólidos totais e sólidos sedimentáveis foi a mesma descrita para essas análises no “Standar Methods for Examination of Water and Wastewater” (1985).

Para análise de DQO, foi utilizado o Kit DQO da Hach Company, na faixa de 0 à 1500 mg/l, no qual as amostras são digeridas em reator modelo 45600 (150°C). Após o preparo das amostras, a leitura da DQO foi efetuada utilizando o espectrofotômetro DR/4000 UV-VIS (método colorimétrico). As análises de DQO foram realizadas antes e após a pré-ozonização do efluente, e após os ensaios de coagulação-floculação otimizados do efluente “bruto” e pré-ozonizado.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Principais características do efluente sintético

Os efluentes têxteis possuem uma composição altamente variada, o que dificulta a obtenção de uma solução que os possa simular genericamente.

A tabela 9 apresenta os valores médios de características físico-químicas, medidas ao longo de 1995, dos efluentes gerados em diversas indústrias têxteis de Santa Catarina.

Tabela 9 : Características médias dos efluentes têxteis em Santa Catarina.

Parâmetro	Faixa de Valores
pH	7,2 a 11,7
DQO (mg/l)	1050 ± 380
DBO (mg/l)	315 ± 120
Sólidos Sedimentáveis (ml/l)	3 ± 2

FONTE: MARTINS, Geruza Beatriz. Práticas Limpas Aplicadas às Indústrias Têxteis de Santa Catarina - Florianópolis, 1997
Dissertação de Mestrado - EPS-UFSC

O efluente sintético utilizado nos diversos ensaios desta investigação experimental, possui características aceitáveis quando comparadas às características médias dos efluentes têxteis em Santa Catarina. Isso pode ser observado na tabela 10, que expressa os valores dos mesmos parâmetros de caracterização para o efluente sintético.

Tabela 10 : Principais características do efluente sintético.

Parâmetro	Valores
pH	10,7
DQO (mg/l)	1140
DBO (mg/l)	358
Sólidos Sedimentáveis (ml/l)	4

4.2 - Etapa 1 - Ensaio de coagulação-floculação do efluente bruto

4.2.1 - Ensaio para determinar o pH ótimo de floculação

Os corantes reativos necessitam de uma grande quantidade de carbonato de sódio (Na_2CO_3) para formarem ligações covalentes com as fibras a serem tingidas. Em virtude de tal circunstância, o efluente sintético que foi elaborado a partir das receitas de banho de corantes reativos, apresenta proporcionalmente uma grande quantidade de carbonato de sódio, responsável pelo tamponamento do pH em aproximadamente 10,7.

Os valores de pH em que geralmente se obtém as condições ótimas de tratamento utilizando o sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) como coagulante primário, variam entre 8,5 a 11,0 (AZEVEDO NETTO et al., 1987).

Os ensaios de coagulação-floculação determinaram a necessidade de se elevar ainda mais o valor do pH do efluente, utilizando-se para isto, a solução de óxido de cálcio (OCa - solução 1%).

A figura 9 demonstra a redução média de cor e de turbidez, em função de diferentes valores de pH, dos ensaios 1 e 2, realizados para determinar o pH ótimo de floculação.

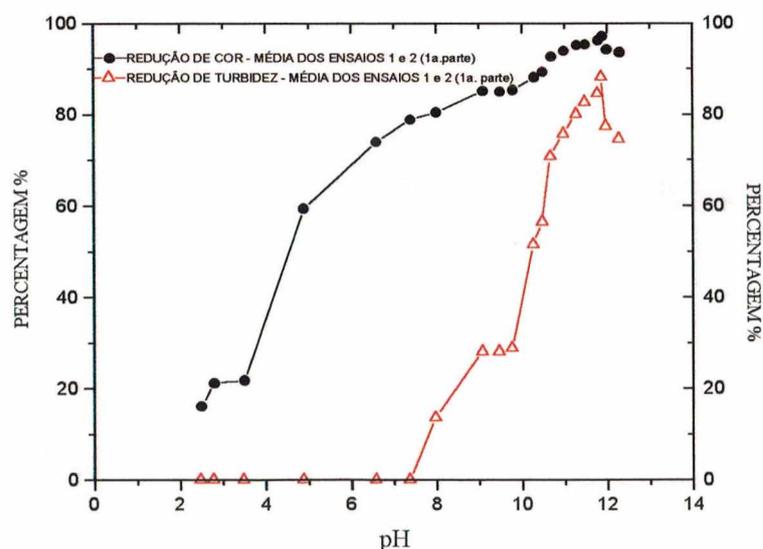


Fig. 9 - Média dos resultados dos ensaios para obtenção do pH ótimo de floculação.

Os melhores resultados em termos de redução de cor e turbidez, foram obtidos nos reatores do aparelho para ensaio de coagulação, que tiveram o pH ajustado próximo a 12, o que correspondia à concentração aplicada de 400 mg/l da solução de óxido de cálcio. Este resultado também pode ser constatado, verificando-se os valores absolutos dos ensaios de coagulação-floculação 1 e 2, descritos no **anexo 3**.

A concentração de óxido de cálcio determinada nos ensaios vem ao encontro do valor da dosagem utilizada pela estação de tratamento de efluente das Malhas Emerson, cujos banhos de tingimento serviram de base para a elaboração do efluente sintético, exatamente 400 mg/l de Cal, como CaO.

4.2.2 - Ensaios para determinar a dosagem ótima de coagulante

Segundo GEORGES SIMONET (1982, p.118), as dosagens de sulfato ferroso utilizadas no processo de coagulação-floculação de uma determinada estação de tratamento de efluentes têxteis, podem variar de 500 a 2000 mg/l.

A figura 10 apresenta a redução média de cor e de turbidez, em função de diferentes concentrações de sulfato ferroso dos ensaios 3 e 4, realizados para determinar a dosagem ótima de sulfato ferroso para o efluente sintético bruto.

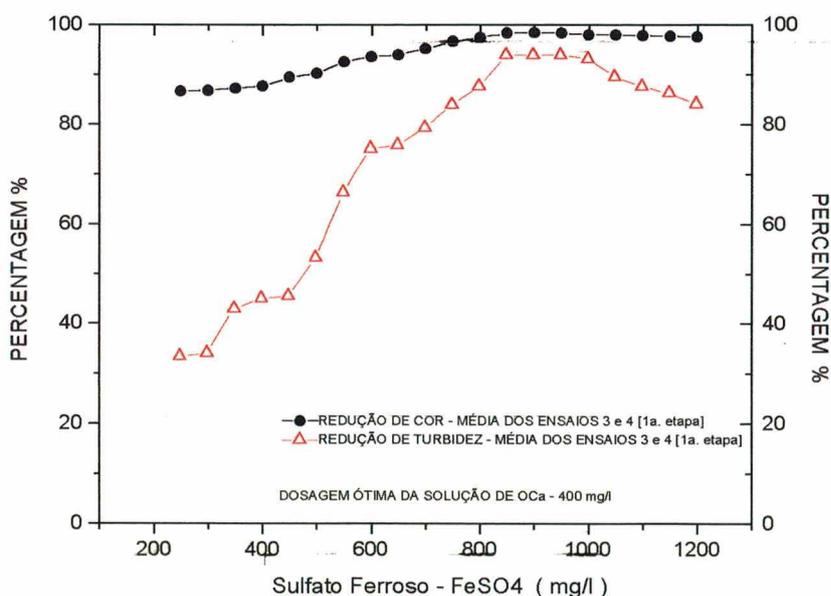


Figura 10 - Média dos resultados dos ensaios para obtenção da dosagem ótima de sulfato ferroso.

Os melhores resultados foram obtidos nos reatores cujas concentrações de sulfato de ferroso estavam entre 850 e 950 mg/l, o que também pode ser constatado a partir da observação dos resultados em valores absolutos dos ensaios 3 e 4, encontrados no **anexo 5**.

Com objetivo de precisar ainda mais o valor da dosagem ótima do coagulante, foram realizados os ensaios de coagulação-floculação 5, 6 e 7, apresentados no **anexo 6**, onde foram utilizadas somente dosagens de sulfato ferroso entre 850 e 950 mg/l.

A figura 11 demonstra a redução média de cor e de turbidez, em função de diferentes concentrações de sulfato ferroso compreendidas entre 850 a 950 mg/l .

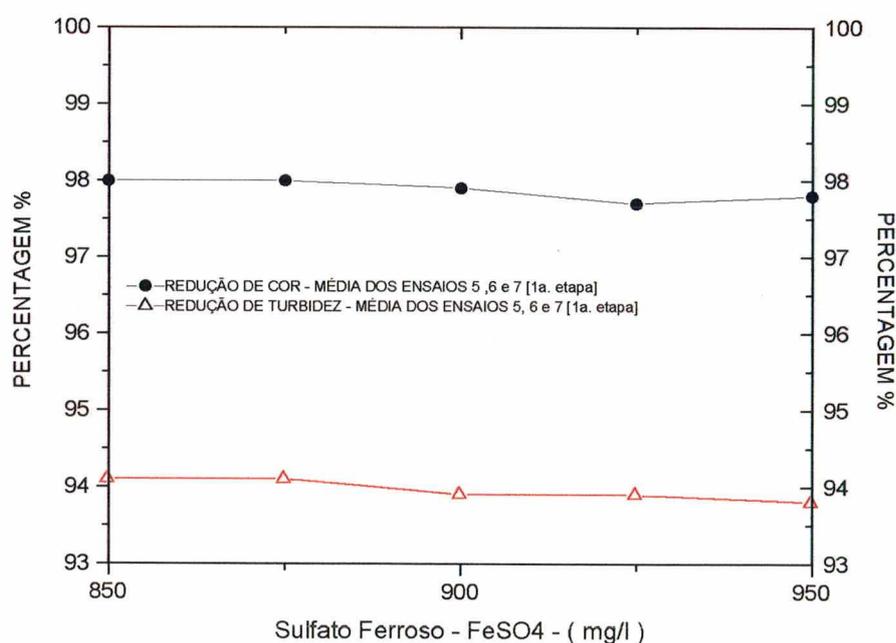


Figura 11 - Média dos resultados dos ensaios para obtenção da dosagem ótima de coagulante, que utilizaram dosagens de sulfato ferroso compreendidas entre 850 a 950 mg/l.

Como pode ser observado, as concentrações entre 850 a 950 mg/l de sulfato ferroso apresentaram valores muito próximos em relação a redução de cor e também de turbidez. Seguindo essa faixa de concentrações de sulfato ferroso, estabeleceu-se como

sendo a dosagem ótima do coagulante, aquela de menor concentração, ou seja, 850 mg/l, o que é muito próximo dos 800 mg/l de sulfato ferroso, utilizados na estação de tratamento das Malhas Emerson .

4.2.3 - Ensaios com tempos de floculação e sedimentação diferentes

As condições de energia e tempo de duração para os ensaios de coagulação-floculação foram estabelecidas em função das faixas de valores recomendadas por J.POVINELLI e J.CAMPOS (AZEVEDO NETTO et al., 1987).

Com intuito de obter melhores resultados na redução de cor e turbidez dos ensaios anteriores, alguns ensaios foram realizados com tempos de floculação e sedimentação modificados, respeitando-se entretanto, as faixas de valores recomendadas.

A figura 12 demonstra a redução média de cor e de turbidez dos ensaios de coagulação-floculação, onde foram utilizados diferentes tempos de sedimentação.

