

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**EMPREGO DA FLOTAÇÃO POR AR
DISSOLVIDO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES
DE LAVAGEM DE VEÍCULOS VISANDO A
RECICLAGEM DA ÁGUA**

Priscila da Cunha Teixeira

Campinas

2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**EMPREGO DA FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO NO
TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVAGEM DE VEÍCULOS
VISANDO A RECICLAGEM DA ÁGUA**

Priscila da Cunha Teixeira

Orientador: Carlos Gomes da Nave Mendes

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Meio Ambiente.

Campinas, SP

2003

iii

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**EMPREGO DA FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO NO
TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVAGEM DE VEÍCULOS
VISANDO A RECICLAGEM DA ÁGUA**

AUTORA: Priscila da Cunha Teixeira

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

**Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes
Presidente e Orientador
FEC/UNICAMP**

**Prof. Dr. José Roberto Guimarães
FEC/UNICAMP**

**Prof. Dr. Durval Rodrigues de Paula Jr
FEAGRI/UNICAMP**

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

T235e	Teixeira, Priscila da Cunha Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água / Priscila da Cunha Teixeira. --Campinas, SP: [s.n.], 2003. Orientador: Carlos Gomes da Nave Mendes. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. 1. Reciclagem. 2. Floculação. 3. Flotação. I. Mendes, Carlos Gomes da Nave. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.
-------	--

Dedicatória

À minha família, meu companheiro Ramón, meu filho Tomás, meus pais Marco e Elza, minha avó Ruth, meus irmãos Vanessa e Danilo pelo amor e apoio emocional durante a realização de mais um importante passo na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Carlos Gomes da Nave Mendes, pela paciência infindável e constante apoio, com diretrizes seguras e permanente orientação;

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado;

Ao meu companheiro Ramón, pelo apoio irrestrito em todos os aspectos, tanto emocionais , quanto profissionais;

Aos meus pais, Marco e Elza, pela paciência e compreensão durante os momentos difíceis;

À Lourdes e à minha irmã Vanessa por terem ajudado a cuidar do meu filho nos momentos em que tive que trabalhar nessa pesquisa;

Aos funcionários do departamento de transportes da UNICAMP, Claudinei, Ismael e Francisco pela indispensável ajuda na coleta das amostras;

Aos funcionários e estudantes do Departamento de Saneamento e Ambiente da FEC-UNICAMP, Enelton, Mary, Álvaro, Adriano, Carol, Geórgia pela amizade, atenção e colaboração com o trabalho;

À funcionária da biblioteca da engenharia da UNICAMP, Rose, pela grande colaboração na revisão bibliográfica;

Às empresas Pan-americana S.A., SANASA e SAEF, pela doação de produtos químicos;

Aos professores do Departamento de Saneamento e Meio Ambiente, pelos ensinamentos profissionais e pessoais.

Modéstia

Olavo Bilac

Se a todos os condiscípulos
te julga superior,
esconde o mérito, e cala-te
sem ostentar teu valor.
Valem mais que a inteligência,
a constância e a aplicação:
sê modesto! Estuda, aplica-te,
e foge da ostentação!
Mais vale o mérito próprio
sentir, guardar e ocultar:
porque o verdadeiro mérito
não gosta de se mostrar.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 - CONCEITOS E DEFINIÇÕES.....	6
3.1.1 - <i>As diferenças entre o reúso e a reciclagem da água</i>	8
3.1.2 - <i>Os tipos de reciclagem de água</i>	14
3.2 - NORMAS, RECOMENDAÇÕES E PADRÕES DE QUALIDADE	15
3.2.1 - <i>Normas para o reúso de água</i>	15
3.2.2 - <i>A qualidade da água a ser reciclada na lavagem de veículos</i>	17
3.2.3 - <i>Recomendações para o lançamento de efluentes de lavagem de veículos</i>	20
3.3 - DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS	22
3.4 - OS BENEFÍCIOS E PROBLEMAS DA RECICLAGEM DE EFLUENTES DE LAVAGENS DE VEÍCULOS	26
3.5 - CARACTERÍSTICAS DE EFLUENTES GERADOS NA LAVAGEM DE VEÍCULOS	27
3.6 - PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS MAIS EMPREGADOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVAGENS DE VEÍCULOS.	32
3.6.1 - <i>Generalidades sobre os sistemas coloidais e as emulsões</i>	35
3.6.2 - <i>Coagulação</i>	37
3.6.3 - <i>Floculação</i>	39
3.6.4 - <i>Flotação</i>	42
3.6.4.1. - <i>Flotação por ar dissolvido</i>	45
3.6.4.2 - <i>Aderência das partículas nas microbolhas de ar</i>	47
3.6.4.3 - <i>Projeto de unidades de FAD</i>	48
3.6.4.4 - <i>Relação A/S</i>	49

3.6.4.5 - Taxa de escoamento superficial.....	50
3.6.4.6 - O tratamento e a reciclagem de efluentes com FAD	51
3.7 - OUTRAS TECNOLOGIAS	56
3.7.1 - Membranas.....	56
3.7.2 Biodegradação	57
3.7.3 Outros.....	58
4. METODOLOGIA.....	61
4.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	61
4.2 – EQUIPAMENTOS	62
4.3 – PRODUTOS QUÍMICOS.....	63
4.4 – COLETA DAS AMOSTRAS.....	66
4.5 - ENSAIOS NO FLOTESTE	67
4.6 – SÉRIE A: TESTES PRELIMINARES PARA ESCOLHA DO COAGULANTE	73
4.7 – SÉRIE B: CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE COAGULAÇÃO	75
4.8 - SÉRIE C: INFLUÊNCIA DO USO DE POLIELETRÓLITOS NA REMOÇÃO DE TURBIDEZ	76
4.9 – SÉRIE D: INFLUÊNCIA DA AÇÃO CONJUNTA DE PAC + POLIELETRÓLITO SOBRE A REMOÇÃO DE TURBIDEZ, COR VERDADEIRA, COR APARENTE DQO E DQO FILTRADA	77
4.10 – SÉRIE E: OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS QUE GOVERNAM A FLOCULAÇÃO E A FLOTAÇÃO	78
4.11 – SÉRIE F: COMPARAÇÃO ENTRE A FLOTAÇÃO E A SEDIMENTAÇÃO	81
4.12 – MONITORAÇÃO DOS ENSAIOS	85
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	88
5.1 – A.SÉRIE A: TESTES PRELIMINARES PARA A ESCOLHA DO COAGULANTE.....	88
5.2 – B.SÉRIE B: CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE COAGULAÇÃO	90
5.3 – C.SÉRIE C: INFLUÊNCIA DO USO DE POLIELETRÓLITOS NA REMOÇÃO DE TURBIDEZ.....	94
5.4 – A INFLUÊNCIA DA AÇÃO CONJUNTA DE PAC + POLIELETRÓLITO SOBRE A REMOÇÃO DE TURBIDEZ, COR VERDADEIRA, COR APARENTE, DQO E DQO FILTRADA	96
5.5– SÉRIE E: OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS QUE GOVERNAM A FLOCULAÇÃO E A FLOTAÇÃO	103
5.6 – SÉRIE F: CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS BRUTAS E CLARIFICADAS, E COMPARAÇÃO ENTRE A FLOTAÇÃO E A SEDIMENTAÇÃO	109
6. CONCLUSÕES	115
7. RECOMENDAÇÕES	117
ANEXO- A	119
ANEXO- B	127
ANEXO- C	135
ANEXO- D	141
ANEXO- E	161
Referências bibliográficas	165

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 3.1 – Configuração simplificada de um sistema de abastecimento de água potável, rede coletora de esgotos e redes duplas de distribuição para o reúso de água	9
Figura 3.2 – Configuração simplificada de um possível sistema de reciclagem de água num posto de combustíveis	12
Figura 3.3 – Equipamento modular com sistema de reciclagem de água para a máquina de papel	13
Figura 3.4 - Níveis de tratamento de esgoto sugeridos dependendo da finalidade do reúso de água	16
Figura 3.5 – Lavagem de carro do tipo “Túnel”, com sujeira sendo mecanicamente removida por escovas	24
Figura 3.6 – Lavagem de carro do tipo “Túnel” com sujeira sendo mecanicamente removida por jatos de alta pressão	24
Figura 3.7 – Jatos de alta pressão durante a lavagem de um veículo	24
Figura 3.8 – Lavagem de carro do tipo “Rollover”	25

Figura 3.9 - Efeito do polieletrólito “Tolfloc 398” na desemulsificação de efluente sintético com óleo	
Concentração de óleo total = 950 mg/L, SS = 3500 mg/L, pH = 9,0	41
Figura 3.10 - Efeito do Tolfloc 398 sobre a remoção de sólidos em suspensão e DQO. Concentração de óleo total = 895 mg/L, SS = 3500 mg/L, pH = 8,8	41
Figura 3.11 - Efeito do pH sobre a estabilidade da emulsão. Concentração de óleo total = 900 mg/L, SS = 3500 mg/L	42
Figura 3.12 - Esquema geral de uma unidade de por ar dissolvido	46
Figura 3.13 - O efeito da dosagem de sulfato férrico na concentração de óleo residual em diferentes valores de pH	54
Figura 3.14 - A concentração de óleo residual e o potencial zeta em função da dosagem de sulfato de alumínio em um valor de pH = 8	54
Figura 3.15 - A concentração de óleo residual e o potencial zeta em função da dosagem de sulfato férrico em um valor de pH = 7	55
Figura 3.16 - Esquema de tecnologia modular para o tratamento de efluentes de lavagem de veículos	59
Figura 4.1 – Equipamento de floteste	62
Figura 4.2 – Turbidímetro, condutivímetro, pHmetro e colorímetro	63
Figura 4.3 – Lavagem de veículos automática na UNICAMP	67
Figura 4.4 – Vista esquemática do equipamento de Floteste utilizado nos ensaios de bancada	69
Figura 4.5 – Câmara de pressurização e recirculação	70
Figura 4.6 – Mistura rápida	70
Figura 4.7 – Floculação	71
Figura 4.8 – Introdução de água saturada com ar	71
Figura 4.9, 4.10 e 4.11 – Seqüência que ilustra o fim da recirculação; início da clarificação do subnadante; formação da camada de lodo na superfície e clarificação do subnadante	72
Figura 4.12 – Ensaio de sólidos sedimentáveis no cone de Inhoff	81

Figuras 4.13 e 4.14 – Ensaio de flotação e de sedimentação, respectivamente.	82
Figura 4.15 – Fluxograma dos experimentos a serem realizados	87
Figura 5.1 — Comparação da turbidez remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação entre dois tipos de PAC (Panfloc Hiper Plus e Panfloc AP)	89
Figura 5.2 – Diagrama de coagulação para água de lavagem de veículos- Percentagem de turbidez remanescente em função da dosagem de PAC e do pH de coagulação	92
Figura 5.3 – Diagrama de coagulação para água de lavagem de veículos- Percentagem de turbidez remanescente em função da dosagem de PAC e do pH de coagulação	93
Figura 5.4 – Comparação da eficiência de remoção de turbidez entre resultados obtidos variando a dosagem e tipo de polieletrólitos, para efluentes brutos coletados em dias distintos	95
Figura 5.5 – Variação da turbidez remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante PAC e do polieletrólito G999	97
Figura 5.6 – Variação da cor aparente remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante PAC e do polieletrólito	97
Figura 5.7 – Variação da cor verdadeira remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante PAC e do polieletrólito G999	98

Figura 5.8 – Valores remanescentes de turbidez, em função da variação da dosagem de polímeros (G 999 e W360),	
Dosagem de coagulante (PAC) de 30 mg/L	98
Figura 5.9 – Valores de cor aparente remanescente , em função da variação da dosagem de polímeros (G 999 e W360),	
Dosagem de coagulante (PAC) de 30 mg/L	99
Figura 5.10 – Valores de cor verdadeira remanescente , em função da variação da dosagem de polímeros (G 999 e W360).	
Dosagem de coagulante (Panfloc Hiper Plus) de 30 mg/L	99
Figura 5.11 – Valores remanescentes DQO _f e do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante Panfloc Hiperplus e do polieletrólito G999	101
Figura 5.12 – Valores remanescentes DQO _f e DQO para a dosagem de coagulante (PAC) variando entre 30 e 60 mg/L e a dosagem polieletrólito (W360) variando de 0 a 1,6 mg/L	102
Figura 5.13 – Valores remanescentes de turbidez em função do tempo de floculação para os gradientes de velocidade de 50 e 100 s ⁻¹	103
Figura 5.14 – Valores remanescentes de cor aparente em função do tempo de floculação para os gradientes de velocidade de 50 e 100 s ⁻¹	104
Figura 5.15 – Valores remanescentes de DQO em função do tempo de floculação para os gradientes de velocidade de 50 e 100 s ⁻¹	104
Figura 5.16 - Valores remanescentes de turbidez em função da velocidade ascensional para os volumes de recirculação de 5% a 20%	106

Figura 5.17- Valores remanescentes de cor aparente em função da velocidade ascensional para os volumes de recirculação de 5% a 20%	106
Figura 5.18 - Valores remanescentes de DQO filtrada em função da velocidade ascensional para os volumes de recirculação de 5% a 20%	107
Figura 5.19 - Valores remanescentes de DQO em função da velocidade ascensional para os volumes de recirculação de 5% a 20%	107
Figura a.1 - Variação da turbidez remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante cloreto férrico	121
Figura a.2 - Variação da turbidez remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante sulfato de alumínio	123
Figura a.3 - Variação da turbidez remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante Panfloc Hiper Plus	125
Figura d.1 – Comparação da eficiência da remoção de turbidez entre o resultado obtido variando a dosagem de coagulante (PAC) e polieletrólito (G999)	144
Figura d.2 – Comparação da eficiência da remoção de turbidez entre o resultado obtido variando as dosagens de coagulante (PAC) e polieletrólito (G999)	144
Figura d.3 – Comparação da eficiência da remoção de turbidez entre os resultados obtidos variando a dosagem de coagulante (PAC) e polieletrólito (G999)	148
Figura d.4 – Comparação da eficiência da remoção de turbidez entre os resultados obtidos variando a dosagem de coagulante (PAC) e de polieletrólito (G999)	148
Figura d.5 – Valores remanescentes de turbidez, cor aparente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante PAC e do polieletrólito G999. Água bruta: Turbidez = 120 uT	153

Figura d.6 – Valores remanescentes de DQO filtrada, turbidez e cor verdadeira para a dosagem de 10, 30 e 60 mg/L do coagulante PAC, mantendo-se a dosagem de 1 mg/L do polímero G 999.	154
Figura d.7 – Valores remanescentes de DQO filtrada, em função da variação da dosagem de coagulante (PAC) e, polímero (G 999)	154
Figura d.8 –.Valores remanescentes de DQO filtrada, em função da variação das dosagens de coagulante (PAC) e, de polímeros (G 999 e W360)	156
Figura d.9 – Valores remanescentes de DQO filtrada, em função da variação da dosagem de polímeros (G 999 e W360). Dosagem de coagulante (PAC) de 30 mg/L	157
Figura d.10 – Valores remanescentes , em função da variação da dosagem de coagulante (PAC) Dosagem de polímero (W360) de 1,2 mg/L	157
Figura d.11 – Valores remanescentes , em função da variação da dosagem de polímero (W360) .Dosagem de coagulante PAC de 60 mg/L	158
Figura d.12 – Valores remanescentes de turbidez, cor e DQO filtrada, para a dosagens fixas de coagulante (PAC) de polímeros (G 999 e W360)	158
Figura d.13 –.Valores remanescentes de turbidez, cor e DQO filtrada, e DQO para a dosagem de coagulante (PAC) variando entre 30 e 60 mg/L e a dosagem polieletrólito (W360) variando de 0 a 1,6 mg/L	160

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 3.1- Categorias do Reúso de água e suas aplicações13gem de veículos	10
Tabela 3.2- Sugestões e critérios para o reúso de esgoto sanitário	18
Tabela 3.3 - Limitações para efluentes de lavagens dos veículos e lavanderias	21
Tabela 3.4 - Vazão e capacidade para diferentes processos de lavagem de veículos	25
Tabela 3.5 – Características qualitativas de águas residuárias de diferentes tipos de lavagens de veículos	33
Tabela 3.6 – Quantidades estimadas de poluentes orgânicos (mg) utilizados em um ciclo de lavagem de veículos antes e depois do tratamento parcial por separadores de óleo	34
Tabela 3.7 - Composição das águas de lavagem de veículos e aviões, casa de máquinas e depósitos do exército americano	40
Tabela 3.8 - Concentração de poluentes após o tratamento do efluente de lavanderia com o uso de: polieletrólitos + coagulação + flotação por ar dissolvido + filtração + reciclagem do efluente	52
Tabela 4.1 – Características e especificações do hidroxiclreto de alumínio PANFLOC HIPER PLUS	64
Tabela 4.2 – Características e especificações do hidroxiclreto de alumínio PANFLOC AP	64
Tabela 4.3 – Parâmetros fixos dos ensaios de floteste da série A	74
Tabela 4.4 – Parâmetros fixos dos ensaios de floteste da série B	75
Tabela 4.5 – Parâmetros fixos dos ensaios de floteste da série C	77
Tabela 4.6 – Parâmetros fixos dos ensaios de floteste da série D	78