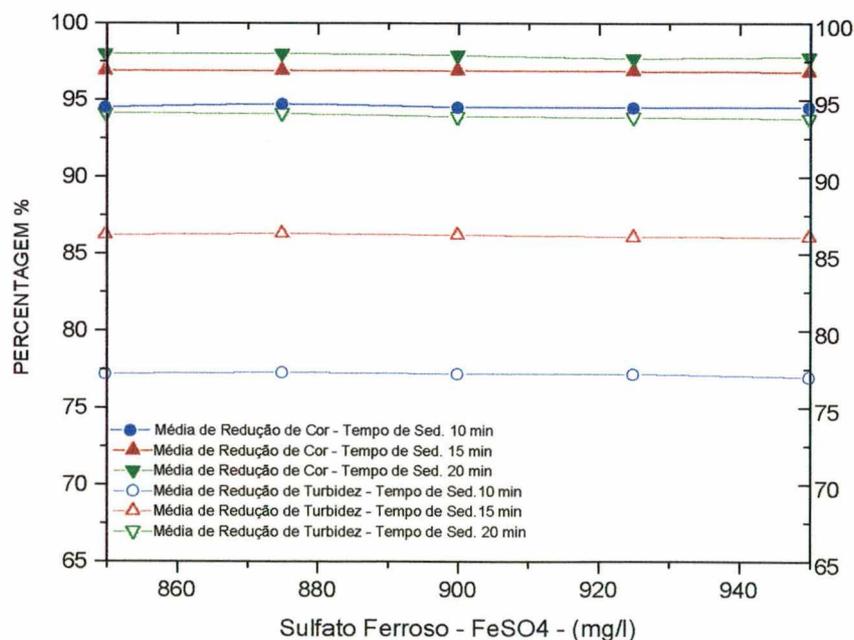


Fig. 12 - Média dos resultados dos ensaios de coagulação-floculação com diferentes tempos de sedimentação

A diminuição no tempo de sedimentação dos ensaios de coagulação-floculação alterou negativamente os resultados em termos de redução de cor e turbidez, sendo que os melhores resultados permaneceram ainda aqueles referentes ao tempo de sedimentação de 20 minutos, utilizados nos ensaios anteriores. Os valores de redução de turbidez dos ensaios com tempo de sedimentação de 10 minutos por exemplo, são em média, 20% mais baixos, quando comparados aos valores dos ensaios que utilizaram o tempo de sedimentação de 20 minutos. Esta diferença também pode ser constada, verificando-se os valores absolutos desses ensaios, descritos no **anexo 7**.

A figura 13 mostra a redução média de cor e de turbidez dos ensaios de coagulação-floculação que utilizaram diferentes tempos de floculação. O resultado destes ensaios, em valores absolutos, estão descritos no **anexo 8**.

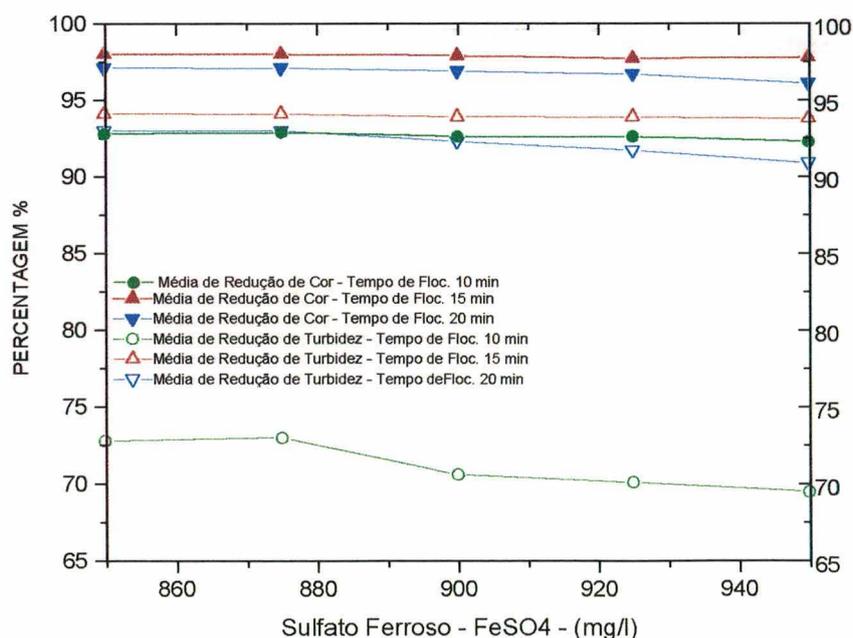


Fig. 13 - Média dos resultados dos ensaios com diferentes tempos de floculação.

O acréscimo de 5 minutos ao tempo de floculação dos ensaios anteriormente realizados, ou seja, aqueles cujo tempo de floculação era de 15 minutos, não alterou a redução de cor e turbidez. Assim, os tempos de floculação e sedimentação definidos na metodologia para elaboração desse tipo de ensaio, apresentaram os melhores resultados permanecendo então, as concentrações de 850 mg/l e 400 mg/l como as dosagens ótimas de sulfato ferroso e óxido de cálcio para o efluente sintético bruto.

4.3 - Etapa 2 - Ensaio de ozonização

4.3.1- Estudo da ozonização dos corantes

Os corantes são moléculas que geralmente contém ligações insaturadas, sobre as quais o ozônio age rapidamente.

Segundo ADAMS et al., citados por C. NAYME (1997, p.196) como as ligações dos grupamentos cromóforos responsáveis pela coloração dos corantes reagem rapidamente com o ozônio, a presença de substâncias auxiliares nos efluentes têxteis não deveria modificar o consumo de ozônio.

As figuras 14 e 15 demonstram o comportamento do consumo de ozônio, nos ensaios de ozonização realizados com as soluções contendo os produtos auxiliares, e as soluções formadas apenas pelos corantes.

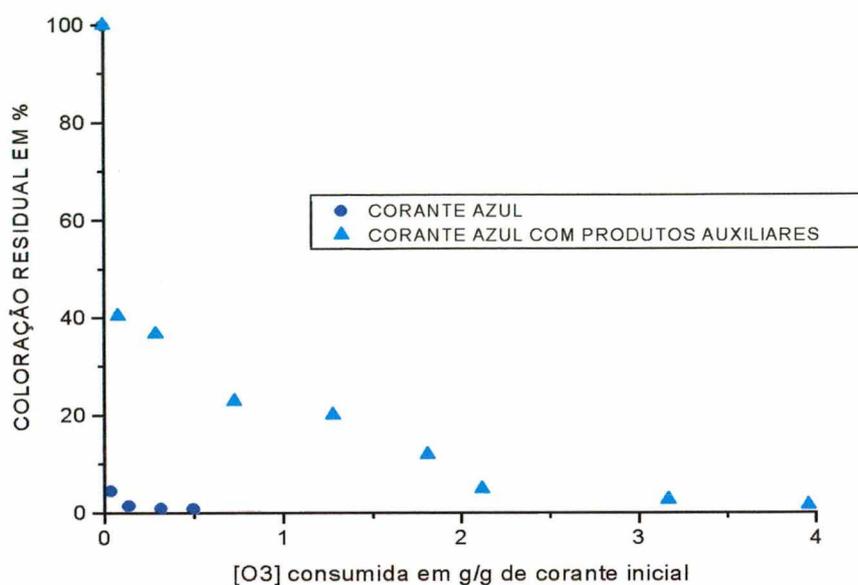


Fig. 14 - Influência da presença de substâncias auxiliares, no consumo de ozônio durante a descoloração da solução contendo corante azul.

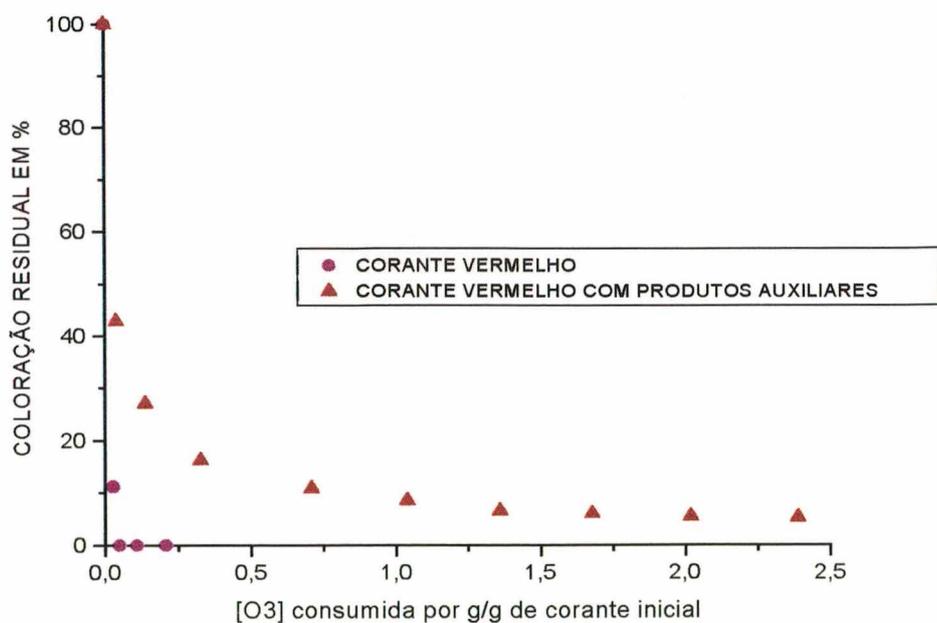


Fig. 15 - Influência da presença de substâncias auxiliares, no consumo de ozônio durante a descoloração da solução contendo corante vermelho.

Os ensaios, tanto do corante azul, quanto do corante vermelho, apresentaram um nítido aumento no consumo de ozônio, para alcançarem um determinado nível de descoloração, quando os produtos auxiliares estavam presentes nas soluções ozonizadas.

Segundo CHRISTELLE NAYME (1997, p.135), o consumo de ozônio necessário para alcançar uma determinada porcentagem de descoloração, aumenta quando o efluente tratado contém grande quantidade de carbonatos.

SENS e LAPLANCHE (1990) estudaram o efeito de ânions minerais sobre a decomposição de ozônio, e concluíram que a presença de carbonatos e bicarbonatos acelera a autodecomposição do ozônio, sobretudo em soluções com altos valores de pH.

Dentre os produtos auxiliares utilizados nas soluções estudadas, havia uma grande quantidade de carbonato de sódio, a qual, provavelmente, acelerou a autodecomposição de ozônio, aumentando conseqüentemente o consumo de ozônio necessário a descoloração das soluções. Tal efeito também pode ter sido favorecido, em função dos altos valores de pH das soluções.

As soluções contendo somente corante, demonstraram reagir rapidamente com ozônio, atingindo níveis muito altos de descoloração em um intervalo de tempo bastante curto. Na solução com o corante vermelho por exemplo, o tempo de 12 minutos foi suficiente para praticamente descolorir a solução, consumindo apenas 0,2 gramas de ozônio por grama de corante inicial.

A figura 16 traz a fotografia das amostras coletadas, de 4 em 4 minutos, durante o ensaio de ozonização da solução contendo somente o corante vermelho.



Fig 16 - Amostras do ensaio de ozonização da solução contendo somente corante vermelho.

Segundo ADAMS et al., citados por NAYME (1997, p.142), quando apenas a descoloração é desejável, a degradação dos corantes requer geralmente, poucos moles de ozônio por mol de corante.

Os resultados obtidos comprovam que o ozônio reage rapidamente com os corantes utilizados na elaboração do efluente sintético, e que o consumo de ozônio, necessário para alcançar um determinado nível de descoloração, aumenta em função da presença dos produtos auxiliares, presentes no efluente sintético.

4.3.2 - Ensaios de ozonização do efluente sintético

A figura 17 apresenta a porcentagem de cor residual, em relação ao consumo de ozônio dos ensaios de ozonização do efluente sintético. O resultado desses ensaios também podem ser observado no **anexo 13**.