Tabela 4.7 – Parâmetros fixos dos ensaios de floteste na otimização dos parâmetros de floculação (série E)	79
Tabela 4.8 – Programação dos ensaios de otimização dos parâmetros de flotação	80
Tabela 4.9 – Parâmetros fixos dos ensaios de floteste na otimização dos parâmetros de flotação (série E)	80
Tabela 4.10 – Parâmetros fixos dos ensaios de flotação (série F)	82
Tabela 4.11 – Parâmetros fixos dos ensaios de sedimentação (série F)	83
Tabela 4.12 – Parâmetros monitorados durante os experimentos	86
Tabela 5.1 - Resultados dos ensaios de coagulação, floculação seguidos da flotação ou sedimentação e caracterização da água bruta e clarificada	111
Tabela a.1 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de cloreto férrico variáveis	120
Tabela a.2 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de cloreto férrico variáveis	120
Tabela a.3 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de cloreto férrico variáveis	121
Tabela a.4 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de sulfato de alumínio variáveis	122
Tabela a.5 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de sulfato de alumínio variáveis	122
Tabela a.6 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de sulfato de alumínio variáveis	123
Tabela a.7 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de PAC variáveis	124
Tabela a.8 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de PAC variáveis	124
Tabela a.9 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de PAC variáveis	125
Tabela a.10 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus e Panfloc AP) variável	126
Tabela b.1 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 50 mg/L	128
Tabela b.2 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 30 mg/L	128

Tabela b.3 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 70 mg/L	129
Tabela b.4 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 40 mg/L	129
Tabela b.5 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 20 mg/L	130
Tabela b.6 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 10 mg/L	130
Tabela b.7 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 50 mg/L	131
Tabela b.8 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 10 mg/L	131
Tabela b.9 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 5 mg/L	132
Tabela b.10 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 25 mg/L	132
Tabela b.11 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 35 mg/L	133
Tabela b.12 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L	133
Tabela b.13: Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) variando de 20 a 70mg/L	134
Tabela c.1 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e de polieletrólitos na dosagem de 0,5 mg/L. Água bruta: Turbidez = 39,7 uT	136
Tabela c.2 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e de polieletrólitos na dosagem de 0,25 mg/L. Água bruta: Turbidez = 39,7 uT	137
Tabela c.3 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e de polieletrólitos na dosagem de 0.5 mg/L. Água bruta: Turbidez = 60 uT	138
Tabela c.4 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e de diferentes polieletrólitos na dosagem de 0,25 mg/L. Turbidez inicial de 60 uT	139

Tabela d.1 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1 mg/L	142
Tabela d.2 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 25 e 40 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0,4 a 1,5 mg/L	143
Tabela d.3 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1 mg/L	145
Tabela d.4 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 30 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1 mg/L	146
Tabela d.5 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 10 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1,6 mg/L	147
Tabela d.6 - Valores de cor , turbidez e condutividade resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1,0 mg/L	149
Tabela d.7 - Valores de cor , turbidez e condutividade resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 30 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1,2 mg/L	150
Tabela d.8 - Valores de cor , turbidez e condutividade resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 10 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1,6 mg/L	151
Tabela d.9 - Valores remanescentes de cor , turbidez e DQO filtrada resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) variando de 0 a 60 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1,2 mg/L.	152

Tabela d.10 - Valores de cor , turbidez e DQO filtrada resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) variando de 0 a 60 mg/L e dosagem dos polieletrólitos (G 999 e W360) variando de 0 a 1,6 mg/L	155
Tabela d.11 - Valores remanescentes de cor , turbidez e DQO filtrada resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação. Dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) variando de 0 a 60 mg/L e dosagem dos polieletrólitos (G 999 e W360) variando de 0 a 1,6 mg/L. Água bruta: Turbidez = 74,4 uT; DQO filtrada = 67,9 mg/L; Cor aparente = 518 uT; Cor verdadeira = 29 uC.	156
Tabela d.12 - Valores de cor , turbidez e DQO filtrada resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) variando de 30 e 60 mg/L e dosagem do polieletrólito (W360) variando de 0 a 1,6 mg/L	159
Tabela d.13 - Valores remanescentes de cor aparente, turbidez e DQO filtrada resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) variando entre 30 e 60 mg/L e a dosagem polieletrólito (W360) variando de 0 a 1,6 mg/L. Água bruta: Turbidez =54 uT; DQO filtrada = 37,2 mg/L; DQO = 88,2 mg/L; Cor aparente = 424 uT.	160
Tabela e.1 - Valores de cor aparente, turbidez, DQO filtrada e DQO resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem fixa de coagulante (Panfloc Hiper Plus) e de polieletrólito (W360) , com gradiente de velocidade de 50 s ⁻¹ e variando o tempo de floculação	162
Tabela e.2 - Valores de cor aparente, turbidez, DQO filtrada e DQO resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem fixa de coagulante (Panfloc Hiper Plus) e de polieletrólito (W360) , com gradiente de velocidade de 100 s ⁻¹ e variando o tempo de floculação	163
Tabela e.3 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação, variando-se os parâmetros de flotação VA e R%	164

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Aquil benzeno sulfonado
A_{jarro}	Área horizontal do jarro de floteste
A/S	Razão ar/sólidos
COT	Carbono orgânico total
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DBO ₇	Demanda bioquímica de oxigênio. Medida a 7 dias.
DQO	Demanda química do oxigênio
e	Espessura da camada de lodo
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto

f	Fração de ar dissolvido à pressão P
FAD	Flotação por ar dissolvido
Gf	Gradiente de velocidade de floculação
Gmr	Gradiente de velocidade de mistura rápida
LAS	Aquil benzeno sulfonado de cadeias lineares
M _{bruta}	Massa da amostra bruta
M _{flo}	Massa da amostra clarificada por flotação
M _{lodo}	Massa de lodo
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
pH	potencial hidrogeniônico
pH in	pH do efluente medido após a adição de soluções padronizadas 0,1 N de ácido clorídrico e hidróxido de sódio e antes da mistura rápida
pH final	pH do efluente medido após o ensaio no floteste
pH coagulação	pH do efluente medido durante o período de coagulação no ensaio de floteste

Q	Vazão do líquido
R	Taxa de recirculação
sa	Solubilidade do ar na temperatura do efluente
SDF	Sólidos Dissolvidos Fixos
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SDV	Sólidos Dissolvidos Voláteis
SSF	Sólidos em suspensão fixos
SST	Sólidos em suspensão totais
SSV	Sólidos em suspensão voláteis
ST _{bruta}	Sólidos totais da amostra bruta
ST _{flo}	Sólidos totais da amostra clarificada por flotação
ST _{lodo}	Sólidos totais do lodo
STF	Sólidos totais fixos
STV	Sólidos totais voláteis
Tf	Tempo de floculação
Tmr	Tempo de mistura rápida

T_{sol}	Teor de sólidos na lâmina de lodo
T_{sat}	Tempo de saturação
V_a	Velocidade ascensional
V_{ad}	volume de efluente adicionado ao jarro de floteste
V_{casc}	Velocidade ascensional crítica
V_R	Volume de recirculação
TES	Taxa de escoamento superficial

SÍMBOLOS

°C	Graus centígrados
g	Grama
G	Gradiente de velocidad
h	hora
kg	Quilograma
L	Litro
m	Metro
dm	Decímetro
mg	Miligramo
mL	Mililitro

s	Segundos
μ	Mícron (10^{-6})
μg	Micrograma
μm	Micrômetro
kPa	Quilopascal
uC	Unidade de cor
uT	Unidade de turbidez

RESUMO

TEIXEIRA, P. C. (2003). *Emprego da Flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água*. Campinas, 2003, 171 p.
Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o desempenho da flotação por ar dissolvido (FAD) na remoção dos principais poluentes em águas residuárias provenientes de instalações de lavagem automática de veículos. Foram realizados testes de bancada, em reatores intermitentes (batelada), utilizando aparelho de floteste. Na primeira etapa, variaram-se o pH e a dosagem de três tipos de coagulante, cloreto férrico, sulfato de alumínio e PAC. Os melhores resultados foram obtidos com o PAC em dosagens entre 50 a 70 mg/L numa faixa de pH entre 7,3 e 8,5. Depois foram testados a eficiência de vários tipos de polieletrólitos como auxiliares de floculação em termos de redução de Demanda Química de Oxigênio, turbidez e cor. Verificou-se que o emprego de polieletrólitos catiônicos é útil como auxiliar de floculação, principalmente sob o aspecto de ganhos na eficiência de remoção de substâncias causadoras de DQO, sem, contudo, permitir a redução de dosagens do coagulante primário. Foram otimizados os parâmetros de floculação, sendo que, os melhores valores foram obtidos com o emprego de um gradiente de 50 s^{-1} num período de 13 minutos. Quanto aos parâmetros de flotação, as eficiências de remoção de turbidez, cor aparente e DQO foram maximizadas quando se emprega uma taxa de escoamento superficial limitada a $72 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e vazões de recirculação superiores a 5 %. Sob as mesmas condições de coagulação e floculação, o desempenho da FAD foi superior ao manifestado pela decantação, mesmo empregando uma taxa de escoamento superficial maior para a flotação. Em geral, o processo de FAD produziu efluentes com turbidez, cor e DQO baixas, o que indica o potencial do uso desta tecnologia para a reciclagem da água.

Palavras-chave: reciclagem, floculação; flotação por ar dissolvido; lavagem de veículos.

ABSTRACT

TEIXEIRA, P. C. (2003). *Study of Dissolved-air flotation as a treatment for carwash effluents aiming at its water recycling*. Campinas, 2003, 171 p. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

The emphasis of this present research work was to evaluate the removal efficiencies of suspended solids and general organic matter from carwash effluent treatment by dissolved air flotation. The experiments were performed in a batch type lab-scale dissolved air flotation installation (floteste). During the initial phase of the study, pH values and coagulant doses were varied. The coagulants tested were ferric chloride, alum and PAC. The best removal efficiencies were obtained with a PAC dose of 50 to 70 mg/L in a pH value between 7,3 and 8,5. Next, several types of polyelectrolytes were investigated as floc builders and the parameters analysed were Chemical Oxygen Demand, turbidity and colour. The results indicate that cationic polyelectrolytes were effective as a flocculation aid, especially in the COD removal. But the performance of COD removal decreased when the coagulant doses are reduced, even with the use of polyelectrolytes. The flocculation and flotation parameters were optimised for turbidity, colour and COD removals. The best conditions were found to be a velocity gradient of 50 s^{-1} and a time of 13 minutes for flocculation, a hydraulic loading of $72 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ and a recycle flow of, at least, 5 % for flotation. Fixing the same coagulation/flocculation conditions, except for hydraulic loading, the DAF performances were compared with sedimentation. The DAF method was more effective in most of the studied parameters, even with a higher hydraulic load. In general, the DAF process produced an effluent with low turbidity, colour and COD values, which clearly indicates the high potential of this technology in the water recycling.

Keywords: water recycling, flocculation; dissolved air flotation; coagulation; carwash

1. INTRODUÇÃO

A reciclagem é uma terminologia geralmente aplicada a diferentes materiais utilizados pelas operações humanas, tais como o alumínio na forma de latas, garrafas de vidro, papéis, porém a água também pode ser reciclada.

Primeiramente, observa-se que a água é reutilizada durante milhões de anos na natureza. Atualmente, desenvolvem-se projetos tecnológicos para “apressar” estes processos naturais. O assunto é alvo de atenção em todo o mundo visto que a água torna-se um recurso escasso.

O reúso da água se tornou um item estratégico na gestão de recursos hídricos, pois pode substituir a água potável por uma água de qualidade inferior causando a redução na demanda sobre os mananciais.

Em 1958, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas, formulou uma política de gestão de áreas carentes de recursos hídricos que suporta o seguinte conceito: "a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas com qualidade inferior". Isto, implica a prática do reúso; o efluente a ser reaproveitado não necessita de um tratamento superior ao mínimo necessário para o fim específico a que se destina.

Existem projetos de reúso de esgoto sanitário em diversas áreas como agricultura, irrigação, indústria, recarga do aquífero subterrâneo e outros. Quanto à reciclagem da água, a sua

ocorrência é mais comum em nível industrial. No entanto, podem ser encontrados vários projetos em outros tipos de instalações, como no interior de edifícios (ANDERSON, 1996), em fazendas (WILLERS *et al*, 1999) e em lavagem de veículos (PRIOR, 2000).

A escassez de água tem causado impactos na indústria de lavagem de veículos nos Estados Unidos. As regulamentações tornam-se cada vez mais exigentes quanto ao descarte de efluentes e os consumidores tomam consciência da necessidade de proteção dos recursos naturais.

Para ALLEN & WEBER (1978) é desejável, às vezes obrigatório, reaproveitar a água durante a operação de lavagens de veículos. A reciclagem de água e sabão pode ser lucrativa, possibilitando o corte de custos da água em 70% e de detergente em 90%.

Assim como nos Estados Unidos, as leis brasileiras tornam-se cada vez mais restritas. Num momento em que se fala muito em racionamento de água, a lavagem de veículos apresenta um alto consumo deste recurso natural, podendo atingir um volume de 260 L por veículo (U.S.EPA, 1980). Além disso, seu efluente nem sempre tem a disposição final adequada.

Grande parte das máquinas de lavar veículos localizam-se em postos de combustíveis, os quais têm enfrentado crescentes problemas quanto ao lançamento de seus efluentes. Como muitos estabelecimentos não possuem rede de esgotos, é comum a ocorrência do seu descarte no sistema de águas pluviais, o que certamente não é recomendável.

Quanto à captação, utiliza-se água potável da rede pública de abastecimento ou retira-se água de poços profundos, situação que pode contribuir para futuras limitações na disponibilidade de água subterrânea. Só na cidade de Campinas, são aproximadamente 300 postos de combustíveis cadastrados na SANASA (Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento), que retiram água de poços. Os custos com tarifas de consumo de água potável e afastamento e coleta de esgotos são crescentes. Por todas estas razões, um sistema eficiente, que permita a reciclagem de efluentes das lavagens de veículos poderia amenizar tais problemas.

A tecnologia de reciclagem de efluentes da lavagem de automóveis encontra-se avançada em outros países (ALLEN *et al.*, 1978; HART , 2001; KOO, 2001; LAUGHIN *et al.*, 2001; PRIOR, 2000; SECEROV-SOKOLOVIC *et al.*, 1992), enquanto no Brasil ainda é incipiente. É possível encontrar algumas iniciativas no país em empresas de transporte coletivo, fábrica de automóveis e postos de combustíveis.

Há a necessidade da aplicação deste tipo de tecnologia à realidade do país para tornar a sua aplicação viável às pequenas empresas, como os postos de combustíveis. Por isso, é um grande desafio aprimorar técnicas de reciclagem de água em estabelecimentos de pequeno porte. Estas devem diminuir os riscos de contaminação e ao mesmo tempo privilegiar um baixo custo de implantação e operação.

A escolha de um sistema de tratamento adequado que permite a reciclagem não é uma metodologia simples. Cada caso exige uma solução específica. A seleção adequada dos equipamentos e técnicas deve providenciar, como citado anteriormente, uma água com a qualidade necessária a um menor custo possível. Muitos fatores devem ser considerados, destacando-se os seguintes:

- Tipos e concentração dos contaminantes presentes no efluente;
- Qualidade que a água deve atingir após o tratamento;
- Vazão de água a ser tratada;
- Método e opções que ofereçam um baixo custo/benefício.

O propósito deste estudo é testar e viabilizar o uso de um tratamento físico-químico, a flotação por ar dissolvido, para a reciclagem da água proveniente de um sistema de lavagem de veículos.

A pesquisa foi realizada em escala de bancada, cujos resultados poderão ser úteis, posteriormente, em uma unidade piloto de flotação por ar dissolvido, que testará a sua eficiência no tratamento e reciclagem desse tipo de efluente.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi investigar, em experimentos realizados em escala de bancada, o desempenho do tratamento físico-químico por coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido (FAD) na remoção dos principais poluentes, presentes em águas residuárias provenientes de instalações de lavagem automática de veículos, verificando-se a possibilidade de reciclagem do efluente tratado.

Os principais objetivos específicos são:

- Verificação preliminar da influência das condições de coagulação/floculação (pH e dosagem de coagulante) na eficiência da flotação e determinação da dosagem ótima de coagulante;
- Comparar a remoção de poluentes utilizando diferentes coagulantes e verificar qual demonstra maior potencial de aplicação ao caso;
- Determinar a eficiência de remoção dos principais poluentes, avaliados em termos de turbidez, cor, demanda química de oxigênio (DQO), óleos e graxas, sólidos totais, sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos;
- Determinar as melhores condições operacionais num sistema de FAD, tais como: porcentagem de recirculação e velocidade de flotação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica abordando o reúso da água, suas recomendações gerais e específicas para o caso do efluente em estudo, e métodos de tratamento para remoção dos poluentes encontrados neste tipo de despejo. Alguns artigos citados se referem a efluentes gerados de forma semelhantes, visto que na literatura disponível não são encontradas muitas publicações sobre os despejos de lavagem de veículos.

Uma descrição da indústria de lavagem de veículos é realizada, além das características dos efluentes gerados.

São introduzidos os principais conceitos sobre a tecnologia escolhida para este estudo; a flotação por ar dissolvido. Posteriormente, são citadas as principais tecnologias existentes para o tratamento e reúso desse tipo de efluente.

3.1 - Conceitos e Definições

Há várias definições de reúso de água na literatura. Alguns autores utilizam termos como reciclagem, recirculação e reaproveitamento. Na maioria dos casos, são utilizados como sinônimos (ANDERSON, 1996; USEPA, 1998).

- Para SILVA (2000), o reaproveitamento ou reúso é o processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para o mesmo ou outro fim, direta ou indiretamente, decorrente de ações planejadas ou não. O autor utiliza os seguintes conceitos:
- Reúso potável direto: ocorre quando o esgoto sanitário recebe um tratamento avançado de modo a atingir os padrões de potabilidade. Pode então ser disponibilizado num sistema público de abastecimento. Como o investimento para sua implantação é alto, são raros os exemplos deste tipo de reúso no mundo
- Reúso indireto não planejado: ocorre quando a água utilizada por alguma atividade humana, retorna ao ciclo hidrológico, sofrendo diluição e autodepuração e sendo reutilizada posteriormente de forma não intencional e não controlada.
- Reúso indireto planejado: ocorre quando o esgoto tratado é lançado de forma planejada no meio ambiente, isto é, nos corpos de água superficiais ou subterrâneas, para serem utilizadas a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. Como por exemplo, pode-se citar a recarga de aquíferos na Califórnia. Durante a década de 60, houve uma redução no nível do aquífero, causada pela exploração da água pela irrigação das plantações de laranja. Para revitalizar o manancial, foi criada uma usina-piloto para purificar o esgoto e injetá-lo de volta ao solo para reabastecer o lençol.
- Reúso direto planejado das águas (ou reúso direto não potável): ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local de reúso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso da água destinando-se ao reúso na indústria ou irrigação.
- Reciclagem da água: é o reúso interno da água, antes de sua descarga em um sistema público de coleta de esgotos ou outro local de disposição. É um caso particular do reúso direto

planejado.

Segundo HENSTOCK (1985) apud COSTANZI (2000) o termo *reciclabilidade* é a capacidade que o resíduo possui para produzir materiais recicláveis e viáveis financeiramente e ambientalmente.

3.1.1 - As diferenças entre o reúso e a reciclagem da água

Na literatura, principalmente a que publica padrões de qualidade, muitas vezes não se distingue o reúso da água com redes de distribuição duplas da reciclagem de água. Neste trabalho estes termos serão diferenciados.

Como pode ser verificado na Figura 3.1, a água potável é conduzida aos diversos locais por meio das redes de abastecimento. Após o uso da água, esta é descartada e conduzida a uma estação de tratamento de esgotos pela rede coletora de esgoto sanitário. O esgoto tratado pode ser descartado nos corpos d'água ou ter um tratamento adicional, visando obter uma água para fins não potáveis. Após atingir os padrões de qualidade recomendados para o reúso, a água será conduzida aos locais de consumo por outras tubulações que não são as da rede pública de abastecimento de água. Estas tubulações são denominadas redes duplas de distribuição.

Logo, o reúso da água ocorre quando o esgoto sanitário, depois de sofrer um tratamento adicional ao realizado nas estações de tratamento de esgoto, é conduzido, pelas redes duplas de distribuição, ao local de consumo. Os padrões de qualidade para o reúso são estabelecidos em função de tipo de consumo e do nível de exposição humana a água. Alguns padrões de reúso serão apresentados posteriormente, no item 3.2. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, U.S.EPA (1992) descreve as diferentes categorias de reúso de água, as quais podem ser visualizadas na Tabela 3.1.

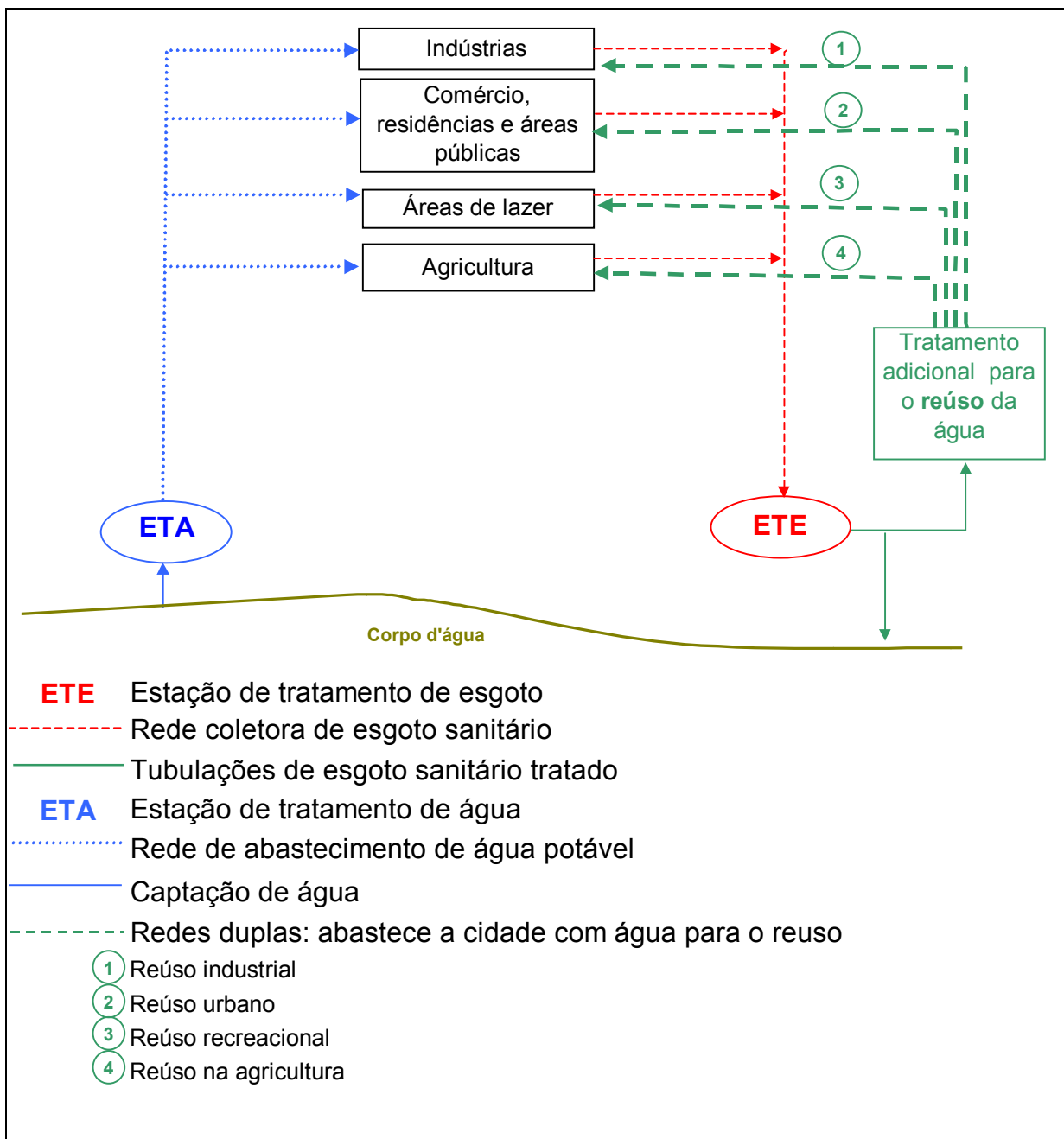


Figura 3.1 – Configuração simplificada de um sistema de abastecimento de água potável, rede coletora de esgotos e redes duplas de distribuição para o reúso de água.

Tabela 3.1- Categorias do Reúso de água e suas aplicações

CATEGORIAS DE REÚSO	APLICAÇÕES
Usos urbanos não restritos	Irrigação de áreas onde o acesso ao público não é restrito, como parques, playgrounds, <i>campi</i> universitários e residências, descarga de vasos sanitários, lavagem de veículos, lavagem de ruas e pontos de ônibus, combate ao fogo, construções, sistemas de ar condicionado, etc...
Usos urbanos restritos	Irrigação de áreas onde o acesso ao público pode ser controlado, como campos de golfe, cemitérios, faixas de domínio de auto-estradas, etc...
Recarga de aquíferos	Recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha, controle de recalques de subsolo
Reúso na agricultura em plantas alimentícias	Irrigação de plantas que se destinaram ao consumo humano como o plantio de forrageiras e hortaliças.
Reúso na agricultura em plantas não alimentícias	Viveiro de plantas ornamentais, proteção contra geadas, pastos, etc...
Reúso recreacional não restrito	Locais com atividades recreacionais na água onde não há limitações impostas para o contato humano.
Reúso recreacional restrito	Locais destinados a atividades recreacionais como a pesca, a navegação, a canoagem e outras onde não vá ocorrer o contato direto com a água.
Finalidades ambientais	Aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas, indústrias de pesca, etc...
Reúso industrial	Refrigeração, alimentação de caldeiras, lavagem de gases, água de processamento, etc...

Fonte: Adaptado de U.S.EPA (1992)

O porte de investimentos na criação da infra-estrutura de redes duplas de distribuição depende do uso que vai ser dado à água. O planejamento de um sistema como este deve integrar tanto os aspectos do tratamento, como a demanda de água necessária. Segundo TSELENTIS *et al.* (1996), o projeto de um sistema de produção de reúso de água, deve incluir análises como: (1) avaliação do tratamento do esgoto e das disposições finais necessárias aos resíduos produzidos, (2) avaliação do suprimento e demanda de água, (3) avaliação dos benefícios ao suprimento de água baseados no potencial do reúso de água, (4) análise do mercado para o reúso de água, isto é, determinação das possíveis categorias de reúso de água e pesquisa dos possíveis clientes da água para o reúso na região, (5) análises técnicas e econômicas das alternativas encontradas, (6) implementação do plano com a análise financeira.

A principal diferença entre o conceito de reúso e reciclagem da água é que, enquanto no primeiro caso o efluente a ser reutilizado é o esgoto sanitário, o efluente a ser reciclado é o despejo gerado num determinado processo, o qual, vai ser tratado e reaproveitado num mesmo espaço físico, não sendo descartado numa rede coletora de esgotos. Este espaço físico, pode ser uma empresa, um posto de combustível, um edifício comercial, um condomínio e outros.

Nas Figuras 3.2 e 3.3 são apresentados exemplos de reciclagem de água. Na primeira, a água das pias, chuveiros e da lavagem de veículos são conduzidas a um sistema de tratamento que permite a sua reciclagem. Há um local para a coleta e armazenamento de água da chuva, a qual é injetada no tratamento visando o aumento de volume da água a ser reciclada, resultando numa minimização das perdas por evaporação. Além disso, essa inclusão favorece a diluição dos poluentes que tendem a se concentrar devido a contínua recirculação da água. As necessidades de vazão e qualidade da água no lava-rápido (Figura 3.2) são atendidas, ao mesmo tempo que ocorre a diminuição do consumo de água potável e minimização do descarte de poluentes na rede coletora de esgotos.

Na Figura 3.3 pode-se visualizar um outro exemplo de reciclagem de água. Dentre os processos industriais com potencial para o consumo de água reciclada em indústrias de fabricação de papel, destacam-se os seguintes:

- Máquina de papel: tem a função de remover quase toda a água para transportar e distribuir as fibras uniformemente. Segundo BIERMANN (1993) apud COSTANZI (2000), cada 1 kg de fibras corresponde a 200 kg de água. A água branca removida da máquina de papel, geralmente, é utilizada para a diluição da polpa, sendo as fibras recuperadas.
- Selagem das bombas: muitas fábricas de polpa e papel utilizam milhares de metros cúbicos de água todo ano com a selagem mecânica dos equipamentos. Conforme pode ser visualizado na Figura 3.3, utiliza-se água potável para diluição da água de selagem das bombas devido a possibilidade de desgaste causado por sólidos suspensos e possibilidade de concentração de

sólidos dissolvidos (COSTANZI, 2000).

- Limpeza de rolos, de telas e dos feltros: nestes processos são utilizados os chuveiros de limpeza. A qualidade da água reciclada deve ser tal que impeça o entupimento dos bocais dispersores.

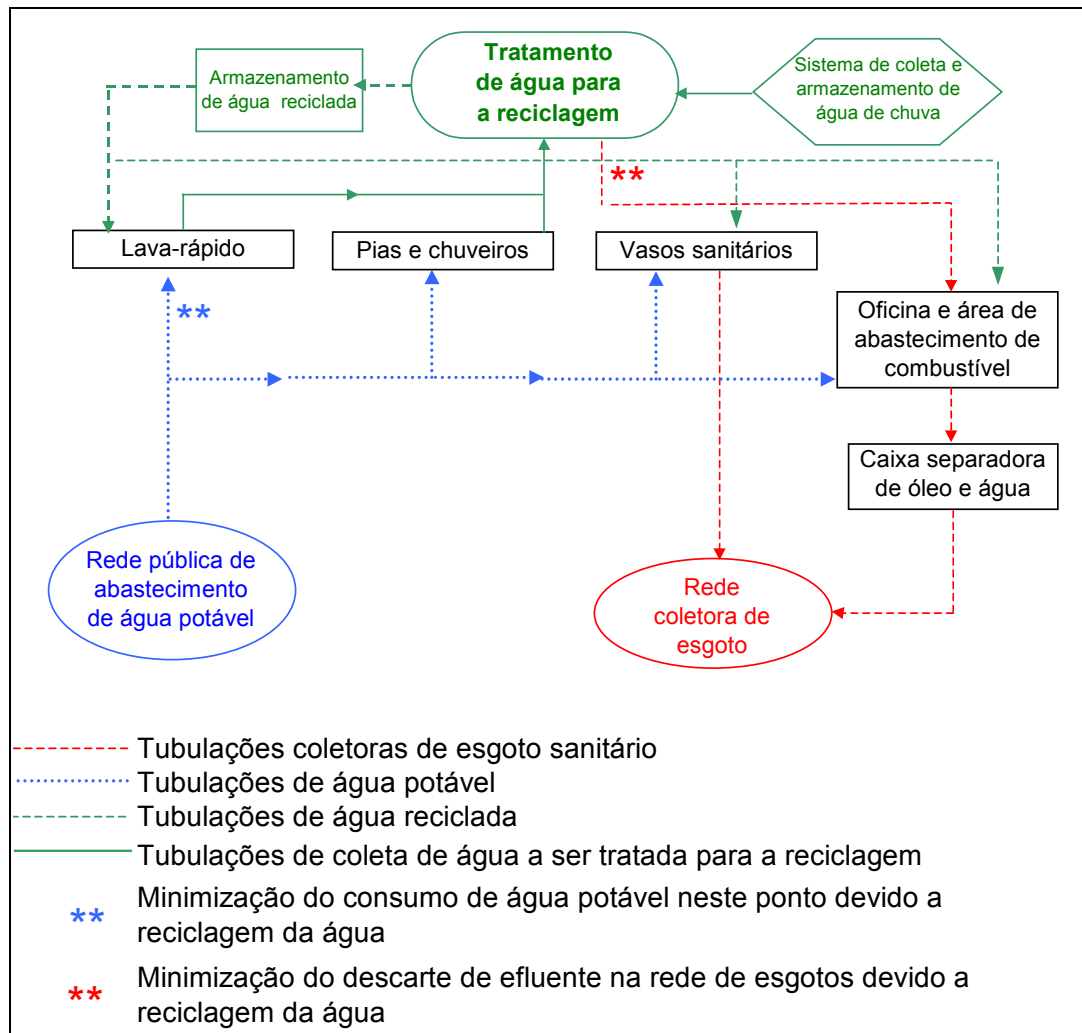


Figura 3.2 – Configuração simplificada de um possível sistema de reciclagem de água num posto de combustíveis.