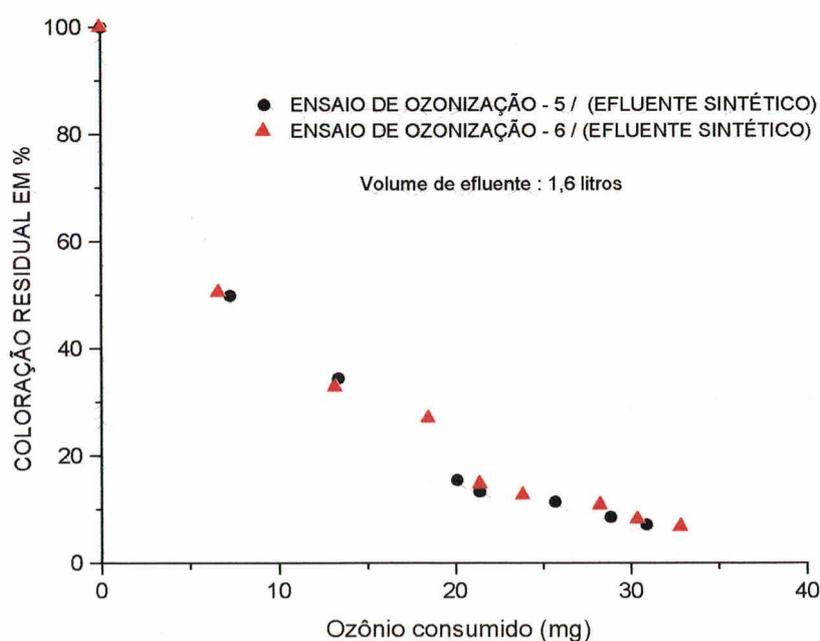


Fig. 17 - Ensaios de Ozonização do efluente sintético

Os resultados dos dois ensaios de ozonização do efluente sintético, demonstram uma boa reprodutibilidade, apresentando valores muito próximos de remoção de cor.

A eficiência de 90% em termos de redução de cor, pôde ser obtida com uma concentração de aproximadamente 20 mgO₃/l de ozônio.

G. TOFFANI e Y. RICHARD (1993), através de testes realizados em escala piloto, estabeleceram as condições ótimas de ozonização para um efluente industrial fortemente colorido, e com altas concentrações de detergente. Estes estudos definiram a dosagem de 20 mgO₃/l de ozônio, como sendo capaz de reduzir a coloração do efluente em 60 a 80%, o que é muito próximo dos resultados obtidos com os ensaios de ozonização do efluente sintético.

A figura 18 apresenta a porcentagem de remoção de cor, em relação ao tempo de aplicação de ozônio, da média dos ensaios de ozonização do efluente sintético.

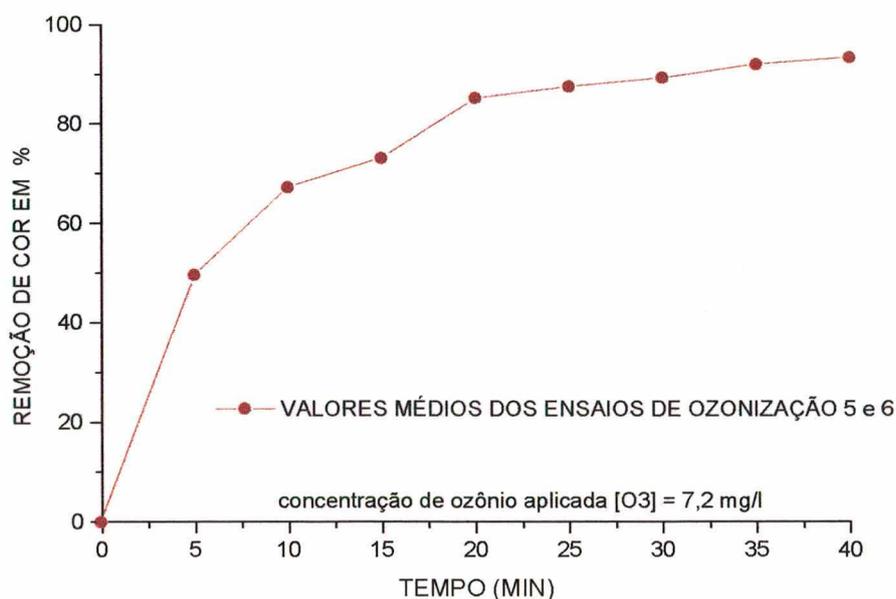


Fig. 18 - Remoção de cor do efluente em relação ao tempo de aplicação de ozônio.

Comparados aos ensaios de ozonização das soluções contendo somente corante, ou até mesmo, das soluções contendo corante e produtos auxiliares, os ensaios do efluente sintético necessitam de muito mais tempo para atingir um determinado nível de descoloração. Isto pode ser compreendido em função da grande quantidade de carbonato de sódio e detergentes presentes no efluente sintético, que provavelmente reagiram com o ozônio, aumentando o consumo deste, e prolongando o tempo necessário à descoloração do efluente.

A figura 19 traz a fotografia das amostras coletadas, de 5 em 5 minutos, durante o ensaio de ozonização do efluente sintético.



Fig 19 - Amostras do ensaio de ozonização do efluente sintético

4.4 - Etapa 3- Ensaio de coagulação-floculação do efluente pré-ozonizado

4.4.1 - Pré-ozonização do efluente

A partir do resultado dos ensaios de ozonização do efluente sintético, observou-se que os tempos de aplicação da concentração constante de ozônio, de 3 e 5 minutos, correspondiam às reduções de cor de 25 e 50%, respectivamente.

Os tempos de 3 e 5 minutos, foram estabelecidos para pré-ozonizar o efluente, submetendo-o a concentração aplicada de 7,2 mg/l de ozônio.

4.4.2 - Ensaio para determinar o pH ótimo de floculação

Os melhores resultados em termos de redução de cor e turbidez, foram obtidos nos reatores do aparelho para ensaio de coagulação, que tiveram o pH ajustado próximo a 12, o que correspondia à concentração aplicada de 400 mg/l da solução de óxido de cálcio. Este resultado também pode ser constatado, verificando-se os valores absolutos do ensaio de coagulação-floculação 1, descrito no **anexo 14**.

A figura **20** apresenta a redução de cor e de turbidez em função de diferentes valores de pH do ensaio 1, realizado com objetivo de determinar o pH ótimo de floculação para o efluente pré-ozonizado durante 5 minutos.

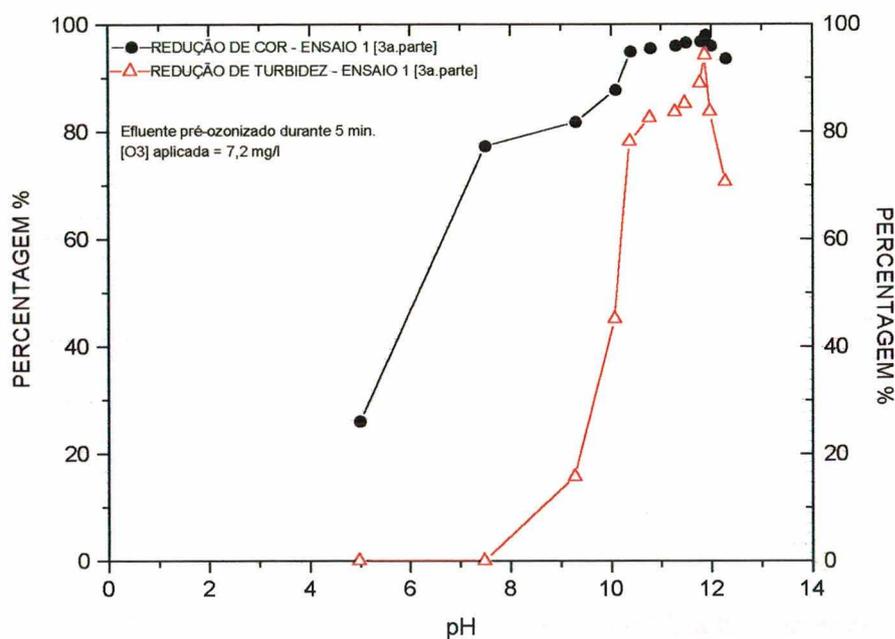


Fig. 20 - Resultados do ensaio para obtenção do pH ótimo de floculação do efluente pré-ozonizado durante 5 minutos.

A concentração de 400 mg/l da solução de óxido de cálcio é exatamente a mesma obtida para o efluente sintético bruto, havendo apenas em média, uma pequena diferença em termos de redução de cor e turbidez. O ensaio de coagulação-floculação com o efluente pré-ozonizado por exemplo, demonstrou que a concentração ótima de óxido de cálcio reduzia em média, 83,7 e 95,9% a turbidez e a cor inicial respectivamente, enquanto que os ensaios do efluente sintético bruto, reduziam em média 77 e 94,3% os mesmos parâmetros analisados.

4.4.3 - Ensaio para determinar a dosagem ótima de coagulante

A dosagem de 400 mg/l da solução de óxido de cálcio foi estabelecida como a dosagem ótima de álcali para todos os demais ensaios, inclusive os referentes ao efluente pré-ozonizado durante 3 minutos.

A figura 21 apresenta a redução média de cor e de turbidez, em função de diversas concentrações de sulfato ferroso, dos ensaios 2 e 3, realizados para determinar a dosagem ótima de sulfato ferroso para o efluente pré-ozonizado durante 5 minutos.

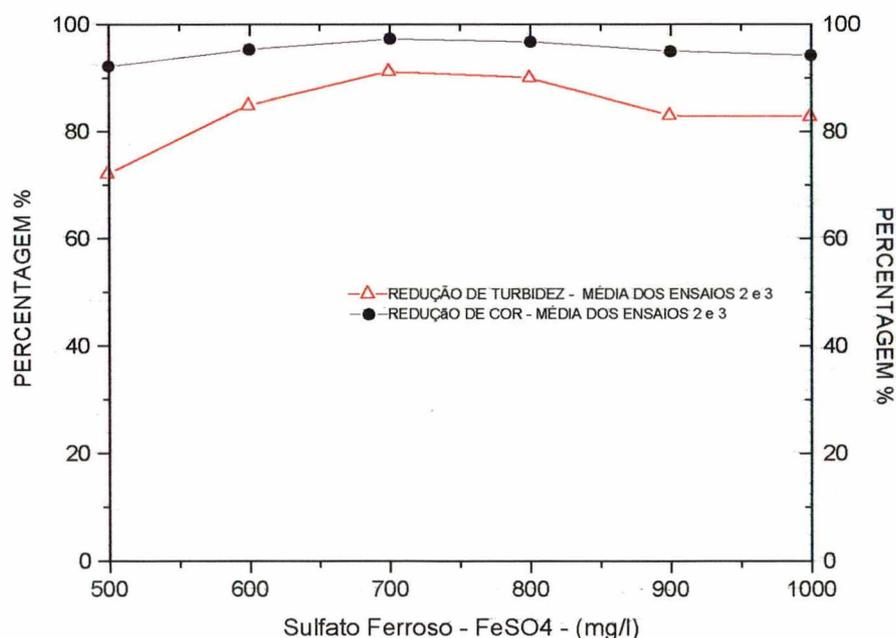


Figura 21 - Média dos resultados dos ensaios de coagulação do efluente pré-ozonizado durante cinco minutos, realizados para obtenção da dosagem ótima de coagulante (500 - 1000 mg FeSO₄/l).

Os melhores resultados foram obtidos nos reatores cujas concentrações de sulfato de ferro estavam entre 600 e 800 mg/l, o que também pode ser constatado a

partir da observação dos resultados em valores absolutos dos ensaios 2 e 3, encontrados no **anexo 15**.