FOGARTY *et al* (1998) apud COSTANZI (2000) exemplificam um sistema de reciclagem (FIGURA3.3), o qual tem a possibilidade de operar com água contendo valores limitados de SST nos chuveiros e na selagem das bombas. 70% da água residuária seria tratada com FAD e os outros 30% seriam tratadas com microfiltração, retornando aos chuveiros de limpeza dos filtros com concentração de SST inferiores a 10 mg/L.

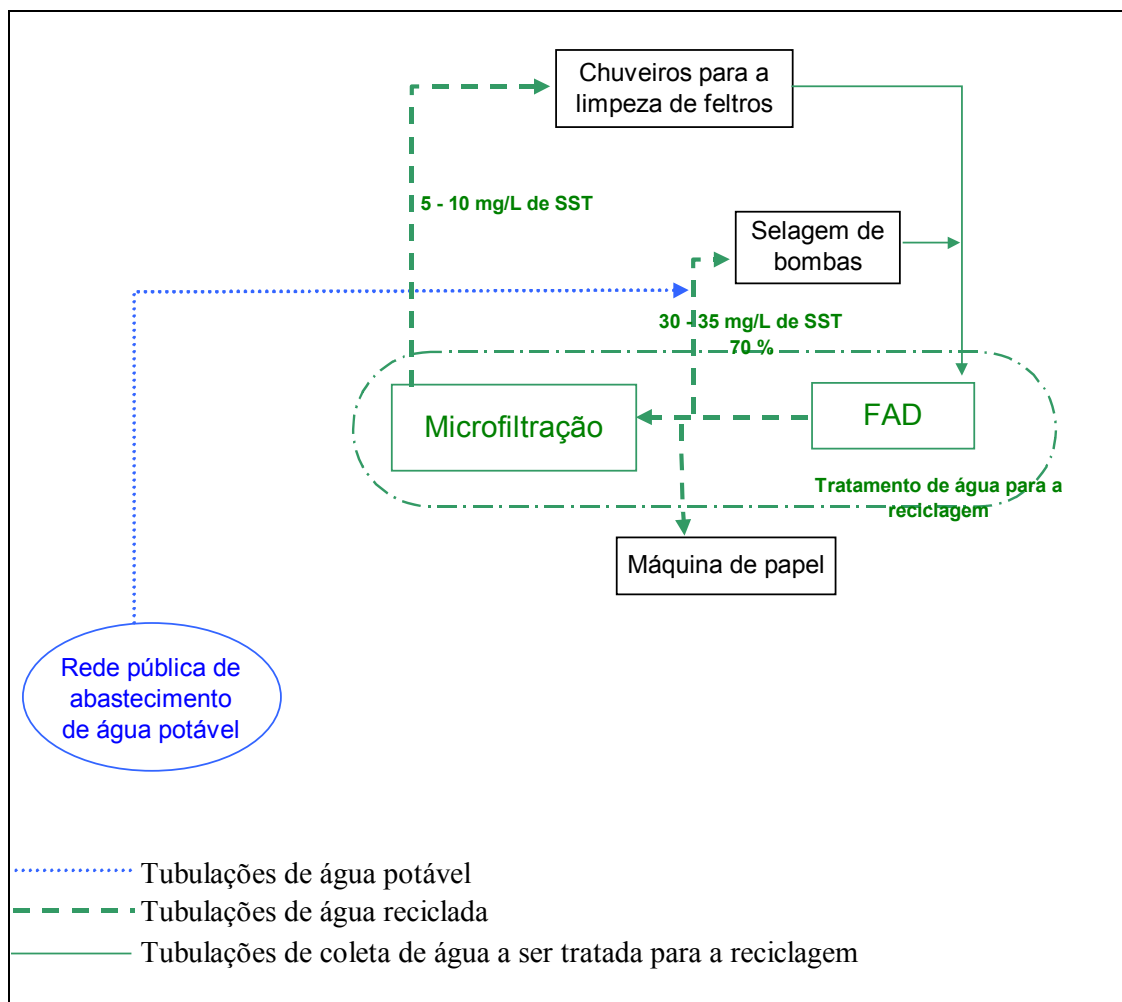


Figura 3.3 – Equipamento modular com sistema de reciclagem de água para a máquina de papel. *Fonte: Adaptado de COSTANZI (2000)*

Assim como na Figura 3.2 a reciclagem mostrada na Figura 3.3 é realizada num espaço físico limitado; a indústria de papel. Nestes casos, tratam-se os efluentes gerados em processos internos para o seu reaproveitamento, minimizando o descarte de poluentes na rede e diminuindo o consumo de água potável.

De acordo com a U.S.EPA (1992), a reciclagem na indústria é geralmente integrada ao processo industrial e deve ser desenvolvido atendendo às necessidades específicas de cada caso.

A reciclagem de água diminui o descarte na rede coletora de esgotos e possui diversas peculiaridades, entre estas, pode-se citar as concentrações maiores de certos poluentes e a tendência a aumentá-las a medida em que a água recircula, muitas vezes exigindo tratamentos específicos. Como esta recirculação altera a qualidade da água, deve-se considerar fatores como a elevação de temperatura, nutrientes, pH, sólidos em suspensão, cargas orgânicas, metais pesados e tóxicos (U.S.EPA, 1980).

No entanto, a reciclagem da água apresenta vantagens como a diminuição da carga de poluentes no local de lançamento, a economia de água potável sem a necessidade de investimentos em redes duplas de distribuição. São inúmeros os exemplos de reciclagem da água em fábricas, sistemas de resfriamento, fazendas, refinarias, lavanderias industriais, lavagem de veículos e outros.

3.1.2 - Os tipos de reciclagem de água

PRIOR (2000) considera as seguintes categorias deste tipo de sistema:

- Reciclagem Restrita: permite uma recirculação de cerca de 50 a 80% dos efluentes gerados, dependendo do tipo de tratamento empregado. Em geral, utiliza-se um sistema de gradeamento para a retenção de sólidos grosseiros e, em alguns casos, processos oxidativos

para controle de odores e limitação de crescimento de microrganismos;

- Reciclagem Ampla: permite uma recirculação de 80 a 95 % dos efluentes gerados, por meio de técnicas de tratamento mais eficientes como aeração, coagulação química, filtração, flotação e ozonização, visando a eliminação de odores, sólidos grosseiros e suspensos, óleos e graxas e alguns compostos orgânicos;
- Reciclagem Total (Fechamento do circuito): objetiva a recirculação total (100%) dos efluentes gerados. Para isso, o emprego de tecnologias de tratamento sofisticadas se torna necessário, como por exemplo, a osmose reversa. Sua implantação requer uma análise criteriosa da relação custo/ benefício.

3.2 - Normas, Recomendações e Padrões de Qualidade

3.2.1 - Normas para o reúso de água

Nota-se que o reúso de água tem sido realizado por muitos anos sem seguir qualquer norma nacional ou internacional. Nos anos 90, alguns estados americanos adotaram uma série de padrões e a OMS (Organização Mundial de Saúde) publicou normas para o reúso da água na agricultura (CROOK & SURAMPALLI, 1996).

Em 1992, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos publicou uma série de normas para o reúso de água (U.S.EPA, 1992).

Segundo CROOK & SURAMPALLI (1996), estes padrões de reúso são direcionados principalmente à proteção da saúde, pois a presença de elementos químicos tóxicos e de microrganismos patogênicos cria um potencial de efeitos adversos em locais onde há riscos de contato, inalação ou ingestão. Como não há uma regulamentação federal nos Estados Unidos, a

responsabilidade cabe às agências de cada estado. Os autores comparam diferentes critérios adotados em diversos estados e elaboram um resumo sobre os itens principais destas normas, como proteção à saúde, fiscalização, experiência passada em reúso, possibilidades técnicas e econômicas.

As agências estaduais americanas regulamentam padrões para a qualidade da água tratada e o tratamento mínimo necessário. O tratamento se torna mais sofisticado na medida em que o nível de exposição humana à água reutilizada aumenta, como no esquema apresentado na Figura 3.4.

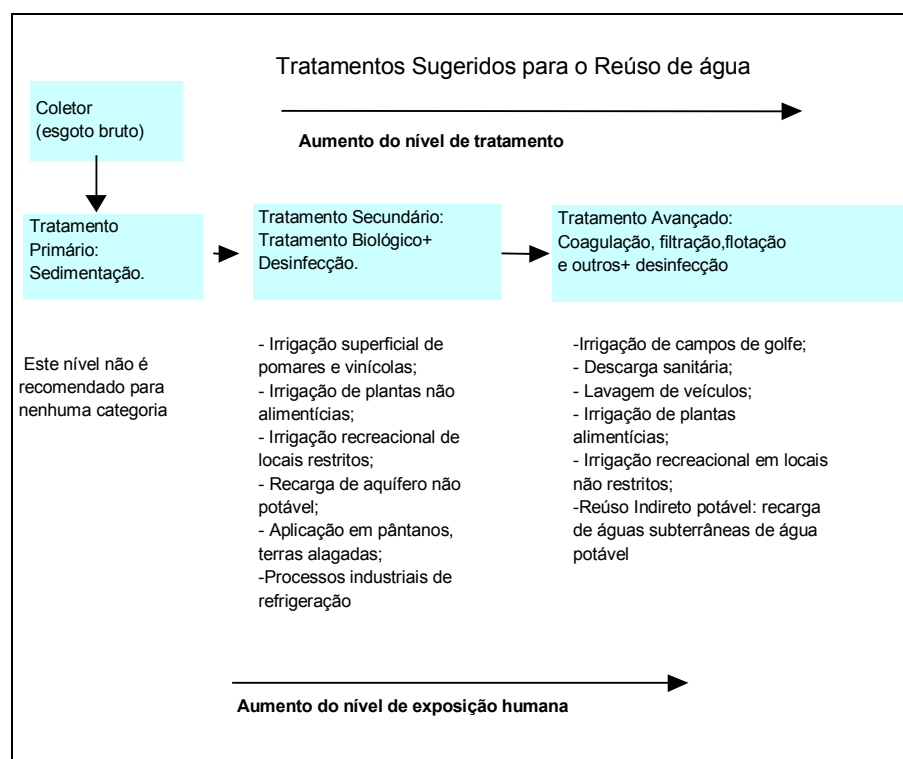


Figura 3.4 - Níveis de tratamento de esgoto sugeridos dependendo da finalidade do reúso de água. *Fonte: Adaptado de U.S.EPA. (1998)*

No caso do Brasil, tecnologias mais sofisticadas para o reúso de água, como as apresentadas no esquema anterior, não seriam viáveis. A solução para o país seria procurar obter simplicidade e eficiência nos tratamentos e ao mesmo tempo minimizar os riscos à saúde humana.

Na Tabela 3.2 é apresentado um panorama sobre as principais operações e processos utilizados no reúso de esgoto sanitário, assim como os requisitos normalmente estabelecidos nos Estados Unidos. Nota-se que estas normas são voltadas para o reúso de água, segundo as definições do item anterior. Em vista disso, são estabelecidos padrões para o cloro residual na rede dupla no reúso urbano e recreacional. No Brasil não há regulamentações específicas para o processo de reúso de água. MANCUSO (1992) define que o reúso da água exige o conhecimento prévio das características físicas, químicas e biológicas das águas residuárias ou poluídas, de modo a adequar seu tratamento à obtenção da qualidade baseados em critérios recomendados em países que possuem tais normas.

3.2.2 - A qualidade da água a ser reciclada na lavagem de veículos

Como citado anteriormente, a U.S.EPA (1992) classifica a lavagem de veículos como reúso urbano não restrito. Segundo os critérios estabelecidos, os requisitos para este caso são:

- Reduzir a concentração de bactérias, parasitas e vírus entéricos patogênicos na água reaproveitada;
- Controlar constituintes químicos;
- Limitar exposição ao público (contato, ingestão e inalação). Onde é provável que isto aconteça, a água deve ser tratada e desinfetada antes do seu aproveitamento.

Tabela 3.2- Sugestões e critérios para o reúso de esgoto sanitário

Categoria do reúso de água	Metas do tratamento	Exemplos de aplicações
Reúso Urbano		
Não restrito	Secundário, filtração, desinfecção DBO ₅ : < 10 mg/L Coliformes Fecais: ND/100 mL Turbidez: < 2 NTU Cl ₂ residual: 1 mg/L pH 6 a 9	Irrigação de áreas onde o acesso ao público não é restrito, como parques, playgrounds, <i>campi</i> universitários e residências, descarga de vasos sanitários, lavagem de veículos , lavagem de ruas e pontos de ônibus, combate ao incêndio, construções, sistemas de ar condicionado, etc...
Acesso restrito	Secundário, desinfecção DBO ₅ : < 30 mg/L TSS: < 30 mg/L Coliformes Fecais: < 200/100 mL Turbidez: < 2 NTU Cl ₂ residual: 1 mg/L pH 6 a 9	Irrigação de áreas onde o acesso ao público pode ser controlado, como campos de golfe, cemitérios, faixas de domínio de auto-estradas, etc...
Reúso na agricultura em plantas alimentícias	Secundário, filtração, desinfecção DBO ₅ : < 10 mg/L Coliformes Fecais: ND/100 mL Turbidez: < 2 NTU Cl ₂ residual: 1 mg/L pH 6 a 9	Irrigação de plantas que se destinaram ao consumo humano como o plantio de forrageiras e hortaliças.
Reúso na agricultura em plantas não alimentícias	Secundário, desinfecção DBO ₅ : < 30 mg/L TSS: < 30 mg/L Coliformes Fecais: < 200/100 mL Cl ₂ residual: 1 mg/L pH 6 a 9	Viveiro de plantas ornamentais, proteção contra geadas, pastos, etc...
Reúso Recreacional		
Reúso recreacional não restrito	Secundário, filtração, desinfecção DBO ₅ : < 10 mg/L Coliformes Fecais: ND/100 mL Turbidez: < 2 NTU Cl ₂ residual: 1 mg/L pH 6 a 9	Locais com atividades recreacionais na água onde não há limitações impostas para o contato humano.
Reúso recreacional restrito	Secundário, desinfecção DBO ₅ : < 30 mg/L TSS: < 30 mg/L Coliformes Fecais: < 200/100 mL Cl ₂ residual: 1 mg/L pH 6 a 9	Locais destinados a atividades recreacionais como a pesca, a navegação, a canoagem e outras onde não vá ocorrer o contato direto com a água.
Finalidades ambientais	Tratamentos em níveis específicos de pH, oxigênio dissolvido, coliformes e nutrientes.	Aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas, indústrias de pesca, etc...
Reúso industrial	Secundário, desinfecção DBO ₅ : < 30 mg/L TSS: < 30 mg/L Coliformes Fecais: < 200/100 mL	Refrigeração, alimentação de caldeiras, lavagem de gases, água de processamento, etc...
Recarga de aquíferos	Tratamentos específicos	Recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha, controle de recalques de subsolo

Fonte: Adaptado de MUJERIEGO & ASANO (1999)

Nota-se que a tabela anterior foi apresentada apenas para exemplificar um caso de normalização para o reúso de água. Para Brasil, estas normas são muito restritas.

No caso das normas apresentadas anteriormente, o esgoto sanitário é tratado para ser reutilizado. O seu encaminhamento, não só para o local da lavagem de veículos, como também para outros locais identificados como reúso urbano não restrito (locais de irrigação de playgrounds, lavagem de ruas e outros), é realizado pelas redes duplas de distribuição. No caso da reciclagem, a água proveniente da lavagem de veículos, após o tratamento, será reutilizada no mesmo processo, sem ser descartada numa rede coletora de esgotos, de acordo com as definições feitas no item 3.1.1. A finalidade do reúso e da reciclagem são as mesmas (a lavagem), mas a origem do efluente é diferente. No primeiro caso é o esgoto sanitário, no segundo caso é o efluente da lavagem antes de ser descartado na rede. Os requisitos de qualidade da água no primeiro caso encontram-se na tabela do item anterior. No segundo caso, não foram encontrados padrões de qualidade para este tipo de reciclagem na literatura.

Como neste caso, a finalidade da reciclagem e do reúso é a mesma, pode-se considerar que a qualidade da água a ser reciclada na lavagem de veículos deve ser estar de acordo com os padrões de reúso urbano não restrito, já que estes, visam proteger a saúde das pessoas que possam ter algum contato com a água.

No entanto, algumas considerações devem ser feitas. Como a origem do efluente a ser tratado com a finalidade de reúso é o esgoto sanitário, julga-se que os lançamentos na rede sejam controlados por regulamentações de cada região. Assim, não se espera que contenha substâncias tóxicas acima dos limites permitidos. Por isso, a norma para reúso não contém recomendações para substâncias que possam ser potencialmente prejudiciais, tais como os metais pesados. O mesmo não ocorre no caso da reciclagem. O efluente a ser reciclado pode conter substâncias tóxicas. Estas certamente devem ter suas concentrações diminuídas antes do seu reaproveitamento, a níveis que não causem danos a saúde das pessoas que eventualmente entrarem em contato com esta água. Portanto, além de estar de acordo com normas de reúso, a

água de lavagem reciclada deve conter concentrações de substâncias tóxicas controladas por regulamentos de lançamento de efluentes na rede.

No Brasil, a portaria 13/76 da SEMA e a resolução 20/86 do CONAMA tratam de padrões de qualidade das águas interiores e costeiras. A CETESB (Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente) aplica a Lei n.º 997 desde 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle do meio ambiente. O artigo 18, seção II do capítulo II, estabelece condições de lançamento nas coleções de água.

3.2.3 - Recomendações para o lançamento de efluentes de lavagem de veículos

Nos Estados Unidos, a U.S.EPA (1980) elaborou limitações, critérios e padrões para efluentes da categoria de lavagens de veículos e diversos tipos de lavanderias. Pode-se conferir estes dados na Tabela 3.3. Análises de amostras indicaram que existem poluentes tóxicos orgânicos e inorgânicos em todas as categorias (lavagens de veículos, lavanderias). Porém, determinou-se, na época, que nenhum esforço seria realizado no desenvolvimento de regulamentações para a categoria de lavagem de veículos, pois a quantidade e a toxidez de cada poluente não justifica tal esforço. A melhor opção sugerida foi à reutilização do efluente.

O Departamento de Ecologia do Estado de Washington (ECOL, 1995) publicou um manual sobre as melhores práticas para a disposição dos efluentes de lavagem de veículos nos Estados Unidos. Segundo este, há quatro opções:

- 1ª opção: Fechamento de circuito com 100% de reciclagem;
- 2ª opção: Descarga no sistema municipal de esgotos;

- 3ª opção: Aplicação no solo;
- 4ª opção: Descarga em águas superficiais.

Segundo a ECOL (1995), a primeira opção é a mais recomendada. Entretanto, esta alternativa possui a desvantagem de utilizar produtos químicos para remover as partículas sólidas, gerando um lodo que necessita de disposição final. Além disso, deve ter um reservatório para armazenar a água tratada para a reciclagem. A quarta opção não é recomendada.

Tabela 3.3 - Limitações para efluentes de lavagens dos veículos e lavanderias

Poluente	Limitações propostas (mg/L)	
	Máximo em 24hr.	Média em 30 dias
SST	40	20
DBO	100	50
Óleos e graxas	20	10
Cromo	0,74	0,22
Cobre	1,5	0,93
Chumbo	3,7	1,7
Zinco	2,9	1,1

Fonte: U.S.EPA(1980)

As autoridades ambientais suecas, segundo JÖNSSON & JÖNSSON (1995), limitam em 5 mg/ L a concentração de óleos minerais em efluentes de lavagem de veículos lançados na rede.

De acordo com PAXÉUS (1996), o impacto ambiental da lavagem de veículos atraiu muita atenção na Suécia. Referindo-se a este efluente como um dos que apresentam mais intensiva atividade química, a Organização Nacional de Fazendeiros Sueca solicitou uma total limitação ao lançamento desse efluente em coletores que o conduzissem a estações de esgoto municipais como requisito para o seu reúso desse na agricultura. As autoridades ambientais

estabelecem que os lavadores de veículos devem ser equipados com unidades que promovam a separação e retenção do óleo e do lodo antes do lançamento.

Em função de problemas detectados sobre a contaminação de fontes de águas subterrâneas por efluentes de lavagens de veículos (sem a limpeza de motor ou de peças situadas na parte debaixo da carroceria) descartados em poços, a U.S.EPA (1999) elaborou um inventário de poluentes e regulamentações específicas em cada estado. Embora somente dois incidentes de contaminação tenham sido confirmados, alguns estados determinam o fechamento de todos poços destinados ao descarte deste efluente que porventura são encontrados.

A USEPA (1999) recomenda que o efluente deve ser descartado no sistema de esgotos. Quando isso não é possível, deve-se reciclar o máximo de água utilizando filtros, separadores de água e óleo e outras tecnologias apropriadas. A preocupação com os poluentes deste despejo, os quais causam impacto nas águas subterrâneas, é crescente em várias regiões dos Estados Unidos. Por esta razão, vários estados exigem a reciclagem da água de lavagem de veículos e algumas regulamentações chegam a exigir 100% de reciclagem, ou seja, o fechamento do circuito como definido no item 3.1.2.

3.3 - Descrição dos tipos de lavagem de veículos

A indústria de lavagem de veículos inclui diferentes tipos e operações, cada uma com necessidades e características próprias. Variam quanto ao volume de água utilizado, carga de contaminantes e substâncias químicas nos processos de lavagem. São divididos em três tipos:

- Túnel: O veículo segue pelo do interior do equipamento em formato de túnel, passando por áreas de lavagem, enxágüe, enceramento e secagem, respectivamente. Dentro da área de lavagem, o detergente diluído em água é aplicado e a sujeira é mecanicamente removida por escovas e/ou jatos de alta pressão. A seguir, o automóvel é enxaguado com água limpa.

Finalmente, a secagem é realizada com jatos de ar. O efluente é coletado em uma vala localizada abaixo do túnel. Em alguns sistemas, a água de lavagem e de enxágüe são mantidas separadas por uma pequena barreira construída na vala. Nos Estados Unidos, este é o tipo mais comum, onde grande parte dos estabelecimentos recicla a água de lavagem e de enxágüe. No Brasil, diferentemente do túnel americano, normalmente não ocorrem o encerramento e a secagem. A Figura 3.5 ilustra a lavagem de veículos do tipo “Túnel” com remoção de sujeira removida por escovas, enquanto que na Figura 3.6, esta remoção é realizada por jatos de alta pressão. Pode-se verificar na Figura 3.7 um dispositivo de lavagem com jatos de alta pressão.

- “Rollover”: O automóvel fica parado enquanto a máquina de lavagem passa por ele. O equipamento é dotado de escovas em forma cilíndricas que giram em torno de seu próprio eixo. Normalmente, são três escovas, duas laterais e uma superior. O equipamento realiza movimentos para frente e para trás, cobrindo toda a área lateral e superior do carro. O efluente gerado é coletado numa vala situada abaixo do sistema. A Figura 3.8 ilustra este tipo de lavagem de veículos.
- Lavagem a jato manual: Lava-se o veículo utilizando uma mangueira com jatos de alta pressão de ar e água; ar, sabão e água alternando-os. Em alguns casos a água é coletada numa vala. É muito comum no Brasil.



Figura 3.5 – Lavagem de carro do tipo “Túnel”, com a sujeira sendo mecanicamente removida por escovas



Figura 3.6 – Lavagem de carro do tipo “Túnel” com sujeira sendo mecanicamente removida por jatos de alta pressão



Figura 3.7 – Jatos de alta pressão durante a lavagem de um veículo

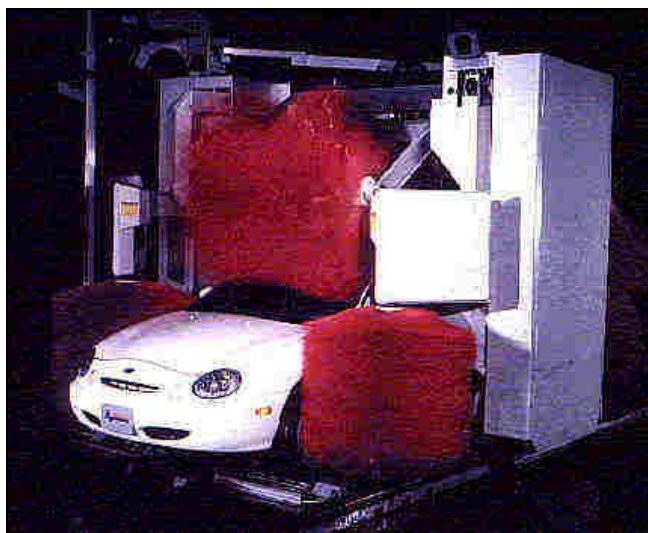


Figura 3.8 – Lavagem de carro do tipo “Rollover”

Os três tipos de lavagem são comparados na Tabela 3.4

Tabela 3.4 - Vazão e capacidade para diferentes processos de lavagem de veículos.

Tipo	Capacidade (veículos/dia)	Volume médio (L/veículo)	Descarga (m³/dia)	Perdas (L/veículo) (evaporação e outras)
Túnel	100-600 média: 250	262	75,7	7-30
“Rollover”	10-150 média: 75	112-168	11,4	7-30
Lavagem a jato manual	40-96 média:64	*	19,9	*

Fonte: U.S.EPA(1980)

**Estes valores são variáveis. Este sistema suporta um número de 5 a 12 carros por hora. Como o sistema não é automático, depende da maneira como cada pessoa vai utilizá-lo. Normalmente se gasta-se cerca de 75 l por ciclo de lavagem. A vazão vai depender de quantos ciclos serão efetuados por carro. Normalmente é apenas um. As perdas variam muito pois, ao ser operada manualmente, a água espirra, pois o operador pode apontar a mangueira para todas as direções. As perdas são superiores aos outros sistemas.*

3.4 - Os benefícios e problemas da reciclagem de efluentes de lavagens de veículos

O sistema de tratamento a ser implantado para viabilizar a reutilização da água de lavagem de carros deve atender às seguintes premissas:

- Eliminar os riscos à saúde dos usuários e operadores;
- Evitar danos aos veículos;
- Minimizar a necessidade de diluição dos efluentes tratados, e;
- Minimizar, seu lançamento na rede de esgotos, em águas superficiais ou em fossas.

Logo, advirão os seguintes benefícios:

- Minimização da descarga nos corpos receptores;
- Diminuição da carga de poluentes tóxicos na rede de esgotos;
- Economia de água.

Os principais problemas a serem enfrentados no desenvolvimento de tecnologias para a reciclagem de água de lavagem de veículos são:

- Área Ocupada: sua concepção deve ser compacta, pois, provavelmente, será instalado num local onde já funciona um equipamento de lavagem, sem previsão de espaço para a inclusão

do equipamento;

- Geração de Odores: deve contemplar a necessidade de controle de odores gerados pela proliferação de microrganismos nas águas armazenadas para a reciclagem;
- Geração de Lodo: a maioria dos sistemas de tratamento de efluentes gera resíduos e estes deverão ter seu volume minimizado e disposição final adequada;
- Custo de Implantação: deve ser o menor possível, de forma que possa ser competitivo com o custo da água, recuperando-se o investimento em curto prazo;
- Operação e Manutenção: a simplicidade, neste aspecto, é um fator limitante na escolha da tecnologia. Sistemas mais complexos tornam-se inviáveis tanto economicamente, como operacionalmente para os proprietários de postos de combustíveis ou lava-rápidos;
- Concentração de Sólidos Dissolvidos: à medida que a água recircula pelo sistema de lavagem, alguns poluentes podem se concentrar, por não serem totalmente removidos no tratamento;
- Necessidade de Diluição: como há aumento na concentração de certos poluentes, a diluição torna-se necessária para manter a qualidade necessária da água a ser reciclada. Pode ser realizada com água potável ou água da chuva.

3.5 - Características de efluentes gerados na lavagem de veículos

O efluente gerado por atividades de limpeza de automóveis pode conter quantidades significativas de óleos e graxas, sólidos em suspensão, metais pesados, surfactantes e substâncias orgânicas.

Para JÖNSSON & JÖNSSON (1995) este efluente contém óleo, graxa, partículas de poeira, carbono e asfalto carregados da superfície do carro. Pode conter fluido hidráulico e óleo proveniente do motor e sistema de freios. Por isso sua composição é bastante complexa, constituindo uma fonte significativa de DQO.

BRAILE & CAVALCANTI (1979) afirmam que o tratamento de despejos contendo detergentes é um dos grandes problemas da engenharia sanitária. Estes compostos contêm nutrientes como fosfato e nitrogênio além de compostos fenólicos, que afetam propriedades organolépticas da água. Podem causar a formação de emulsões estáveis dificultando a sua remoção. Após seu lançamento, podem provocar a formação de espumas disformes nos corpos de água, facilitando o transporte de uma série de microrganismos, principalmente bactérias e exercendo o papel de veículo de parasitas.

Os surfactantes são classificados como iônicos e não iônicos. Os iônicos podem ser aniônicos ou catiônicos. O aquil benzeno sulfonado (ABS) é um típico surfactante aniônico. O ABS de cadeias lineares (LAS) é considerado biodegradável.

JÖNSSON & JÖNSSON (1995) investigaram a influência de diversos tipos de agentes desengraxantes, utilizados na lavagem de veículos, na performance de membranas de ultrafiltração. Os detergentes catiônicos, aniônicos e "shampoos" estavam entre os agentes testados. A retenção dos diferentes tipos de produtos químicos apresentou grande variação.

Os autores relatam que os agentes desengraxantes baseados em soluções de derivados de petróleo são tradicionalmente utilizados na lavagem de automóveis, porém há uma tendência a substituí-los por formulações que causem menos danos ao meio ambiente. Citam quatro tipos de agentes desengraxantes fornecidos pelo mercado: (i) soluções de derivados de petróleo; (ii) microemulsões baseadas em derivados de petróleo; (iii) agentes desengraxantes alcalinos; e (iv) agentes desengraxantes de origem vegetal.

PAXÉUS (1996) cita formulações de agentes desengraxantes para a lavagem de veículos contendo 95 a 99% de hidrocarbonetos e, por volta de, 3% de surfactantes (agentes desengraxantes baseados em derivados de petróleo), além de outras, contendo menor quantidade de hidrocarbonetos (10 a 30 %), maior proporção de surfactantes (10 a 30%) e solventes, estas últimas conhecidas como microemulsões, consideradas menos danosas ao meio ambiente, e, por isso, tornando-se mais populares na Suécia.

A WORLD WATER AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING (1996) cita que a utilização de microemulsões na lavagem de veículos, devido às suas propriedades dispersantes, manteve o solvente e os contaminantes suspensos no tanque de retenção.

Pelo fato de manifestar-se em altas concentrações e pela dificuldade de sua remoção nas etapas de tratamento, os detergentes constituem uma das maiores preocupações na remoção de poluentes deste tipo de água residuária.

HART (2001) afirma que a *Legionella pneumophila sp* pode encontrar ambiente propício para desenvolver-se em sistemas de reúso de água em lavagens de veículos, tendo sido detectada em vários sistemas de reciclagem de água de postos de gasolina na Holanda. No entanto, há controvérsias quanto ao risco da presença desta bactéria nos locais citados. Alguns profissionais acreditam que a concentração deste microrganismo nos sistemas descritos é muito pequena, não representando perigo de contaminação.

As águas residuárias geradas nas operações de lavagens de veículos, segundo a U.S.EPA (1999), constituem-se, em sua grande parte de sabão, água de enxágüe e cera. Destaca que, quando não há enxágüe na parte inferior e no motor dos veículos, as concentrações de agentes desengraxantes, solventes e metais pesados, são muito baixas. Caso contrário, a concentração destes poluentes aumenta consideravelmente.

Ao coletar diversas amostras de efluente de poços localizados em estabelecimentos de

lavagem de veículos, a U.S.EPA (1999) concluiu que os constituintes inorgânicos mais comuns eram NTK, cloretos, sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais. Destes, apenas os cloretos e os sólidos dissolvidos totais excederam os níveis máximos permitidos na norma local.

Os cloretos foram estudados em artigo da NACE (1975). Segundo este, a recirculação de água num sistema de lavagem de veículos pode aumentar gradativamente a concentração de sais, acelerando o processo de corrosão das carrocerias. A extensão da corrosão depende da umidade e da concentração de sulfatos na atmosfera, maior em cidades industrializadas. Desta forma, é recomendado que a água sofra um processo de tratamento ou diluição. É citado que a concentração de cloreto de sódio aumenta em regiões onde esse sal é utilizado para a remoção de neve dos pavimentos, o que não é o caso do Brasil. Contudo, a concentração dos sais é um importante parâmetro para o controle da reciclagem da água.