Com objetivo de precisar ainda mais o valor da dosagem ótima de coagulante, para o efluente pré-ozonizado durante 5 minutos, foram realizados os ensaios de coagulação-floculação 4 e 5, apresentados no **anexo 15**, onde foram utilizadas somente dosagens de sulfato ferroso entre 600 e 750 mg/l.

A figura 22 demonstra a redução média de cor e de turbidez, em função de diferentes concentrações de sulfato ferroso compreendidas entre 600 a 750 mg/l .

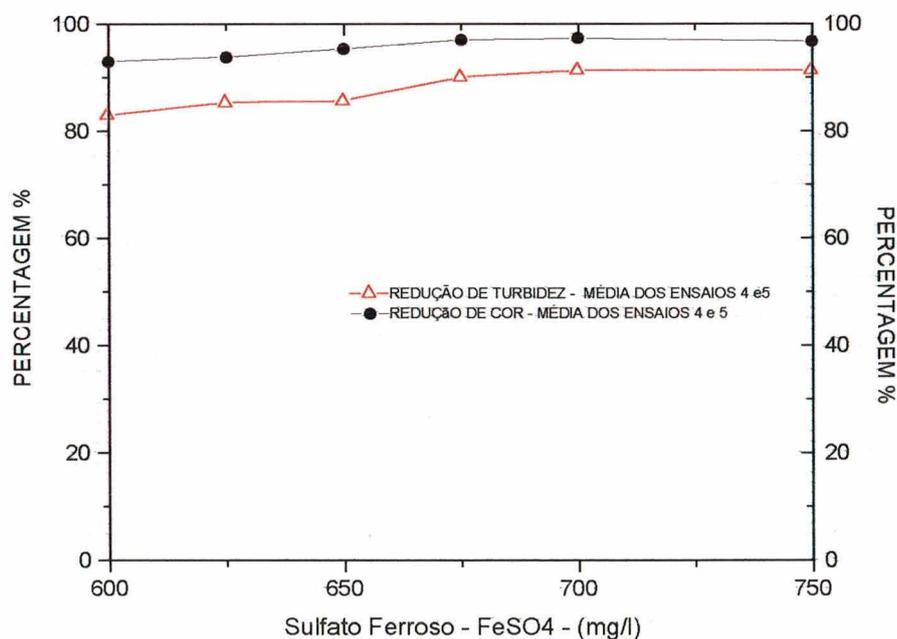


Figura 22 - Média dos resultados dos ensaios de coagulação do efluente pré-ozonizado durante cinco minutos, realizados para obtenção da dosagem ótima de coagulante (600 - 750 mg FeSO₄/l).

Adotou-se como critério para determinação da dosagem ótima de coagulante nesses ensaios o mesmo utilizado para os ensaios do efluente bruto, ou seja, dentre os valores da faixa de concentrações de coagulante que apresentaram os melhores resultados, estabeleceu-se como sendo a dosagem ótima o menor valor de concentração.

Como pode ser observado, as concentrações entre 675 a 750 mg/l de sulfato ferroso apresentaram valores muito próximos em relação a redução de cor e também de turbidez. Seguindo essa faixa de concentrações de sulfato ferroso, estabeleceu-se como sendo a dosagem ótima do coagulante para o efluente pré-ozonizado durante 5 minutos, aquela de menor concentração, ou seja, 675 mg/l, o que representa uma redução de 20% na dosagem de sulfato ferroso quando comparada à dosagem ótima determinada para o efluente bruto.

FARVADIN e COLLINS (1989), realizaram experimentos com diferentes substâncias húmicas naturais e comerciais, submetidas à pré-ozonização, e verificaram que a dosagem de coagulante foi reduzida em cerca de 13 - 30 % com melhoria da água após a coagulação, quando comparada à água submetida à pré-ozonização.

Segundo DI MATTEO (1992), várias pesquisas realizadas observaram decréscimos nas dosagens de coagulantes quando empregada a pré-ozonização.

A figura 23 apresenta a redução média de cor e de turbidez, em função de diversas concentrações de sulfato ferroso, dos ensaios 6 e 7, realizados para determinar a dosagem ótima de sulfato ferroso para o efluente pré-ozonizado durante 3 minutos.

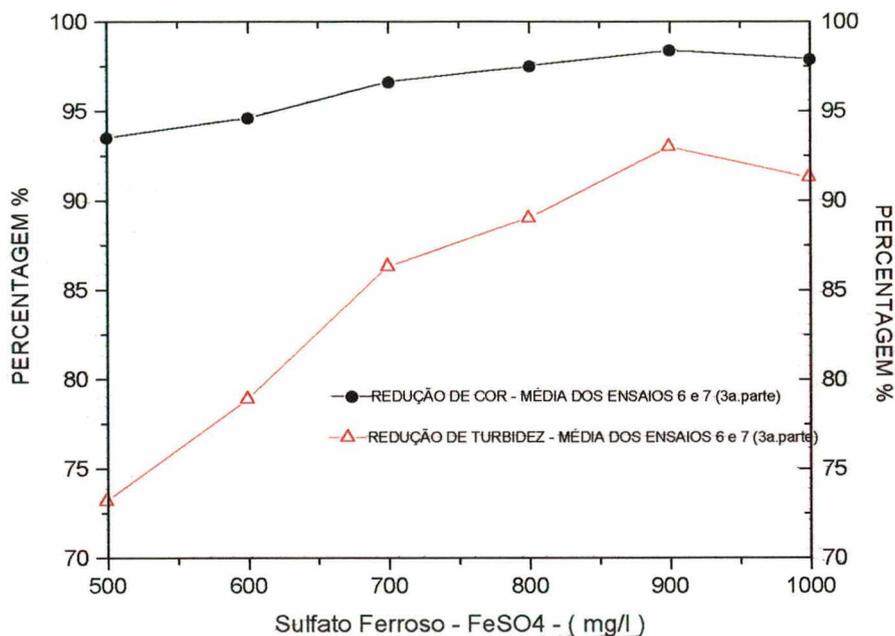


Figura 23 - Média dos resultados dos ensaios de coagulação do efluente pré-ozonizado durante três minutos, realizados para obtenção da dosagem ótima de coagulante (500 - 1000 mg FeSO₄/l).

Os ensaios de coagulação-floculação do efluente pré-ozonizado durante três minutos apresentaram comportamento muito parecido aos ensaios do efluente bruto, sendo os melhores resultados obtidos com as concentrações de coagulante entre 850 e 950 mg/l, o que também pode ser constatado a partir da observação dos resultados em valores absolutos dos ensaios 6 e 7, encontrados no **anexo 17**.

Com objetivo de precisar ainda mais o valor da dosagem ótima do coagulante, foram realizados os ensaios de coagulação-floculação 8 e 9, apresentados no **anexo 18**, onde foram utilizadas somente dosagens de sulfato ferroso entre 700 e 900 mg/l.

A figura 24 demonstra a redução média de cor e de turbidez, em função de diferentes concentrações de sulfato ferroso compreendidas entre 700 a 900 mg/l .

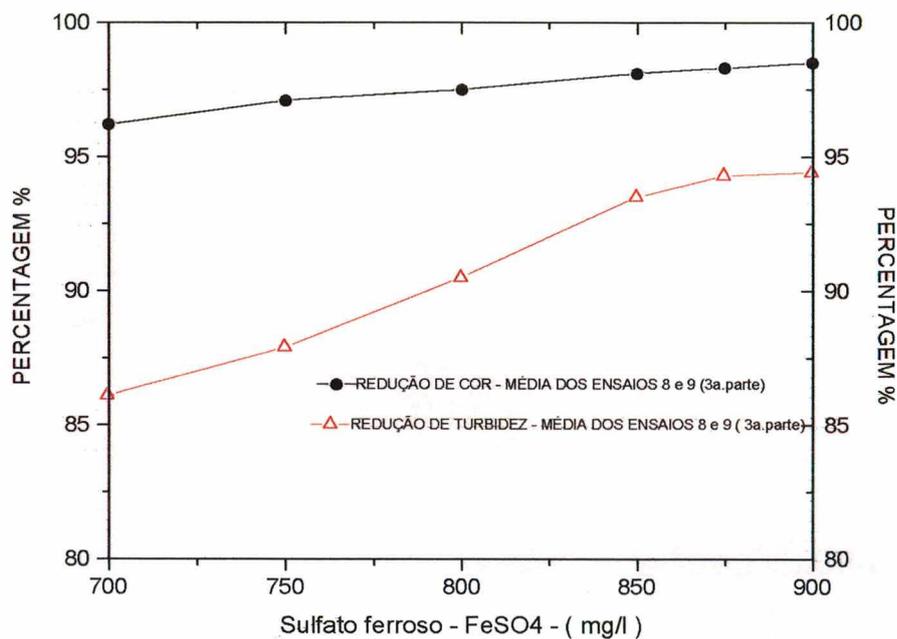


Figura 24 - Média dos resultados dos ensaios de coagulação do efluente pré-ozonizado durante três minutos, realizados para obtenção da dosagem ótima de coagulante (700 - 900 mg FeSO₄/l).

Obedecendo ao mesmo critério adotado nos ensaios anteriores, estabeleceu-se como a dosagem ótima para o efluente pré-ozonizado durante 3 minutos, a menor concentração de sulfato ferroso dentre as que apresentaram os melhores resultados.

Como pôde ser observado na figura 24, os valores de redução de cor e turbidez, apresentaram-se muito próximos nas concentrações entre 850 e 900 mg FeSO₄/l, estabelecendo-se então como dosagem ótima do coagulante a concentração de 850 mg FeSO₄/l.

4.5 - Etapa 4 - Avaliação do lodo gerado e redução de DQO

4.5.1 - Lodo gerado nos ensaios de coagulação-floculação otimizados

Ensaio de coagulação-floculação foram realizados utilizando-se as dosagens ótimas de coagulante e auxiliar de floculação, determinadas para o efluente bruto e pré-ozonizado. O lodo gerado nestes ensaios foi quantificado através da determinação de sólidos totais do material sedimentado, e da análise volumétrica de sólidos sedimentáveis. Os resultados dessas análises estão apresentados no **anexo 19**.

A tabela 9 apresenta a média dos valores de lodo gerado nos ensaios de coagulação-floculação do efluente bruto e pré-ozonizado, utilizando as dosagens ótimas de sulfato ferroso e óxido de cálcio anteriormente determinadas.

Tabela 11: Médias dos valores de lodo gerado nos ensaios de coagulação-floculação

Pré-ozonização		Dosagens Ótimas		Lodo Gerado	
[O ₃] _{aplicada} (mg/l)	tempo (min)	Fe ₂ SO ₄ (mg/l)	OCa (mg/l)	S.T./lodo (mg/l)	S.Sed./lodo (ml/l)
----	----	850	400	5542	57
7,2	3,0	850	400	5391	53
7,2	5,0	675	400	3886	34

Os resultados demonstraram redução na geração de lodo quando comparado os ensaios do efluente bruto aos do efluente pré-ozonizado durante 5 minutos. A redução de lodo foi em média de aproximadamente 30% em termos de peso e de 40% em volume.

A geração de lodo no processo de coagulação-floculação é função da dosagem de coagulante utilizada no tratamento. Como nos ensaios de coagulação do efluente pré-ozonizado durante 5 minutos a dosagem ótima de sulfato ferroso foi reduzida em 20%, isto representou conseqüentemente numa redução na geração de lodo nesses ensaios. Já nos ensaios com o efluente pré-ozonizado durante 3 minutos, as dosagens ótimas de coagulante e álcali foram estabelecidas como as mesmas utilizadas no efluente bruto, gerando assim praticamente a mesma quantidade de lodo dos ensaios do efluente bruto.