CAMMAN *et al.* (1994), utilizando métodos cromatográficos em efluentes de lavagem de carros na Alemanha, encontraram os valores de 45, 20,9 e 62,6 mg/L para cloretos, nitratos e sulfatos, respectivamente.

A U.S.EPA (1980) publicou valores de parâmetros e substâncias tóxicas presentes em efluentes obtidos para diferentes tipos de lavagem de veículos (Tabela 3.5). O processo de lavagem a jato manual gerou o efluente com as piores características qualitativas. As concentrações médias de DBO₅, COT e fósforo foram inferiores aos valores típicos para esgoto sanitário. As concentrações de DQO, SST e óleos e graxas, foram equivalentes ou menores que os encontrados no esgoto. Chumbo e zinco estiveram presentes em todas as amostras, em todos os tipos de lavagem, com grande parte das amostras com concentrações nas faixas de 0,5 a 1,5 mg/L para chumbo, e 0,4 a 1,5 mg/L para zinco. Os únicos metais, além destes, com presenças significativas foram o cobre e o níquel, cujas concentrações médias foram inferiores a 0,43 e 0,13 mg/L, respectivamente. Os demais poluentes tóxicos não ultrapassaram o valor de 1,0 mg/L.

Pesquisas com efluentes de lavagem de veículos foram realizadas na Suécia, com a

finalidade de verificar o impacto de alguns metais pesados e sua toxicidade em esgotos sanitários. Foi sugerido que se utilizasse detergentes biodegradáveis para diminuir a carga total de poluentes não removíveis e melhorar a qualidade do lodo. Além disso, foi recomendado um tratamento adicional da água residuária em separadores de óleo, os quais são unidades utilizadas para a remoção primária de óleos e graxas. O efluente é armazenado em uma câmara durante um período que possibilite que gotículas de óleo, com densidade menor que da água, formem uma camada na superfície do líquido. Controla-se o nível do efluente na unidade por meio de vertedores situados no fundo do compartimento, que permitem que o líquido abaixo da camada superficial de óleo passe para uma outra unidade, de modo a separar o líquido da camada oleosa. O óleo pode ser removido manualmente ou mecanicamente. A adição de produtos químicos não é necessária neste tipo de tratamento.

PAXÉUS (1996) realizou um estudo sobre efluentes de lavagens de veículos, mapeando os poluentes orgânicos na rede de esgoto municipal da cidade de Göteborg. O objetivo era determinar a natureza de substâncias orgânicas voláteis deste efluente e estimar a sua carga no esgoto sanitário. Analisou parâmetros convencionais (DQO, óleos e graxas) e poluentes orgânicos individuais utilizando cromatografia gasosa e espectrometria de massa. Pode-se conferir a quantidade de poluentes descartados, em mg, na Tabela 3.6.

A quantidade de poluentes descartados em mg, na Tabela 3.6, foi obtida multiplicando as concentrações pelo volume médio de água utilizada por ciclo de lavagem, no caso, 250 L por veículo leve e 1200 L por veículo pesado.

Enquanto os hidrocarbonetos voláteis, éteres e fenóis eram provenientes de agentes desengraxantes com formulações baseadas em derivados de petróleo e produtos de limpeza, partículas de poeira e fuligem de tráfego contribuíram para originar componentes aromáticos bicíclicos, hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, e ftalatos. As principais conclusões dos autores foram:

- A eliminação de poluentes orgânicos em separadores de óleo, como se pode verificar com os dados da Tabela 3.6, foi praticamente nula. PAXÉUS (1996) comenta que isto ocorreu pela provável formação de emulsões estáveis;
- A contribuição dos lavadores de veículos na carga total de surfactantes presentes na rede de esgotos não pode ser negligenciada;
- A utilização de microemulsões, recomendadas pelas autoridades suecas por serem menos danosas ao meio ambiente, pode aumentar a carga total de surfactantes;
- Embora este efluente exibisse uma concentração relativamente alta de poluentes orgânicos, a contribuição para a carga total no esgoto doméstico foi muito baixa, com exceção do naftaleno. Foi detectado 17 e 16 mg deste poluente antes e após o tratamento por separadores de óleo respectivamente (Tabela 3.6). A concentração máxima de naftaleno encontrada na lavagem manual foi 0,17 mg/L (Tabela 3.5).

3.6 - Processos físico-químicos mais empregados para o tratamento de efluentes de lavagens de veículos.

Os processos de tratamento abordados neste item são a coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido, cujos fundamentos teóricos e publicações citadas são importantes para o embasamento desta proposta de pesquisa. São poucos os trabalhos publicados sobre tratamento do efluente de lavagem de veículos por coagulação, floculação ou flotação, todavia, alguns estudos lidaram com esses processos para efluentes semelhantes, enquadrados na mesma categoria por normas previamente descritas.

Tabela 3.5 – Características qualitativas de águas residuárias de diferentes tipos de lavagens de veículos.

Características	Túnel		Rollover		Lavagem a jato manual	
	Méd. ^a (mg/L)	Máx. ^a (mg/L)	Méd. ^a (mg/L)	Máx. ^a (mg/L)	Méd. ^a (mg/L)	Máx. ^a (mg/L)
Parâmetros						
pH	8,7	9,0	7,7	7,7	7,4	8,3
DBO ₅	42	147	20	132	69	220
DQO	178	517	135	254	238	1120
COT	31	169	31	173	79	160
SST	101	848	158	576	659	2970
Óleos e Graxas	20	239	9,4	188	90	404
Fósforo	1,9	24	0,41	1,9	2,8	3,2
Tóxicos						
Antimônio		0,0045	0,0022	0,0025	0,014	0,017
Arsênico	<0,01	0,016	<0,0005	0,0005	0,0014	1,6
Berílio					<0,001	0,016
Cádmio	0,014	0,066	0,008	0,040	0,029	0,092
Cromo	0,026	1,7	0,013	0,11	0,054	0,27
Cobre	0,10	0,3	0,09	0,23	0,43	0,86
Chumbo	0,55	2,2	0,47	1,1	1,6	4,2
Mercúrio	<0,0001	0,0005	<0,0001	0,0006	0,00055	0,026
Níquel	0,13	0,69	0,11	0,20	0,12	0,39
Selênio						
Prata						
Tálio						
Zinco	0,55	1,5	0,42	1,0	1,5	2,4
Clorofórmio				0,037		0,083
Fluoranteno						0,014
Cloreto de Metileno		0,011		0,47		0,64
Diclorodibromometano						0,033
Triclorofluormetano						0,12
Clorodibromometano						0,012
Naftaleno						0,17
4-nitrofenol		0,011		0,015		0,014
2,4-dinitrofenol						0,019
Bis (2-etil-hexil) ftalato		0,027		0,031		1,0
Butil benzil ftalato						0,031
Di-n-butilftalato						0,015
Di-n-octilftalato				0,016		0,016
Benzoantraceno						0,012
Benzopireno						0,012
Benzofluoreteno						0,012
Antraceno						0,017
Fenantreno						0,017
Pireno						0,011
Tricloroetileno						0,013

Fonte: Adaptado de U.S.EPA (1980)

^a células vazias: valores abaixo dos limites de detecção da norma em questão

Tabela 3.6 – Quantidades estimadas de poluentes orgânicos (mg) utilizados em um ciclo de lavagem de veículos antes e depois do tratamento parcial por separadores de óleo.

	Quantidade Afluente (mg)	Quantidade Efluente (mg)
Parâmetros Convencionais		
Óleo Total	18400	18800
Óleo Mineral	3600	3400
Hidrocarbonetos Alifáticos		
C8 - C16	1300	1300
C17 – C30	64	58
Naftalenos(ciclo-hexanos substitutos)	5	4,5
Decalins	2,4	2,3
Limoneno	88	90
Hidrocarbonetos Aromáticos		
Tolueno	1	1
Etilbenzeno + Xilenos	4	3,8
Benzenos substitutos		
C-9	70	67
C-10	70	68
C-11	6	6
Benzenos substitutos C16-24	2,8	2,8
Estireno	0,5	0,5
Naftaleno	17	16
Metilnaftaleno	7	8
Tri-metilnaftalenos	2	1
Bifenil	3	3
Fenantreno	1,3	1,1
Fluoranteno	1	0,8
Pireno	0,6	0,6
Benzoantraceno	0,3	0,2
Plastificantes		
Dietil ftalato	2,3	1,9
Dibutil ftalato	15	11
Di (2 etilhexil) ftalato	31	24
Butilbenzil ftalato	2,4	1,5
Di (2 etilhexil) adipato	4,1	3,2
Di (n octil) adipato	1,4	1,2
Tri n butil fosfato	2,9	3,0
Agentes de limpeza		
Nonilfenol	26	24
2 (2 butoxietoxi) etanol	1400	1500
2 Butoxietanol	220	220
Butanol	104	100
Alcôois C12-C16	18600	18600
Um 3 Metil 3 buten 2	6	5
4 Butoxi ácido butanóico	49	47

Fonte: Adaptado de Paxéus (1996) .

PAXÉUS (1996), JÖNSSON & JÖNSSON (1995) citam a formação de emulsões estáveis no efluente de lavagem de veículos, tornando-se importante à compreensão dos mecanismos de emulsificação e desemulsificação para a remoção de poluentes do despejo.

3.6.1 - Generalidades sobre os sistemas coloidais e as emulsões

Para MENDES (1989), no sistema coloidal, as partículas encontram-se em estado finamente dividido e dispersas em meio contínuo. As partículas coloidais se caracterizam por possuir uma grande superfície específica e com faixa de variação de tamanho de 10^{-6} a 10^{-3} mm.

Os sistemas coloidais podem ser classificados por sua afinidade com a fase dispersante em liofóbicos e liofílicos. Quando a fase dispersante é a água, denominam-se: (i) hidrofílicos, quando mostram forte atração por moléculas de água, tais como proteínas, detergentes sintéticos e substâncias húmicas, e; (ii) hidrofóbicos, quando mostram fraca atração por moléculas de água, tais como argila, ouro e outros metais.

Se uma dispersão contendo partículas coloidais for submetida a um campo elétrico, estas irão se mover em direção a um dos eletrodos. Este fenômeno, chamado de eletroforese, indica a existência de cargas elétricas nas partículas coloidais, cujo sinal e magnitude são, dentre outros fatores, função da natureza do material coloidal. Devido à presença destas cargas elétricas, íons de carga contrária são atraídos para as proximidades da superfície das partículas coloidais, enquanto, íons de mesma carga sofrem a ação inversa. Por outro lado, a camada de íons de carga contrária que se estabelece em torno das partículas age de forma a atrair os de carga oposta e, desta forma, próximo à superfície das partículas, a concentração de íons é grande e decresce com o aumento da distância. Esta “atmosfera iônica”, denominada de *dupla camada elétrica* é constituída por duas camadas, conhecidas pelas denominações de *camada compacta*, a que se manifesta mais próxima da superfície da partícula, e de *camada difusa*, a que se distribui em torno da primeira, onde existe uma grande troca de íons com a fase dispersante (água). Quando uma partícula desloca-se pela fase dispersante, carrega consigo parte de sua atmosfera iônica,

onde predominam as forças de interação dos íons ali presentes sobre as forças de cisalhamento provocadas pelo fluido em movimento. A superfície que contempla a partícula e os íons arrastados por ela, é conhecida como *plano de cisalhamento*, e é onde se manifesta o valor do *potencial zeta*, parâmetro correlacionado com a carga da superfície da partícula e, portanto, com o grau de estabilidade da suspensão coloidal em estudo.

MENDES (1989) também descreve os fatores de estabilidade e instabilidade das partículas. Entre os fatores de estabilidade, destacam-se a carga elétrica e a hidratação das partículas, este último, mais freqüentemente em colóides hidrofílicos. A força da gravidade, a força de atração de VAN DER WAALS, e o movimento BROWNIANO, são citados como fatores de grande importância na atração e ocorrência de choques entre as partículas e, portanto, na desestabilização das mesmas.

O sistema coloidal envolvendo a dispersão de um líquido em outro é conhecido por emulsão. Um dos líquidos fica disperso no outro, sob forma de gotículas, assim, estes dois líquidos são imiscíveis e podem ser definidos, respectivamente, como fase descontínua e fase contínua (SAWYER & McCARTY, 1992).

No caso do presente estudo, a emulsão que interessa é essencialmente composta por óleo e água. O óleo pode estar disperso na água ou vice-versa. Geralmente, as partículas de óleo emulsionadas, são classificadas como colóides. As emulsões dependem de um terceiro componente, um agente emulsificador, para manter a estabilidade (SAWAMURA, 1997).

Segundo a teoria da película adsorvida, o agente emulsificador constitui fase distinta nas emulsões, sob forma de películas adsorvidas em torno da superfície dos glóbulos da fase dispersa. Uma das características dos agentes emulsificadores é a existência de grupos hidrofílicos e hidrofóbicos em suas moléculas. Quando essas substâncias são colocadas na presença de água e óleo, a porção hidrofílica é atraída pela água e a hidrofóbica, pelo óleo. Estas forças atrativas são suficientemente poderosas para conferir estabilidade à película interfacial e estabilizar a emulsão.

Desta forma, o fenômeno de adsorção atua, principalmente, no mecanismo de emulsificação, na estabilização de emulsões por sólidos finamente divididos (terra “fuller”, argila coloidal) ou agentes de superfície.

Um termo muito utilizado na tecnologia das emulsões, que se refere a sua estabilidade é o mecanismo de coalescência, isto é, a junção de duas ou mais gotículas para formar um só volume superior, porém com área interfacial menor.

Os agentes emulsificadores ajudam a estabilizar a emulsão pelo aumento da tensão superficial entre a água e outros líquidos. Esta mudança na tensão superficial causa a formação de uma barreira ao redor de cada gotícula, impedindo, então, a sua coalescência.

3.6.2 - Coagulação

A coagulação pode ser definida como a desestabilização química das partículas coloidais, enquanto que a floculação é a agregação física dos colóides previamente desestabilizados de modo a formar flocos.

O objetivo da coagulação química é reduzir a magnitude do potencial zeta para que as forças repulsivas entre as partículas sejam menores que as atrativas de VAN DER WAALS. A estabilidade de uma dispersão coloidal decresce quando o potencial zeta atinge valores próximos de zero. Supõe-se que íons de valência elevada e carga oposta às partículas emulsionadas reduzem o potencial zeta, provocando a ruptura da emulsão (SAWAMURA, 1997).

A desestabilização química das partículas ocorre por meio da adição de coagulantes associada a uma agitação do meio líquido objetivando a dispersão dos produtos químicos e promoção de colisões entre as partículas presentes. Esta agitação do meio líquido durante a coagulação é chamada de mistura rápida. Os mecanismos de desestabilização ocasionados pela adição de coagulantes são: i) a compressão da dupla camada elétrica; ii) a adsorção-neutralização

de cargas; iii) a varredura; e iv) a adsorção e formação de pontes.

Segundo MENDES (1989) a compressão da dupla camada elétrica se dá pela adição de um eletrólito num sistema coloidal, aumentando a densidade de cargas iônicas presentes na camada difusa das partículas coloidais, resultando na diminuição do volume desta, necessário para contrabalançar a carga superficial das partículas. Esta compressão reflete na distribuição de forças repulsivas presentes na vizinhança das partículas, reduzindo-as ou anulando a barreira de energia que impedia a agregação das partículas. A adsorção-neutralização de cargas ocorre quando algumas espécies químicas, capazes de serem adsorvidas na superfície das partículas coloidais, anulam suas cargas contrárias, provocando a desestabilização das mesmas. Na varredura, dependendo da quantidade de sal (coagulante) adicionada, do pH e da concentração de algumas espécies de íons presentes na solução, poderá haver a formação de precipitados. As partículas coloidais comportam-se como núcleos de condensação para estes precipitados que, desta forma, poderão vir a formar flocos, posteriormente removidos por sedimentação.

As espécies químicas predominantemente formadas, as quais definem o mecanismo de coagulação empregado, são influenciadas pelo pH e pela dosagem de coagulante. Por exemplo, o sulfato de alumínio, muito utilizado na coagulação, atua no mecanismo de adsorção-neutralização para valores de pH e dosagens de coagulante menores que os necessários para o mecanismo de varredura.

A adição de polieletrólitos, compostos naturais ou sintéticos dotados de grandes cadeias moleculares com sítios ionizáveis, possui ação coagulante e floculante devido ao mecanismo de adsorção e formação de pontes. Ocorre adsorção dos polieletrólitos à superfície das partículas, com a conseqüente redução de carga elétrica e das forças de repulsão entre as partículas que se “entrelaçam” pelas cadeias moleculares dos polieletrólitos. Podem ser aniônicos, catiônicos, anfotéricos e não iônicos, sendo, normalmente empregados no tratamento de águas para abastecimento como auxiliares de floculação, com a finalidade de diminuir o tempo de sedimentação dos flocos, aumentar sua densidade e resistência, ampliar a faixa de dosagem de

coagulante e pH, e, além disso, melhorar a qualidade do floco na separação física (HUANG *et al.*, 1984).

3.6.3 - Floculação

O propósito da floculação é promover o choque entre as partículas previamente desestabilizadas para seja possível sua agregação e formação dos flocos, obtendo-se melhores condições para sua eficiente separação da fase líquida nos processos de remoção subseqüentes, normalmente a decantação, a flotação ou a filtração direta. O processo consiste em impor um período de agitação lenta à água, procurando maximizar a agregação e minimizar a ruptura dos flocos. As variáveis mais importantes são: concentração de coagulante, pH, número e características das partículas primárias presentes na água, gradiente de velocidade (G) e tempo de agitação (T).

HUANG *et al.*(1984) estudaram a tratabilidade de efluentes de lavagem de veículos e aviões, casa de máquinas e depósitos do exército americano. O despejo era constituído, principalmente, de sólidos em suspensão e de óleo emulsionado. As características do efluente podem ser conferidas na Tabela 3.7. Os pesquisadores utilizaram polietetrólitos catiônicos para desestabilizar a emulsão oleosa, ocorrendo a formação de pontes entre as moléculas de óleo e/ou, pela neutralização da carga superficial repulsiva.

Como as características do efluente apresentaram grande variação em função do tipo de água utilizado nas lavagens e tipo e quantidade de detergentes utilizados, os pesquisadores realizaram o estudo com uma água residuária sintética, cujas concentrações de sólidos totais e óleos eram as médias encontradas no despejo real. Em seguida verificaram o efeito da utilização de polieletrólito catiônico TOLFLOC 398, nas dosagens de 800, 1600, 2000, 2400 e 3200 mg/L num pH ajustado para 9,0.

Para a determinação da quantidade de óleo na fase livre, dissolvida e emulsionada

foram utilizadas as técnicas descritas por FILECCIA, R., *et al.*(1981) apud HUANG *et al.*(1984) e por métodos recomendados pela literatura publicada pela EPA (Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes). O óleo combinado com sólidos foi determinado subtraindo-se as frações de óleo livre, emulsionado e dissolvido do óleo total.

Tabela 3.7 - Composição das águas de lavagem de veículos e aviões, casa de máquinas e depósitos do exército americano

COMPONENTE	INTERVALO	MÉDIA
Sólidos Totais (partículas)	1000 – 6000 mg/L	3500 mg/L
Óleo total (motor)	500 – 3000 mg/L	900 mg/L
pH	1,0 – 13,0	-----

Fonte: HUANG et al. (1984)

Alguns resultados são apresentados nas Figuras 3.9 e 3.10. Conforme pode ser verificado, houve eficiente desestabilização da emulsão até o uso de uma dosagem de 1600 mg/L de polímero. A partir destes resultados, os pesquisadores realizaram testes para determinar como o valor do pH afetava a estabilidade das emulsões em estudo. Concluíram que a mudança de pH não afetava significativamente, as concentrações de óleos emulsionados ou dissolvidos (Figura 3.11), no entanto, seu efeito sobre a concentração de óleo livre ou aderido aos sólidos era significativo. Para baixos valores de pH, houve uma maior adsorção do óleo nos sólidos em suspensão. Com o aumento do pH, a concentração de óleo livre aumentava e o óleo aderido aos sólidos decrescia. Em altos valores de pH os aglomerados de sólidos sedimentáveis e óleo eram desestabilizados. Moléculas de óleo eram liberadas e arrastavam algumas partículas em suspensão para a superfície. Consequentemente, a concentração de óleo livre aumentava e a massa de óleo aderida aos sólidos sedimentáveis e sólidos em suspensão remanescentes decresciam.

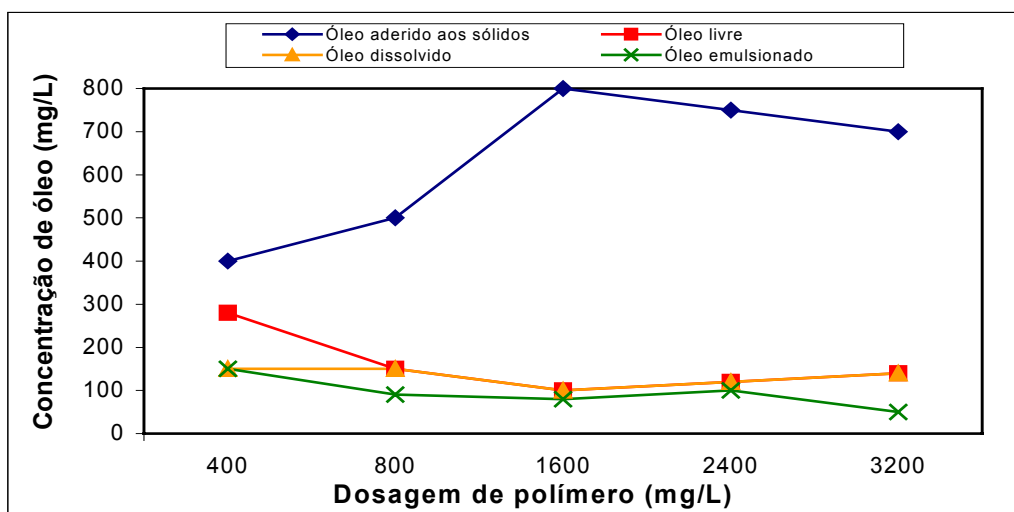


Figura 3.9 - Efeito do polieletrólito “Tolfloc 398” na desemulsificação de efluente sintético com óleo. Concentração de óleo total = 950 mg/L, SS = 3500 mg/L, pH = 9,0.

Fonte: HUANG et al.(1984)

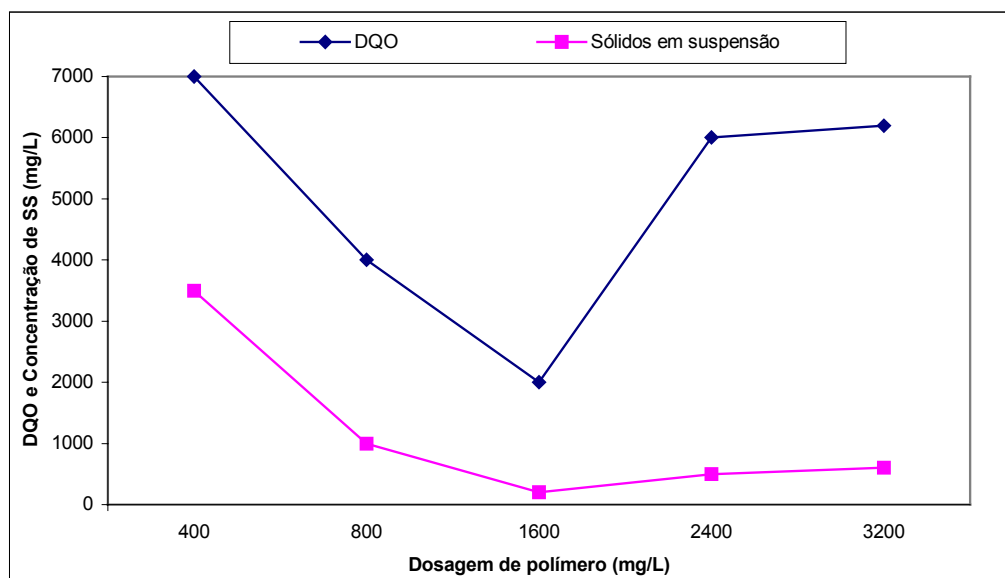


Figura 3.10 - Efeito do Tolfloc 398 sobre a remoção de sólidos em suspensão e DQO. Concentração de óleo total = 895 mg/L, SS = 3500 mg/L, pH = 8,8.

Fonte: HUANG et al.(1984)

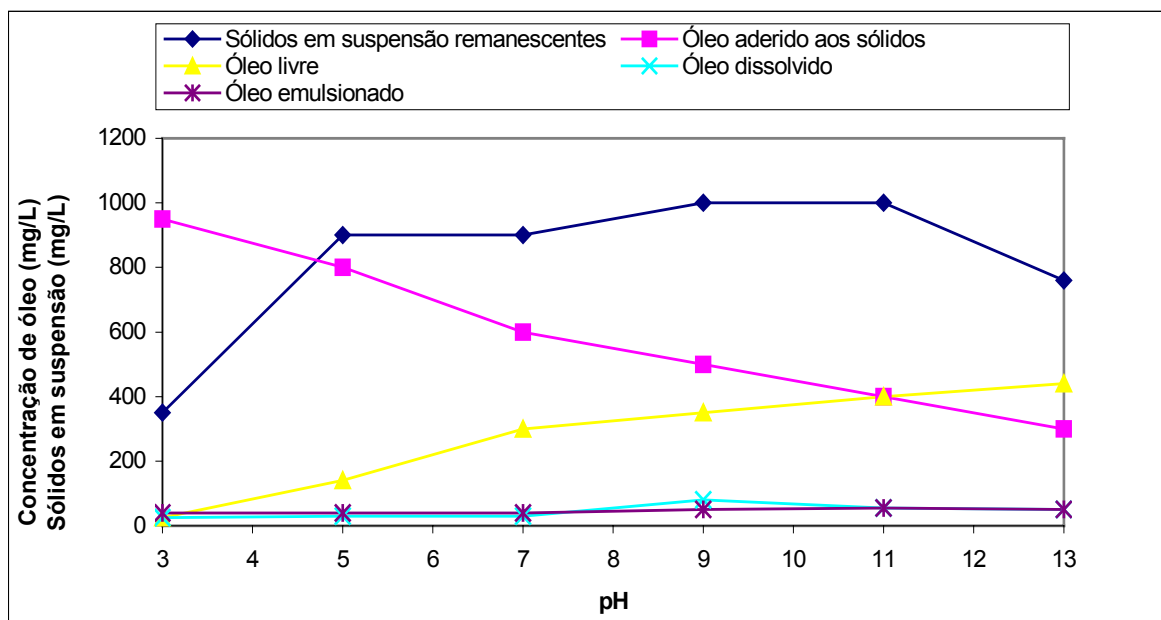


Figura 3.11 - Efeito do pH sobre a estabilidade da emulsão. Concentração de óleo total = 900 mg/L, SS = 3500 mg/L. *Fonte: HUANG et al. (1984)*

Os autores concluíram que a condição era favorável para a separação de óleos e sólidos com valores de pH muito altos ou muito baixos, ressaltando a importância deste parâmetro como variável do processo. Nota-se que este estudo foi citado para ilustrar a influência da variação de parâmetros como o pH e a dosagem de polieletrólito na remoção de poluentes de um efluente oleoso. Nota-se, no entanto, que os processos descritos são inviáveis devido às dosagens extremamente altas de polieletrólito necessárias para obter resultados eficientes, ou seja, custos muito elevados para uso prático.

3.6.4 - Flotação

A flotação é definida como um processo de remoção de partículas, no qual ocorre a introdução de microbolhas de ar, que, quando em contato com as partículas, formam um aglomerado partícula-bolha de densidade aparente menor que a da água, que tende a flutuar até a

superfície do tanque de flotação, onde é removido (LACERDA *et al.*, 1998).

A flotação é a operação pela qual se consegue, num determinado sistema, a separação de “partículas” líquidas ou sólidas de uma fase líquida, introduzindo-se pequenas bolhas de gás, as quais aderem à superfície das “partículas”, aumentando o seu empuxo e provocando sua ascensão à superfície da fase líquida (REALI & CAMPOS, 1986).

GOCHIN & SOLARI (1983) citam alguns mecanismos de contato entre a bolha e as partículas na flotação:

- Colisão da bolha com a partícula causada pela turbulência ou carga de atração. Este é citado pelos autores como o principal mecanismo de contato.
- Aprisionamento de bolhas pré-formadas na estrutura dos flocos. Isto pode ocorrer em três situações: na formação do floco, durante a quebra do floco e sua reconstituição no interior da câmara de floculação e na ocorrência do efeito de varredura das bolhas em ascensão pelos flocos em sedimentação.
- Crescimento de bolhas por nucleação, sobre a superfície dos sólidos no interior da estrutura dos flocos.

Esta tecnologia teve sua gama de aplicações bastante ampliada nas últimas décadas. Inicialmente era utilizada no processamento de minérios. Depois passou a ser empregada em outras operações industriais como separação de sementes, recuperação de fibras na indústria de papel, remoção de óleos e gorduras e outros.

Hoje em dia, há uma tendência em utilizar a flotação em áreas como:

- Pós-tratamento de esgotos;

- Tratamento físico-químico de esgotos brutos;
- Remoção de algas em efluentes de lagoas de estabilização;
- Tratamento de águas para abastecimento;
- Desemulsificação de águas residuárias oleosas providas de indústrias de refino de óleo lubrificante , de indústrias petroquímicas e outras.

A aplicação conjunta dos mecanismos de coagulação, floculação e flotação para despejos contendo óleos emulsionados apresenta as seguintes vantagens: (i) lodos mais concentrados em comparação ao obtido por sedimentação; (ii) menor consumo de coagulante; (iii) menor necessidade de área; (iv) alta velocidade vertical do fluido e menor sensibilidade aos efeitos negativos provocados por mudanças de temperatura (DELCHAD, 1992).

Há quatro processos envolvidos na flotação; (1) geração de bolhas de tamanho adequado, (2) ligação das bolhas ao material a ser flotado, (3) separação sólido/líquido ou líquido/líquido, (4) remoção do sobrenadante.

Há várias técnicas empregadas na geração de bolhas, podendo-se citar: (i) a flotação por ar disperso ou por ar induzido (F.A.I.); (ii) a flotação eletrolítica; e (iii) a flotação por ar dissolvido (FAD). A primeira consiste no fornecimento de bolhas por difusores ou pela agitação intensa do líquido com a massa gasosa realizada pelas turbinas. O mecanismo de eletrólise possibilita a produção de bolhas na flotação eletrolítica. Já a flotação por ar dissolvido, exige a presença de uma câmara de saturação para a dissolução do ar na massa líquida, conforme descrito a seguir.

3.6.4.1 - Flotação por ar dissolvido (FAD)

As bolhas de gás são obtidas por meio da liberação da parcela de gás, previamente dissolvida na massa líquida, devido à repentina queda de pressão na entrada do tanque de flotação.

Segundo a U.S.EPA (1997), a flotação por ar dissolvido é utilizada quando a sedimentação é ineficiente na remoção de sólidos em suspensão, emulsões de óleo e alguns poluentes dissolvidos.

O tratamento envolve coagulação e aglomeração de sólidos e emulsões de óleo, flotando-se o floco resultante, com auxílio do empuxo proporcionado pela aderência de microbolhas de ar. Durante o processo, produtos químicos como sais de ferro, alumínio, sílica ativada, polímeros catiônicos ou aniônicos são adicionados para alterar as cargas da superfície das partículas, possibilitando a formação dos flocos. Alguns poluentes dissolvidos, como metais, podem formar espécies insolúveis após a sua reação com sais inorgânicos, incorporando-se na massa de flocos. Auxiliares de floculação, tais como, polímeros catiônicos, também podem ser utilizados para a alteração das características dos flocos, modificando-se seu tamanho, peso específico e afinidade com as microbolhas de ar.

O ar é injetado na unidade sob pressão (câmara de saturação), de modo a dissolvê-lo na água. Quando a água saturada é injetada na câmara de flotação, o que, normalmente é feito juntamente com o efluente líquido previamente floculado, a pressão cai devido à pequena coluna líquida presente, e o ar é impossibilitado de permanecer em solução, criando pequenas bolhas. Desta forma, os flocos aderem-se às bolhas, sendo transportados até superfície da câmara, onde são removidos por rodos raspadores.