4.5.2 - Redução de DQO

As análises de DQO foram realizadas antes e após a pré-ozonização do efluente, e após os ensaios de coagulação-floculação otimizados do efluente “bruto” e pré-ozonizado. A tabela 10 apresenta os valores médios de DQO ao final dos ensaios de coagulação-floculação do efluente bruto e pré-ozonizado durante 5 minutos. Os resultados das análises de DQO estão apresentados no anexo 20.

Tabela 12: Valores médios de DQO após ensaios de coagulação-floculação

Efluente	DQO (inicial)	DQO (após ensaio de coagulação)
bruto	1140	528
pré-ozonizado t = 5min	1018	511

Os valores de DQO final dos ensaios de coagulação do efluente bruto e do efluente pré-ozonizado durante 5 minutos, foram praticamente os mesmos, apresentando ainda valores muito altos, na ordem de 500 mg/l.

GONÇALVES (1996, p.107) descreve o resultado de ensaios de coagulação-floculação de efluentes de lavanderias de Colatina, utilizando vários coagulantes, e conclui que a tratabilidade pela via físico-química é limitada no que se refere a redução de DQO.

Considerando apenas a ozonização do efluente com a concentração aplicada de 7,2 mg/l de ozônio durante 5 minutos, observou-se uma baixa redução de DQO, na ordem de aproximadamente 10%.

Segundo RICE (1981), a ozonização oxida as moléculas de corantes em pequenas moléculas, tais como ácido acético, aldeídos e cetonas, ao invés de dióxido de carbono e água, contribuindo ainda para altos valores de DQO.

Segundo NAYME (1997), baixas reduções de DQO são habitualmente observadas na ozonização de efluentes industriais.

CAPÍTULO V

5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho investigou o efeito da pré-ozonização na geração de lodo em processos de coagulação-floculação no tratamento de efluentes têxteis. Os experimentos foram realizados através de um aparelho para jar-test e de um ozonizador de laboratório, e como efluente de estudo, utilizou-se uma solução sintética, a qual foi elaborada a partir de receitas de banhos de tingimento de uma indústria têxtil.

De acordo com o trabalho realizado concluiu-se que :

- Os ensaios de coagulação-floculação do efluente bruto determinaram que o sulfato ferroso requer uma grande quantidade de álcali para manter a alcalinidade necessária ao bom desempenho da floculação. O consumo de cal pôde ser avaliado em aproximadamente igual à metade do consumo de sulfato ferroso. As concentrações ótimas de sulfato ferroso e de óxido de cálcio apresentaram valores muito altos, na ordem de 850 mg(FeSO_4)/l e 400 mg(OCa)/l, produzindo conseqüentemente uma grande quantidade de lodo.

- Os resultados dos ensaios que utilizaram diferentes tempos de floculação e sedimentação demonstraram que tempos de floculação curtos não são suficientes para a formação de bons flocos, e que os tempos mais longos podem romper os flocos já formados. Os tempos de sedimentação curtos não permitem a sedimentação das partículas mais leves, interferindo em muito no resultado final dos ensaios.

- Os ensaios de ozonização demonstraram que o ozônio reage rapidamente com os corantes utilizados na elaboração do efluente, e que o consumo de ozônio, necessário para alcançar um determinado nível de descoloração, aumenta em função da presença dos produtos auxiliares, presentes no efluente sintético. A ozonização permitiu descolorir eficazmente a cor do efluente estudado.

- Os resultados dos ensaios de coagulação-floculação que utilizaram o efluente pré-ozonizado com uma concentração aplicada de 7,2 mg/l de ozônio durante 5 minutos, demonstraram uma redução na dosagem ótima de sulfato ferroso de aproximadamente 20%, requerendo ainda uma grande quantidade de álcali para um bom desempenho da floculação.

- A ozonização praticamente não reduziu a DQO do efluente sintético quando utilizou a mesma taxa de ozônio aplicada suficiente para reduzir em 50% o valor da coloração inicial. Os valores da DQO final dos ensaios de coagulação-floculação do efluente bruto e pré-ozonizado foram ainda muito altos, aproximadamente 500 mg/l, demonstrando a necessidade de um tratamento complementar que vise a redução da matéria carbonácea.

- A pré-ozonização do efluente estudado reduziu a geração de lodo nos ensaios de coagulação-floculação em até 30%, em termos de peso, e até 40% em volume, demonstrando que o emprego da técnica da ozonização pode diminuir o volume de lodo gerado em estações de tratamento de efluentes têxteis.

Com base no trabalho realizado, recomenda-se :

- A realização deste mesmo estudo porém com algumas modificações como por exemplo, o emprego de diferentes coagulantes, a utilização de um piloto de floculação-decantação em contínuo, o qual apresentaria condições de tratamento mais próximas da realidade.

- A realização de estudos pilotos de ozonização onde seriam investigados por exemplo, as reações de degradação de diferentes corantes, observando-se os fenômenos que regem a descoloração, a competição entre as reações de ozônio com corantes e os demais produtos auxiliares utilizados no tingimento de tecidos, e a otimização do processo da ozonização na descoloração, com o emprego de mecanismos de injeção de ozônio que favoreçam as reações rápidas, como os misturadores estáticos.

- A realização de estudos empregando a combinação da ozonização e processos biológicos, onde seriam avaliados a eliminação de DQO, e os benefícios da oxidação parcial das moléculas de corantes em relação a sua posterior biodegradação.

ANEXOS

Como pôde ser observado, as receitas de banho trazem o peso de tecido a ser tingido, a concentração de todos os produtos utilizados no tingimento, o gráfico da operação, de onde obtém-se o tempo de tingimento, a temperatura e volume de água empregados.

De posse de todas as receitas de banho de tingimento realizadas durante um determinado dia, passou-se à elaboração da solução sintética, respeitando-se a proporção de água e a concentração de produtos auxiliares de tingimento. A única concentração alterada, foi, obviamente, a concentração de corantes, considerando a parcela do produto que fica retida nos tecidos.

Como os corantes utilizados nos banhos de tingimento eram do tipo reativo, e sabendo-se que para esses corantes a literatura apresenta valores de perda na ordem de 10 a 20%, adicionou-se na solução apenas 10% da concentração de corantes especificada nas receitas de tingimento.

As soluções simulando os diferentes banhos de tingimento, foram preparadas separadamente, pesando-se todos os reagentes e adicionando-os em recipientes de 1000 ml, os quais eram levados para um aparelho de banho-maria e submetidos à temperatura de 90°C.

III. Características do efluente sintético

A tabela 13 apresenta as principais características do efluente sintético.

Tabela 13 : Principais características do efluente sintético.

Parâmetro	Valores
pH	10,7
DQO (mg/l)	1140
DBO (mg/l)	358
Sólidos Totais 105°C (m/l)	6873
Sólidos Totais Fixo (mg/l)	6320
Sólidos Totais Voláteis (mg/l)	553
Sólidos Sedimentáveis (ml/l)	4
Cloretos (mg/l)	4930
Turbidez (NTU)	24,3
Absorbância λ 509nm	0,954

ANEXO 2 - Classificação dos corantes e os corantes mais utilizados na indústria têxtil.

I. Classificação dos corantes

A norma técnica **NBR - 5766** da **ABNT** (Associação Brasileira de Normas Técnicas), estabelece a classificação de corantes orgânicos naturais e artificiais, comercializados no Brasil, baseada na sistemática empregada no "The Colour Index", editado conjuntamente pela "American Association of Textile Chemists and Colourists". Os corantes orgânicos naturais e artificiais são classificados segundo a cor, classe de aplicação e grupo químico.

Quanto à cor, os corantes são classificados como: **Amarelo, Laranja, Vermelho, Violeta, Azul, Verde, Castanho, Preto ou Branco.**

As classes de aplicação de corantes, para a sua classificação são : **Ácidos, Alimentar, Alvejante, Ótico, Base de Oxidação, Básico, Componente Azóico de Copulação, Componente Azóico Diazo, Desenvolvedor, Direto, Disperso, Enxofre, Mordente, natural, Pigmento, Reativo, Solvente ou Tina.**

De acordo com a sua constituição química são classificados e designados por um número correspondente. São os seguintes os grupos químicos e seus números:

GRUPO QUÍMICO	NÚMERO	GRUPO QUÍMICO	NÚMERO
Nitroso	10 000 - 10 299	Indamina	49 400 - 49 699
Nitro	10 300 - 10 999	Indofenol	49 700 - 49 999
Monoazo	11 000 - 19 999	Azina	50 000 - 50 999
Diazo	20 000 - 29 999	Oxazina	51 000 - 51 999
Triazo	30 000 - 34 999	Tiazina	52 000 - 52 999
Poliazo	35 000 - 36 999	Enxofre	53 000 - 54 999
Azóico	37 000 - 39 999	Lactona	55 000 - 55 999
Estilbeno	40 000 - 40 799	Aminocetona	56 000 - 56 999

GRUPO QUÍMICO	NÚMERO	GRUPO QUÍMICO	NÚMERO
Caratenóide	40 800 - 40 999	Hidroxicetona	57 000 - 57 999
Difenilmetano	41 000 - 41 999	Antraquinona	58 000 - 72 999
Triarilmetano	42 000 - 44 999	Indigóide	73 000 - 73 999
Xanteno	45 000 - 45 999	Ftalocianina	74 000 - 74 999
Acridina	46 000 - 46 999	Natural	75 000 - 75 999
Quinoleina	47 000 - 47 999	Bases de oxidação	76 000 - 76 999
Metino	48 000 - 48 999	Pigmentos inorgânicos	77 000 - 77 999
Tiazol	49 000 - 49 399		

Assim, um corante devidamente classificado, será designado pela cor, classe de aplicação e número correspondente ao grupo químico, nesta ordem.

II . Corantes mais utilizados no setor têxtil

Os corantes mais utilizados no setor têxtil são :

- **Corantes ácidos** : Compostos por sais de sódio, usualmente a partir de ácidos sulfônicos ou ácidos carboxílicos. Este tipo de corante é utilizado no tingimento de lã e de fibras poliamidas (nylon).
- **Corantes diretos** : Assemelham-se aos corantes ácidos, pois também são derivados de sais de sódio a partir de ácidos sulfônicos. Estes são utilizados para o tingimento de fibras de celulose, como por exemplo o algodão.
- **Corantes dispersos** : São suspensões finamente divididas de compostos orgânicos com reduzida solubilidade em água. Estes corantes foram desenvolvidos para colorir fibras hidrófobas como o acetato e outras fibras sintéticas.

- **Corantes mordentes** : Incluem os corantes naturais e sintéticos, e são obtidos a partir do antraceno. Na realidade, estes corantes não apresentam afinidade com fibras têxteis, mas são aplicados sobre fibras proteínicas (lã) quando mordentados por um óxido metálico. O mordente mais utilizado é o cromo, portanto, estes corantes são também conhecidos como corantes ao cromo. Devido às restrições em relação ao uso de cromo, muitas tinturarias de lã substituíram estes por corantes ácidos.
- **Corantes pré-metalizados** : É uma variação do corante mordente. A diferença é que o metal, também neste caso o metal é o cromo, já vem incluído em sua formulação. Deste modo, não há necessidade de adicionar o metal, eliminando-se um segundo passo no processo.
- **Corantes reativos** : Estes corantes representam a última geração em corantes. Reagem quimicamente com o grupo funcional das fibras, e podem ser aplicados na maioria dos tipos de fibra, como por exemplo o algodão, viscose, linho, lã e seda, e em vários tipos de processo de tingimento.
- **Corantes ao enxofre** : São compostos orgânicos complexos, insolúveis em soluções de sulfato de sódio, o qual é um agente redutor e “quebra” as moléculas em compostos mais simples, que são solúveis em água, e que tem afinidade com a celulose. Em seguida, os componentes solúveis são oxidados na fibra para o corante original sulfuroso. Estes corantes apresentam excelente resistência a lavagem mas não apresentam muita resistência a luz, e nem muito brilho. É utilizado, predominantemente, nas fibras celulósicas.

ANEXO 3 - Descrição da metodologia utilizada para determinação da concentração de ozônio, na entrada e na saída da coluna de contato.

I - Considerações Iniciais

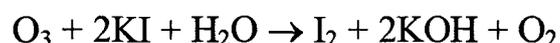
Na maioria das vezes, a referência ao ozônio está diretamente relacionada ao ar ou de oxigênio ozonizado, isto é, uma mistura gasosa contendo um fraco peso relativo de ozônio, diluído em um grande volume de gás.

D.Maier e G.Kurmann (1997, p.125) descrevem o método iodométrico para determinação da concentração de ozônio em uma solução gasosa, o qual foi utilizado nesta investigação experimental.

Segundo os referidos autores, o método iodométrico tem precisão de 1% para concentrações de 2 a 160 mg /l de ozônio.

II - Princípio do Método Iodométrico

O ozônio é absorvido por uma solução neutra de iodeto de potássio, oxidando-a e liberando iodo, de acordo com a seguinte equação química :



Após absorção do ozônio, a solução é acidificada e o iodo liberado é titulado com tiosulfato de sódio, de acordo com a seguinte equação química :



As equações mostram que 1 mol de tiosulfato corresponde a 1 mol de iodo, e que 1 mol de iodo corresponde a ½ mol de ozônio, sendo assim, indiretamente, 1 mol de tiosulfato de sódio corresponde a ½ mol de ozônio, ou seja 24 mg O₃.

III - Reagentes

- solução de iodeto de potássio 2%
- solução normal de ácido sulfúrico
- água deionizada
- solução decinormal de tiosulfato de sódio

IV - Esquema do aparato utilizado

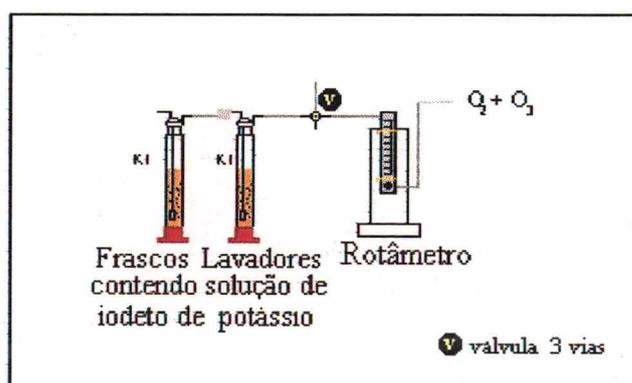


Figura 26 : Conjunto para determinação de ozônio em fase gasosa.

V - Procedimento

- Colocar aproximadamente 200 ml da solução de iodeto de potássio (2%) nos frascos lavadores.
- Regular a vazão do gás, através do rotâmetro, em 30 l/h.
- Transferir o gás para o frasco contendo a solução de iodeto de potássio, interrompendo a transferência após 4 minutos.
- Lavar a tubulação com água destilada, recuperando a água de rinsagem, despejando-a no frasco lavador.
- Acidificar a solução com aproximadamente 10 ml de ácido sulfúrico 1N.
- Titular a solução com tiosulfato de sódio 10N até a obtenção de uma coloração levemente amarelada, continuando a titulação de gota em gota, até a descoloração completa da solução.

VI - Cálculo

O cálculo da concentração de ozônio é obtida através da seguinte fórmula:

$$C = \frac{N \text{ (normalidade do tiosulfato)} \times V_t \text{ (volume de tiosulfato gasto na titulação)} \times 24}{V_g \text{ (volume de gás transferido para o frasco lavador)}}$$

- V_t - lido diretamente na bureta
- V_g - determinado pelo produto da vazão estabelecida pelo rotâmetro e o tempo de transferência do gás para o frasco lavador.

ANEXO 4 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o pH ótimo de floculação (1ª.Etapa).

características dos ensaios :

mistura rápida - 100 rpm- 2 min

mistura lenta - 40 rpm- 15 min

sedimentação - 0 rpm- 20 min

características do efluente :

pH - 10,7

turbidez - 24,3 NTU

absorbância em 509 nm - 0,954

Tabela 14 : Ensaio 1-A

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Ácido Sulfúrico (mg/l)	pH	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
800	600	-----	12,3	6,17	0,061
800	500	-----	12,0	5,48	0,055
800	400	-----	11,9	2,86	0,028
800	300	-----	11,8	3,75	0,036
800	200	-----	11,5	4,21	0,044

Tabela 15 : Ensaio 1-B

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Ácido Sulfúrico (mg/l)	pH	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
800	100	-----	11,3	4,85	0,047
800	50	-----	11,0	5,90	0,058
800	-----	-----	10,7	7,13	0,069•
800	-----	5,0	10,5	10,6	0,102•
800	-----	10,0	10,3	11,8	0,114•

• coloração residual visual

Tabela 16 : Ensaio 1-C

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Ácido Sulfúrico (mg/l)	pH	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
800	-----	20,0	9,8	17,3	0,140•
800	-----	30,0	9,5	17,5	0,143•
800	-----	40,0	9,1	17,5	0,142•
800	-----	45,0	8,0	21,0	0,187•
800	-----	50,0	7,4	35,0	0,202•

• coloração residual visual

Tabela 17 : Ensaio 1-D

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Ácido Sulfúrico (mg/l)	pH	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
800	-----	52,5	6,6	70,0	0,249•
800	-----	60,0	4,9	118	0,388•
800	-----	62,5	3,5	215	0,747•
800	-----	65,0	2,8	215	0,753•
800	-----	67,5	2,5	217	0,800•

• coloração residual visual

características dos ensaios :**mistura rápida** -100 rpm- 2 min**mistura lenta** - 40 rpm- 15min**sedimentação** - 0 rpm- 20min**características do efluente :****pH** - 10,7**turbidez** - 25,4 NTU**absorbância em 509 nm** - 1,084**Tabela 18 : Ensaio 2-A**

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Ácido Sulfúrico (mg/l)	pH	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
800	600	-----	12,3	7,07	0,068
800	500	-----	12,0	5,92	0,060
800	400	-----	11,9	3,01	0,032
800	300	-----	11,8	4,82	0,050
800	200	-----	11,5	5,36	0,055

Tabela 19 : Ensaio 2-B

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Ácido Sulfúrico (mg/l)	pH	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
800	100	-----	11,3	6,71	0,065
800	50	-----	11,0	8,30	0,080
800	-----	-----	10,7	9,23	0,091•
800	-----	5,0	10,5	13,9	0,118•
800	-----	10,0	10,3	14,4	0,122•

•coloração residual visual

Tabela 20 : Ensaio 2-C

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Ácido Sulfúrico (mg/l)	pH	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
800	-----	20,0	9,8	18,4	0,155●
800	-----	30,0	9,5	18,6	0,158●
800	-----	40,0	9,1	18,9	0,160●
800	-----	45,0	8,0	22,7	0,192●
800	-----	50,0	7,4	35,2	0,213●

●coloração residual visual

Tabela 21 : Ensaio 2-D

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Ácido Sulfúrico (mg/l)	pH	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
800	-----	52,5	6,6	87,0	0,285●
800	-----	60,0	4,9	110	0,310●
800	-----	62,5	3,5	253	0,830●
800	-----	65,0	2,8	257	0,832●
800	-----	67,5	2,5	253	0,841●

●coloração residual visual

ANEXO 5 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando o dosagem ótima de Sulfato Ferroso(1ª.Etapa).

características dos ensaios :

mistura rápida -100 rpm- 2 min

mistura lenta - 40 rpm- 15 min

sedimentação - 0 rpm- 20 min

características do efluente :

pH - 10,7

turbidez - 23,7 NTU

absorbância em 509 nm - 0,938

Tabela 22: Ensaio 3-A

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
1200	400	2,38	0,023
1150	400	2,25	0,022
1100	400	2,11	0,021
1050	400	2,09	0,020
1000	400	2,03	0,020

Tabela 23 : Ensaio 3-B

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
950	400	1,43	0,016
900	400	1,41	0,015
850	400	1,41	0,016
800	400	2,67	0,024
750	400	3,65	0,032

Tabela 24 : Ensaio 3-C

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
700	400	4,95	0,045
650	400	6,01	0,057•
600	400	6,19	0,060•
550	400	7,25	0,070•
500	400	9,86	0,092•

•coloração residual visual

Tabela 25 : Ensaio 3-D

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
450	400	10,27	0,099•
400	400	12,05	0,116•
350	400	13,05	0,120•
300	400	14,21	0,124•
250	400	14,58	0,126•

•coloração residual visual

características dos ensaios :

mistura rápida - 100 rpm- 2 min
mistura lenta - 40 rpm- 15 min
sedimentação - 0 rpm- 20 min

características do efluente :

pH - 10,7
turbidez - 24,0 NTU
absorbância em 509 nm - 0,941

Tabela 26 : Ensaio 4-A

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
1200	400	3,81	0,037
1150	400	3,28	0,032
1100	400	2,97	0,028
1050	400	2,53	0,022
1000	400	1,64	0,019

Tabela 27 : Ensaio 4-B

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
950	400	1,43	0,017
900	400	1,43	0,018
850	400	1,46	0,017
800	400	2,98	0,030
750	400	3,86	0,038

Tabela 28 : Ensaio 4-C

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
700	400	4,97	0,048
650	400	5,81	0,057•
600	400	5,97	0,060•
550	400	8,10	0,082•
500	400	11,23	0,110•

•coloração residual visual

Tabela 29 : Ensaio 4-D

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
450	400	13,07	0,115•
400	400	13,20	0,118•
350	400	13,70	0,120•
300	400	15,82	0,132•
250	400	15,99	0,135•

•coloração residual visual

ANEXO 6 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando refinar o valor da dosagem ótima de Sulfato Ferroso (1ª.Etapa).

características do ensaio :

mistura rápida -100 rpm- 2 min

mistura lenta - 40 rpm- 15 min

sedimentação - 0 rpm- 20 min

características do efluente :

pH - 10,7

turbidez - 22,0 NTU

absorbância em 509 nm - 0,914

Tabela 30: Ensaio 5

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
950	400	1,34	0,017
925	400	1,33	0,015
900	400	1,32	0,016
875	400	1,32	0,014
850	400	1,33	0,014

Tabela 31 : Ensaio 6

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
950	400	1,36	0,018
925	400	1,36	0,019
900	400	1,33	0,017
875	400	1,30	0,011
850	400	1,32	0,015

Tabela 32 : Ensaio 7

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
950	400	1,36	0,020
925	400	1,35	0,021
900	400	1,34	0,019
875	400	1,29	0,018
850	400	1,30	0,018

ANEXO 7 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando avaliar os ensaios em diferentes tempos de sedimentação (1ª.Etapa).

características do ensaio :

mistura rápida - 100 rpm- 2 min

mistura lenta - 40 rpm- 15 min

sedimentação - 0 rpm- 10 min

características do efluente :

pH - 10,7

turbidez - 22,0 NTU

absorbância em 509 nm - 0,916

Tabela 33 : Ensaio 8

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
950	400	5,06	0,050
925	400	5,02	0,050
900	400	5,01	0,050
875	400	5,00	0,049
850	400	5,02	0,050

Tabela 34 : Ensaio 9

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
950	400	4,91	0,047
925	400	4,88	0,044
900	400	4,91	0,048
875	400	4,90	0,047
850	400	4,92	0,048

características do ensaio :**mistura rápida** -100 rpm- 2 min**mistura lenta** - 40 rpm- 15 min**sedimentação** - 0 rpm- 15 min**características do efluente :****pH** - 10,7**turbidez** - 22,0 NTU**absorbância em 509 nm** - 0,916**Tabela 35 : Ensaio 10**

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
950	400	2,93	0,022
925	400	2,90	0,023
900	400	2,90	0,021
875	400	2,89	0,020
850	400	2,89	0,022

Tabela 36 : Ensaio 11

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
950	400	3,05	0,029
925	400	3,05	0,028
900	400	3,03	0,028
875	400	3,02	0,028
850	400	3,03	0,028

ANEXO 8 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação com o efluente bruto, objetivando avaliar os ensaios com diferentes tempos de floculação (**1ª.Etapa**).

características do ensaio :

mistura rápida -100 rpm- 2 min
mistura lenta - 40 rpm-10 min
sedimentação - 0 rpm- 20 min

características do efluente :

pH - 10,7
turbidez - 23,5 NTU
absorbância em 509 nm - 0,940

Tabela 37 : Ensaio 12

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
950	400	7,01	0,072
925	400	6,84	0,063
900	400	6,81	0,065
875	400	5,27	0,057
850	400	5,56	0,061

Tabela 38: Ensaio 13

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
950	400	7,07	0,072
925	400	7,03	0,070
900	400	6,90	0,070
875	400	6,35	0,067
850	400	6,39	0,068

características do ensaio :**mistura rápida** -100 rpm- 2 min**mistura lenta** - 40 rpm- 20 min**sedimentação** - 0 rpm- 20 min**características do efluente :****pH** - 10,7**turbidez** - 23,5 NTU**absorbância em 509 nm** - 0,940**Tabela 39 : Ensaio 14**

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
950	400	2,15	0,037
925	400	2,09	0,031
900	400	1,86	0,029
875	400	1,77	0,027
850	400	1,70	0,027

Tabela 40 : Ensaio 15

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
950	400	2,38	0,036
925	400	2,23	0,035
900	400	1,93	0,027
875	400	1,80	0,024
850	400	1,80	0,025

ANEXO 9- Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do corante azul, sem a presença dos produtos auxiliares utilizados no tingimento (2ª.Etapa).

características dos ensaios :

vazão do gás: $Q_G = 25$ l/h

vazão de recirculação: $Q_L = 20$ l/h

concentração de ozônio aplicada: $[O_3]_0 = 7,2$ mg/l

características do efluente :

comprimento de onda de máxima absorvância : $\lambda_{PICO} = 595$ nm

absorvância no comprimento de onda de 595 nm : 1,520

Tabela 41 : Ensaio 1

tempo (min)	Absorvância 595 nm	coloração residual %	$[O_3]$ saída (mg/l)	$[O_3]$ consumida (mg/l)	$[O_3]$ consumida em g/g de corante inicial
0	1,520	100	7,20	0	0
4	0,068	4,5	4,92	2,28	0,04
8	0,023	1,5	5,28	4,20	0,14
14	0,015	1,0	6,96	5,44	0,32
20	0,014	0,9	6,96	6,68	0,50

ANEXO 10 - Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do corante azul, com a presença dos produtos auxiliares utilizados no tingimento (2ª.Etapa).

características dos ensaios :

vazão do gás: $Q_G = 25$ l/h

vazão de recirculação: $Q_r = 20$ l/h

concentração de ozônio aplicada: $[O_3]_0 = 7,2$ mg/l

características do efluente :

comprimento de onda de máxima absorvância : $\lambda_{PICO} = 595$ nm

absorvância no comprimento de onda de 595 nm : 1,448

Tabela 42 :Ensaio 2

tempo (min)	Absorvância 595 nm	coloração residual %	$[O_3]$ saída (mg/l)	$[O_3]$ consumida (mg/l)	$[O_3]$ consumida em g/g de corante inicial
0	1,448	100,0	7,20	0,00	0,00
4	0,587	40,5	2,40	4,80	0,08
8	0,531	36,7	3,20	8,80	0,29
14	0,324	22,9	3,44	12,56	0,73
20	0,289	20,0	4,44	15,32	1,28
26	0,172	11,9	5,58	16,94	1,81
32	0,071	4,9	6,00	18,14	2,42
38	0,039	2,7	5,32	20,02	3,17
44	0,023	1,6	5,60	21,62	3,96

ANEXO 11 - Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do corante vermelho, sem a presença dos produtos auxiliares utilizados no tingimento (2ª.Etapa).

características dos ensaios :

vazão do gás: $Q_G = 25$ l/h

vazão de recirculação: $Q_L = 20$ l/h

concentração de ozônio aplicada: $[O_3]_0 = 7,2$ mg/l

características do efluente :

comprimento de onda de máxima absorvância : $\lambda_{PICO} = 514$ nm

absorvância no comprimento de onda de 595 nm : 2,416

Tabela 43 : Ensaio 3

tempo (min)	Absorvância 595 nm	coloração residual %	$[O_3]$ saída (mg/l)	$[O_3]$ consumida (mg/l)	$[O_3]$ consumida em g/g de corante inicial
0	1,520	100	7,20	0	0
4	0,068	11,24	5,18	2,02	0,03
8	0,023	0,02	5,80	3,42	0,11
12	0,015	0,01	6,4	4,22	0,21

ANEXO 12 - Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do corante vermelho, com a presença dos produtos auxiliares utilizados no tingimento (2ª.Etapa).

características dos ensaios :

vazão do gás: $Q_G = 25$ l/h

vazão de recirculação: $Q_L = 20$ l/h

concentração de ozônio aplicada: $[O_3]_0 = 7,2$ mg/l

características do efluente :

comprimento de onda de máxima absorvância : $\lambda_{PICO} = 595$ nm

absorvância no comprimento de onda de 595 nm : 1,448

Tabela 44 : Ensaio 4

tempo (min)	Absorvância 595 nm	coloração residual %	$[O_3]$ saída (mg/l)	$[O_3]$ consumida (mg/l)	$[O_3]$ consumida em g/g de corante inicial
0	2,106	100,0	7,20	0,00	0,00
4	0,904	42,9	4,90	2,30	0,04
8	0,568	27,0	5,20	4,30	0,14
12	0,343	16,3	5,20	6,30	0,33
20	0,230	10,9	5,02	8,48	0,71
24	0,181	8,6	5,28	10,40	1,04
28	0,140	6,6	5,98	11,62	1,36
32	0,126	6,0	6,20	12,62	1,68
36	0,115	5,5	6,38	13,44	2,02
40	0,110	5,2	6,28	14,36	2,39

ANEXO 13 - Resultado das análises relativas aos ensaios de ozonização do efluente sintético (2ª.Etapa).

características dos ensaios :

vazão do gás: $Q_G = 25$ l/h

vazão de recirculação: $Q_r = 20$ l/h

concentração de ozônio aplicada: $[O_3]_0 = 7,2$ mg/l

características do efluente :

comprimento de onda de máxima absorvância : $\lambda_{PICO} = 509$ nm

absorvância no comprimento de onda de 509 nm : 0,934

Tabela 45 : Ensaio 5

tempo (min)	Absorvância 595 nm	coloração residual %	$[O_3]$ saída (mg/l)	$[O_3]$ consumida (mg/l)	$[O_3]$ consumida (mg)
0	0,934	100,0	7,20	0	0
5	0,465	49,8	3,70	3,5	7,29
10	0,321	34,4	4,06	6,64	13,83
15	0,263	28,2	5,02	8,82	18,87
20	0,144	15,4	5,98	10,04	20,09
25	0,124	13,3	6,58	10,66	21,38
30	0,106	11,4	5,14	12,72	25,67
35	0,080	8,6	5,68	14,24	28,83
40	0,066	7,1	6,20	15,24	30,91

características dos ensaios :vazão do gás: $Q_G = 25$ l/hvazão de recirculação: $Q_L = 20$ l/hconcentração de ozônio aplicada: $[O_3]_0 = 7,2$ mg/l**características do efluente :**comprimento de onda de máxima absorvância : $\lambda_{PICO} = 509$ nm

absorvância no comprimento de onda de 509 nm : 0,934

Tabela 46 : Ensaio 6

tempo (min)	Absorvância 595 nm	coloração residual %	$[O_3]$ saída (mg/l)	$[O_3]$ consumida (mg/l)	$[O_3]$ consumida (mg)
0	0,934	100,0	7,20	0	0
5	0,472	50,5	4,00	3,20	6,66
10	0,306	32,8	4,05	6,35	13,22
15	0,251	26,9	4,67	8,88	18,49
20	0,137	14,7	5,78	10,30	21,45
25	0,118	12,6	6,03	11,47	23,89
30	0,101	10,8	5,08	13,59	28,31
35	0,076	8,1	6,18	14,61	30,43
40	0,063	6,7	6,02	15,79	32,89

ANEXO 14 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação objetivando o pH ótimo de floculação, com o efluente pré-ozonizado a 50% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 5 minutos (**3ª. Etapa**).

características dos ensaios :

mistura rápida - 100 rpm- 2 min
mistura lenta - 40 rpm- 15 min
sedimentação - 0 rpm- 20 min

características do efluente :

pH - 10,4
turbidez - 13,5 NTU
absorbância em 509 nm - 0,474

Tabela 47 :Ensaio 1-A

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Ácido Sulfúrico (mg/l)	pH	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
800	600	-----	12,3	6,90	0,060
800	500	-----	12,0	3,82	0,038
800	400	-----	11,9	1,36	0,019
800	300	-----	11,8	2,59	0,030
800	200	-----	11,5	3,47	0,033
800	100	-----	11,3	3,85	0,038

Tabela 48 : Ensaio 1-B

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Ácido Sulfúrico (mg/l)	Ph	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
800	50	-----	10,8	4,12	0,042
800	-----	-----	10,4	5,15	0,049
800	-----	10,0		12,9	0,115•
800	-----	30,0		19,8	0,170•
800	-----	50,0		56,1	0,213•
800	-----	60,0		203	0,690•

• coloração residual visual

ANEXO 15 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando o dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 50% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 5 minutos (3ª.Etapa).

características dos ensaios :

mistura rápida -100 rpm- 2 min

mistura lenta - 40 rpm- 15 min

sedimentação - 0 rpm- 20 min

características do efluente :

pH - 10,5

turbidez - 13,9 NTU

absorbância em 509 nm - 0,474

Tabela 49 : Ensaio 2

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
1000	400	2,39	0,027
900	400	2,35	0,022
800	400	1,38	0,015
700	400	1,22	0,013
600	400	2,11	0,020
500	400	3,87	0,037

Tabela 50 : Ensaio 3

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
1000	400	2,73	0,030
900	400	2,35	0,025
800	400	1,60	0,016
700	400	1,48	0,012
600	400	2,21	0,020
500	400	4,10	0,040

ANEXO 16- Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando refinar o valor da dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 50% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 5 minutos (3ª.Etapa).

características do ensaio :

mistura rápida -100 rpm- 2 min

mistura lenta - 40 rpm- 15min

sedimentação - 0 rpm- 20min

características do efluente :

pH - 10,4

turbidez - 13,9 NTU

absorbância em 509 nm - 0,474

Tabela 51 : Ensaio 4

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
750	400	1,20	0,013
700	400	1,20	0,015
675	400	1,84	0,014
650	400	2,00	0,022
625	400	2,05	0,025
600	400	2,21	0,033

Tabela 52 : Ensaio 5

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
750	400	1,38	0,014
700	400	1,32	0,015
675	400	1,72	0,016
650	400	1,99	0,022
625	400	2,00	0,024
600	400	2,27	0,035

ANEXO 17 - Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando a dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 25% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 3 minutos (**3ª.Etapa**).

características dos ensaios :

mistura rápida - 100 rpm- 2 min

mistura lenta - 40 rpm- 15min

sedimentação - 0 rpm- 20min

características do efluente :

pH - 10,5

turbidez - 14,9 NTU

absorbância em 509 nm - 0,752

Tabela 53 : Ensaio 6

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
1000	400	2,00	0,020
900	400	1,49	0,015
800	400	2,35	0,023
700	400	3,15	0,032
600	400	4,85	0,050
500	400	6,17	0,061

Tabela 54 : Ensaio 7

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
1000	400	2,04	0,020
900	400	1,46	0,015
800	400	2,28	0,022
700	400	3,29	0,033
600	400	5,03	0,049
500	400	6,21	0,063

ANEXO 18- Resultado das análises relativas aos ensaios de coagulação-floculação, objetivando refinar o valor da dosagem ótima de Sulfato Ferroso, com o efluente pré-ozonizado a 25% de redução de cor, correspondendo a uma concentração aplicada de ozônio de 7,2 mg/l durante 3 minutos (3ª.Etapa).

características do ensaio :

mistura rápida -100 rpm- 2 min

mistura lenta - 40 rpm- 15min

sedimentação - 0 rpm- 20min

características do efluente :

pH - 10,3

turbidez - 13,9 NTU

absorbância em 509 nm - 0,494

Tabela 55 : Ensaio 8

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
900	400	1,48	0,017
875	400	1,42	0,016
850	400	1,46	0,018
800	400	2,20	0,023
750	400	2,80	0,027
700	400	3,22	0,035

Tabela 56 : Ensaio 9

Sulfato Ferroso (mg/l)	Óxido de Cálcio (mg/l)	Turbidez (NTU)	Absorbância λ 509 nm
900	400	1,33	0,016
875	400	1,31	0,013
850	400	1,49	0,019
800	400	2,15	0,021
750	400	2,72	0,026
700	400	3,10	0,030

ANEXO 19 - Resultado das análises relativas a quantificação do lodo gerado nos ensaios de coagulação-floculação do efluente bruto e pré-ozonizado, utilizando as dosagens ótimas de coagulante. (4ª Etapa).

características do ensaio :

mistura rápida - 100 rpm- 2 min

mistura lenta - 40 rpm- 15 min

sedimentação - 0 rpm- 20 min

Tabela 57 : Ensaio 1

jarro	Pré-ozonização		Físico - Químico		Lodo Gerado	
	[O ₃] _{aplicada} (mg/l)	tempo (min)	Fe ₂ SO ₄ (mg/l)	OCa (mg/l)	S.T./lodo (mg/l)	S.Sed./lodo (ml/l)
1	----	----	850	400	5873	60
2	----	----	850	400	5672	55
3	7,2	5,0	675	400	3940	35
4	7,2	5,0	675	400	3800	34
5	7,2	3,0	850	400	5420	54
6	7,2	3,0	850	400	5515	53

Tabela 58 : Ensaio 2

jarro	Pré-ozonização		Físico - Químico		Lodo Gerado	
	[O ₃] _{aplicada} (mg/l)	tempo (min)	Fe ₂ SO ₄ (mg/l)	OCa (mg/l)	S.T./lodo (mg/l)	S.Sed./lodo (ml/l)
1	----	----	850	400	5213	55
2	----	----	850	400	5410	58
3	7,2	5,0	675	400	3800	32
4	7,2	5,0	675	400	4004	35
5	7,2	3,0	850	400	5330	52
6	7,2	3,0	850	400	5302	50

ANEXO 20 - Resultado das análises de DQO após aos ensaios de coagulação-floculação do efluente bruto e pré-ozonizado (4ª.Etapa).

características do ensaio :

mistura rápida -100 rpm- 2 min

mistura lenta - 40 rpm- 15min

sedimentação - 0 rpm- 20min

características do efluente :

DQO efluente bruto - 1140 mg/l

DQO efluente pré-ozonizado - 1018 mg/l

Tabela 59 : Ensaio 1

jarro	Pré-ozonização		Físico - Químico		
	[O ₃] _{aplicada} (mg/l)	tempo (min)	FeSO ₄ (mg/l)	OCa (mg/l)	DQO _{final} (mg/l)
1	----	----	850	400	539
2	----	----	850	400	520
3	----	----	850	400	525
4	7,2	5,0	675	400	507
5	7,2	5,0	675	400	510
6	7,2	5,0	675	400	516

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDO, M.S.E., SHABAN, H., BADER M.S.H. Decolorization by ozone of direct dyes in presence of some catalysts. *Journal of Environmental Science Health*, p.697-710, 1988.
- APHA, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 16 ed. American Public Health Association, Washington, D.C.
- AZEVEDO NETTO, José M. et al. *Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água*. V.2 São Paulo. Cetesb. 1987.
- BALDES, H. et al. Ozone treatment of textile and dye-house waste. *OZONE WORLD CONGRESS - 11- SAN FRANCISCO - 1993*, p. 76 - 83, 1993.
- BOLLYKY, L. J. e SILER, J. Removal of tributyl phosphate from aqueous solution by advanced ozone oxidation methods. *Proceedings of Ninth Ozone World Congress*, June 3-9, New York, 1989.
- BRAILE, P.M., Cavalcanti, J.E.W., **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**, São Paulo, Cetesb, 1993.
- CARRIÈRE, J. et al. Decolorization of textile dye solutions. ***Ozone Science & Engineering***. v.15. p. 189 - 200. Nov. 1992.
- CETESB - Nota técnica sobre tecnologia de corante - indústria têxtil - NT 22. São Paulo, Cetesb, 1991.
- CHELKOWSKA, K e GRASSO, D. Early aqueous ozone decomposition - Progeny Speciation. *Proceedings of Ninth Ozone World Congress*, June 3-9, New York, 1989.
- CONCHON, J. A, *Tratamento de águas residuárias de indústrias têxteis*. São Paulo, Neotex Consultoria Energética e Ambiental Ltda., 1995.
- DI BERNARDO, L. *Ozonização*. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, SP, 1989, 47 p.

- DI MATTEO, Maria L. Influência da pré-ozonização na coagulação-floculação utilizando o cloreto férrico como coagulante. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) Campinas, 1992. Faculdade de Engenharia Civil - Universidade de Campinas.
- FIESC - Santa Catarina em Dados - Relatórios do Setor Econômico e Estatístico da Fundação das Indústrias de Santa Catarina. V.7. Florianópolis, 1996.
- GLAZE, W.H Evaluation of ozonation by products from two California surface water. **Journal of American Water Works Association**, 81(8): 66-73, 1989.
- _____. Drinking-water treatment with ozone. **Environ. Sci. Technol.**, 21(3): 224 - 230, 1987.
- GONÇALVES, Maria de Fátima F. Caracterização e estudo de tratabilidade pelas vias físico-químicas e biológica aeróbia dos efluentes líquidos das lavanderias industriais de Colatina. Vitória, 1996. Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal do Espírito Santo.
- GOUGH, A.J. The use of ozone to remove colour from wastewater, II-2, Wasser Berlin 1993.
- GOULD, J.P. The kinetics of ozonolysis of synthetic dyes. **Ozone : Science and Engineering**, 9 (2), p 153 - 64, 1987.
- GOULD, J.P. e ULIRSCH, G.V. Development of a structure based predictive model for overall ozonation kinetics of nitrophenols. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, 1989.
- GRAU, P. Textile industry wastewater treatment. **Water Science and Technology**. Grã-Bretanha, v 24, n°1, p 97-103, 1991.
- GUROL, M.D. Factors controlling the removal of organic pollutants in ozone reactors. **Journal of American Water Works Association**, 77(8): 55-56, 1985.
- IKEHATA, A. Dye works wastewater decolorization treatment using ozone, Ind. Symp. On Ozone Water Wastewater Treatment, Proc. 1st meeting 1973, Rip G Rice, 1975.
- JOOST, R.D; JACKSON, L.A. e BOLLYKY, J. Optimization of Ozone Contactors for Drinking Water Disinfection. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- LANGLAIS, B. et al. Ozone in water treatment - **Application and Engineering**. **Compagnie Générale des Eaux**, 1991.
- LAPLANCHE, A.; SAUZE, N.L. e LANGLAIS, B. Simulation of ozone transfer in water comparison with a pilot unit. Proceeding of Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York, 1989.
- LAPOSY, C.B. Tratamento de águas residuárias de indústrias têxteis. Monografia (Pós-Graduação em Saneamento Ambiental). São Paulo, 1995. Universidade Mackenze.
- LEJEUNE, X. Nuisances des rejets colorés - leur mesure, faut-il éliminer la couleur des eaux épurées ? Les conférences professionnelles de l'agence de l'eau Artois-Picardie, 1993.
- LIN, S.H., LIN, C.M. Treatment of textile waste effluents by ozonation and chemical coagulation. **Wat. Res.** V.27, n.12, p.1743 - 1748, 1993.
- LIU, W.Y., LIN, S.H. Treatment of textile wastewater by ozonation in a packed-bed reactor. **Environmental Technology**. V.15, p.299-311. Fev. 1994.
- MARTINS, G. B. Práticas limpas aplicadas as indústrias têxteis de Santa Catarina. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Florianópolis, 1997. Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal de Santa Catarina.
- MOTL, V. Ozonation in recycling textile wastewaters, **Studies in Environmental Sciences**, 29, p.16. 1996.
- NAYME, C. Etude de la dégradation par ozonation de deux colorants utilisés en teinture : recherche de sous-produits, études cinétiques et influence sur les applications industrielles. Rennes, 1997. Tese de doutorado n.1673 Université Rennes I.
- NEBEL, C. Ozone. In : KIRK, R.E and OTHMER, D.F (Ed.), **Encyclopedia of Chemical Technology**, 3rd edition, vol. 16, Wiley, New York, 683-713, 1981.
- RAIZER, Ernesto. Uma nova realidade para a engenharia química. **Revista Profissional** - n.0, p.16. 1996.
- RAKOCZI, F. Multistage ozone treatment of dye waste. **Ozone Sci. E Eng.** (13 91), p. 11- 21, 1991.

- RICE, R.G. Ozone for the treatment of hazardous materials. AIChE Symp. 209.79.1981
- ROCHE, M.P. Determination of the content of waste resulting from the production of dyes derived from dimethylaniline via GC/MS, oxidation and decoloration with ozone, Proc. 11th OZONE WORLD CONGRESS, IOA, San Francisco. 1993.
- SCHULHOF, P. e SMITH, P.D Generation of Ozone .Proceedings of the International Ozone Symposium September, Rio de Janeiro, Brazil, 1988.
- SENS, M. e LAPLANCHE, A. Effets des anions minéraux sur la decomposition de l'ozone dans l'eau. Monografia. Université Rennes I.
- SIMONET, G. Guide des Techniques de l'Enoblissement textile Cap. V - l'Eau dans l'Enoblissement. SPIET. 1982.
- SOARES, Marcelo M. Aposta no futuro. Expressão - economia e empresas n.22, p. 8-15. 1992.
- SOTELO, J.L et al. Henry's Law Constant for the Ozone-Water System. Water Research, 1989.
- THOMPSON, D.M. et al. Testing and Design Considerations for ozone application at Fort Lauderdale, Flórida. Proceedingd of Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York, 1989.
- TINCHER, W.C. Toward zero discharge from textile dyeing industry, Proceedings of the water reuse Symposium, vol. Date 1981 (1), p 533 - 43, 1982.
- TOFFANI, G. et al. Ozone for the treatment of combined municipal and industrial effluents. II-2, Wasser Berlin 1993.
- Aspectos do Tratamento de Efluentes Líquidos Têxteis no Brasil e na Alemanha: Uma Comparação : Parte 1, in **Revista Têxtil**, Ed. 1, Fev/Mar 95.