Segundo LACERDA *et al.* (1998), o tipo de flotação mais utilizado é a flotação por ar dissolvido com pressurização parcial do efluente clarificado conforme ilustrado na Figura 3.12. A

água floculada entra no flotador (1), passa por uma câmara de mistura (2) com água saturada fornecida pela câmara de saturação (9). As bolhas de ar são liberadas e se unem aos flocos que flutam e são removidos pelo rodo raspador de lodo (8) e pelo dispositivo de descarga de lodo (10). Parte da água clarificada segue para fora do flotador (6) enquanto que o restante desta é recirculada e bombeada (4) para a câmara de saturação. Neste local, a água de recirculação é saturada por meio de um compressor de aeração (3) e encaminhada novamente à câmara de mistura. Eventualmente alguns flocos podem sedimentar. Por esta razão o flotador contém uma zona de adensamento de sedimentos (5) e descarga de fundo (7).

A flotação por ar dissolvido com pressurização parcial do efluente clarificado é a tecnologia mais recomendada porque minimiza a ruptura dos flocos formados na etapa de coagulação/floculação (LACERDA *et al.*, 1998).

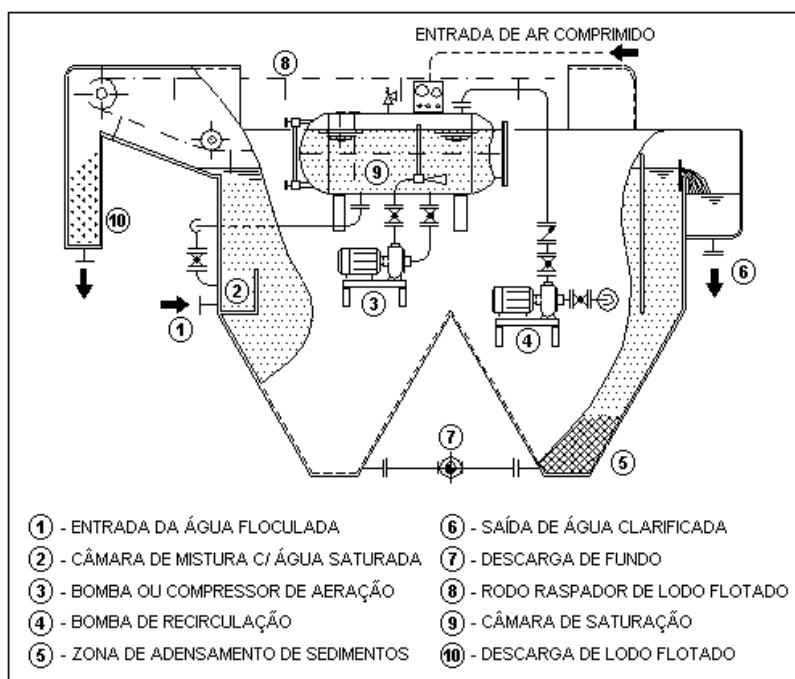


Figura 3.12 - Esquema geral de uma unidade de flotação por ar dissolvido.

Fonte: LACERDA et al. (1998).

3.6.4.2 - Aderência das partículas nas microbolhas de ar

Vários autores afirmam que as partículas hidrófobas, isto é, com tendência a repelir as moléculas de água, se aderem facilmente à superfície das bolhas de ar. O contrário acontece com as partículas hidrófilas, fator que dificulta a sua remoção por flotação.

Explicando o fenômeno de aderência das bolhas de gás na superfície das partículas, ADAMSON (1967) demonstrou que quanto maior o ângulo de contato entre partícula e bolha, maior a hidrofobicidade das partículas e, portanto, mais fácil se torna a adesão das bolhas às mesmas. É tradicionalmente conhecido que, o sucesso da aderência das bolhas de gás na superfície das partículas depende, além do grau de hidrofobicidade dos flocos, das condições hidrodinâmicas do sistema. A maioria dos trabalhos publicados indica que as colisões proporcionadas pela turbulência são os principais mecanismos de contato e de estabilidade entre ligações das bolhas e partículas.

De acordo com LEPPINEN (2000) as cargas elétricas das partículas e das bolhas são fatores muito importantes na FAD. O pré-tratamento químico é um requisito essencial para a alta eficiência da FAD. Geralmente, são necessários gradientes de velocidades altos durante a dosagem química (mistura rápida) e menores para promover a agregação das partículas durante a floculação.

Segundo AL-SHAMRANI *et al.* (2002), ainda não são claras quais as condições de floculação ótimas para a flotação por ar dissolvido. Há divergências quanto ao tempo de floculação, gradiente de velocidade e tamanho dos flocos.

A afinidade entre partículas floculadas e microbolhas é fundamental para o sucesso da FAD, e, segundo REALI & CAMPOS (1986), os sólidos hidrófilos podem se tornar hidrófobos a partir de agentes tensoativos chamados “collectors”. Quando adsorvidos na superfície das partículas, formam um filme hidrófobo a partir das mesmas, aumentando o ângulo de contato

entre as bolhas e as partículas.

Segundo GOCHIN & SOLARI (1983) as unidades de FAD. aplicadas à clarificação de efluentes operam eficientemente sem a adição de "collectors", pois, a adição de coagulantes e/ou floculantes produzem flocos grandes e pouco densos e, geralmente, essas características são suficientes para promover a união floco-bolha.

3.6.4.3 - Projeto de unidades de FAD

Os aspectos principais a serem considerados no projeto de unidades de flotação por ar dissolvido, segundo REALI & CAMPOS (1986) são os seguintes:

- Concentração da suspensão a ser tratada e características da superfície das partículas que a compõem, incluindo seu grau de hidrofobicidade;
- Grau adequado de agregação das partículas primárias, que conduza à quantidade "economicamente viável" de ar requerido para uma flotação eficiente, isto é, os flocos formados devem aderir às bolhas de tal modo a não ser necessária uma quantidade de ar muito grande para que este agregado flote. Quanto maior a quantidade de ar injetado no sistema, maior deve ser a pressurização da água, aumentando o custo da flotação;
- Velocidade de ascensão dos aglomerados, bolha e partícula, a qual se relaciona com a taxa máxima de aplicação superficial a ser adotada na unidade de flotação a ser projetada;
- Fornecimento de bolhas de tamanho adequado ao bom desempenho do processo, isto é, quanto menores as bolhas, maior a aderência destas nos flocos formados e, como consequência, maior a eficiência da FAD. Tal requisito está ligado ao projeto adequado da câmara de saturação e do dispositivo responsável pelo decréscimo brusco de pressão no final da linha de saída da câmara de saturação (deve-se evitar a formação de macrobolhas de ar,

que seriam perdidas para a atmosfera).

Gotículas de óleo maiores que 40 µm podem ser efetivamente removidas por unidade de flotação por ar dissolvido. Nos casos de presença de gotículas com tamanhos menores e de natureza hidrofílica, comum na maioria dos contaminantes presentes em efluentes oleosos, coagulantes e agentes floculantes podem ser utilizados como aditivos (BARKER *et al.*, 1970 apud ZOUBOULIS e AVRANAS, 2000).

3.6.4.4 – Relação A/S

HAHN (1982) apud CENTURIONE FILHO (2002) afirma que, com a formação de um complexo estável (bolha e partícula), a força resultante provocará seu movimento ascensional. A velocidade constante deste movimento é estabelecida quando as forças de empuxo se e de arrasto se igualam. É de se esperar que, quanto maior a quantidade de bolhas aderidas, maior será a velocidade ascensional, a qual pode ser expressa pela relação ar/ sólidos (A/S).

Segundo METCALF e EDDY (1991), a eficiência de um sistema de flotação por ar dissolvido depende da razão entre a massa de ar em relação à massa de partículas em suspensão (relação A/S) necessária para atingir determinado grau de clarificação. Esta razão varia em função do tipo de suspensão e deve ser determinada experimentalmente em laboratório.

Os mesmos autores chegaram a seguinte equação, relacionando A/S, a solubilidade do ar, a pressão de operação na câmara de saturação e a concentração de partículas em suspensão:

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3sa(f.P-1)R}{SsQ} \quad (\text{equação 3.1})$$

onde:

A/S – razão ar/sólidos (mg/mg);

sa – solubilidade do ar na temperatura do efluente (mL/L);

f – fração de ar dissolvido à pressão P;

P – pressão absoluta (atm);

Ss – sólidos suspensos (mg/L);

R – vazão de recirculação da água saturada (m³/dia);

Q – vazão do líquido afluente (m³/dia);

Quanto maior a vazão de recirculação, maior a taxa A/S e maior a câmara de saturação, assim como a potência da bomba a ser instalada, encarecendo o sistema.

3.6.4.5 – Taxa de escoamento superficial

A taxa de escoamento superficial (TES) é a relação Q/A, isto é, a vazão sobre a área horizontal do flotor e é usualmente dada em m³/m².dia. Semelhante aos conceitos desenvolvidos para os decantadores (DI BERNARDO, 1993), segundo o qual a taxa de escoamento superficial é numericamente igual à velocidade crítica de sedimentação, no caso da flotação, a velocidade crítica ascensional (V_{cas}) é também numericamente igual a TES, isto é, todas as partículas com velocidade maior ou igual a V_{cas} serão removidas na flotação. Portanto, para uma determinada vazão, quanto maior a velocidade ascensional das partículas, maior será a TES e menor será a área requerida para a câmara de flotação.

3.6.4.6 - O tratamento e a reciclagem de efluentes com FAD

A U.S.EPA (1980) cita o uso de FAD, seguida da filtração, como um dos sistemas mais utilizados para o tratamento e reciclagem de água de lavanderia, cujos efluentes estão classificados na mesma categoria que os de lavagem de veículos. O processo utiliza sais de alumínio ou polieletrólitos para a coagulação química, sendo comum a diluição para manter a quantidade de sólidos dissolvidos em concentrações ACEITÁVEIS para a reciclagem.

Na Tabela 3.8 são apresentados dados resultantes do tratamento por coagulação, flotação por ar dissolvido, filtração e reciclagem da água de um efluente de lavanderia. Coletaram-se dados tanto do afluente, assim como do efluente do sistema de tratamento por cinco dias seguidos. Nota-se que os valores de DBO e SST foram os únicos maiores no quinto dia em relação ao primeiro dia. Estes se encontram bem acima das recomendações das normas citadas anteriormente para descarga do efluente na rede (Tabela 3.3). Pode-se observar que o efluente de lavanderia apresenta valores iniciais de DBO bem maiores que os normalmente encontrados na lavagem de veículos (ver Tabela 3.5 - valores máximos de DBO para a lavagem do tipo manual são de 220 mg/L). Já para os sólidos em suspensão totais o problema é inverso, visto que, os efluentes de lavagem de veículos encontram-se com valores equivalentes ou até superiores.

ZOUBOULIS & AVRANAS (2000), investigaram o tratamento de um efluente sintético contendo emulsões de óleo e água utilizando a flotação por ar dissolvido. O estudo consistiu em testes de flotação em jarros (“flo-test”). O efeito de diversos parâmetros na eficiência da separação do óleo emulsificado foi examinado, tais como; (a) a presença de um surfactante não iônico, utilizado na estabilização das emulsões (Tween 80); (b) o valor do pH inicial das emulsões; (c) a concentração de aditivos químicos, como polieletrólitos e cloreto férrico; (d) a concentração de oleato de sódio (utilizado como “*collector*”) e; (e) a razão de reciclo. Medidas do potencial zeta foram realizadas para interpretar os resultados obtidos.

Tabela 3.8 - Concentração de poluentes após o tratamento do efluente de lavanderia com o uso de: polieletrólitos + coagulação + flotação por ar dissolvido + filtração + reciclagem do efluente

Parâmetro (mg/L)	Dia 1		Dia 2		Dia 3		Dia 4		Dia 5	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
DBO ₅	725	545	970	575	1103	965	1170	965	1762	1410
SST	390	360	530	350	631	480	800	670	840	600
Óleos e Graxas	420	150	75	7	20	9	20	14	89	69
Cádmio	<0,002	<0,002	<0,003	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cromo	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Chumbo	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Níquel	0,10	0,10	0,12	0,10	0,008	0,007	<0,002	<0,15	0,2	<0,02
pH	10,1	8,5	9,1	7,6	9,0	7,5	9,8	9,3	9,7	9,0
Mercúrio	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Zinco	1,1	0,38	0,45	0,30	0,55	0,26	0,45	0,33	0,63	0,39
COT	670	470	770	470	970	880	190	410	470	770

Fonte: U.S.EPA (1980)

A adição do cloreto férrico como coagulante foi necessária para promover uma aglomeração efetiva das gotículas de óleo. O aumento do tamanho dos flocos e a natureza hidrofóbica destes aglomerados, induzidas pela adição do *collector* aniônico oleato de sódio possibilitaram uma maior eficiência na flotação. A utilização de polieletrólitos não foi eficiente para tratar as emulsões estudadas, enquanto que a adição de cloreto férrico e a subsequente aplicação da flotação por ar dissolvido apresentaram alta eficácia na remoção de turbidez. Nas condições ótimas experimentais (razão de reciclo de 30%, pH = 6, concentração de Fe⁺ = 100 mgL⁻¹ e concentração de oleato de sódio = 50 mgL⁻¹), mais de 95% do óleo emulsificado foi efetivamente removido do efluente.

AL-SHAMRANI *et al.* (2002) utilizaram uma unidade de flotação de bancada para estudar o efeito do sulfato de alumínio e do sulfato férrico como agentes desestabilizadores de emulsões de óleo-água estabilizadas por um surfactante não iônico (Span 20). Os efeitos da dosagem de coagulante, pH, gradientes de velocidade e tempo da mistura rápida e floculação foram considerados.

Nesse estudo, investigou-se a influência das dosagens independentes de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$) e sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) em diferentes valores de pH. Foram estudadas para condições de mistura rápida, floculação e flotação fixas. A rotação utilizada para a mistura rápida foi de 200 rpm por 1 minuto. Para a floculação, a rotação utilizada para a mistura lenta foi de 20 rpm por 15 minutos. O período de flotação foi igual a 7 minutos utilizando uma pressão de saturação de 551,2 kPa e razão de reciclo de 10%. Alguns dos resultados são apresentados na Figura 3.13. Para o valor de pH igual a 5,0, houve um mínimo de óleo residual de 210 ppm numa dosagem de 40 mg/L de sulfato férrico. No pH de 6 houve uma diminuição significativa do residual de óleo. A pior remoção foi no pH de 9, enquanto que a máxima remoção (99,94%), ocorreu para um pH de 7 e dosagem de coagulante de 120 mg/L. Estes resultados indicam a importância do pH e da concentração de coagulante na remoção de óleo. Ambos os coagulantes provaram ser eficientes na desestabilização das emulsões, mas o sulfato férrico apresentou resultados levemente superiores.

Os estudos demonstraram que as medições de potencial zeta indicaram que as gotículas de óleo apresentam carga negativa, e a sua magnitude, foi suficiente para estabilizar a emulsão. O potencial zeta demonstrou ser influenciado pelo valor do pH, implicando na adsorção do íon hidroxila na superfície das gotículas de óleo.

Pode-se verificar nas Figuras 3.14 e 3.15 que ambos os coagulantes reduziram o potencial zeta (em módulo) das gotículas de óleo. A reversão de carga, isto é, quando o potencial zeta, inicialmente com valores negativos passa a ter valores positivos, pode ser constatada com o sulfato de alumínio (Figura 3.14), o que não ocorreu com o uso do sulfato férrico (Figura 3.15), cujos resultados foram melhores. A desestabilização das partículas, portanto, nem sempre é função da reversão de cargas.

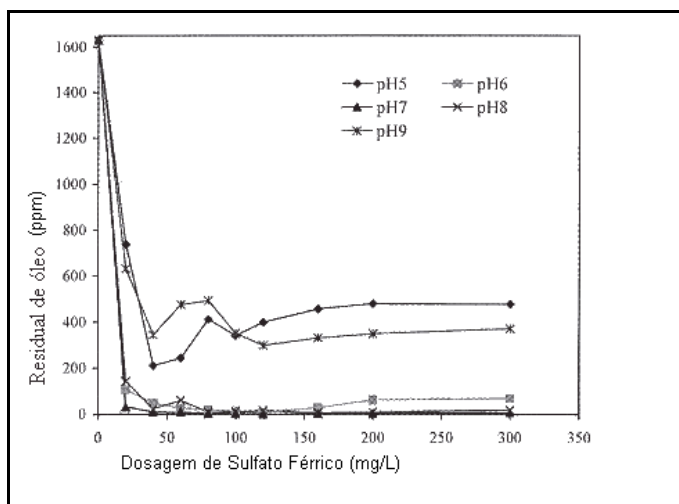


Figura 3.13 - O efeito da dosagem de sulfato férrico na concentração de óleo residual em diferentes valores de pH. *Fonte: AL-SHAMRANI et al. (2002)*

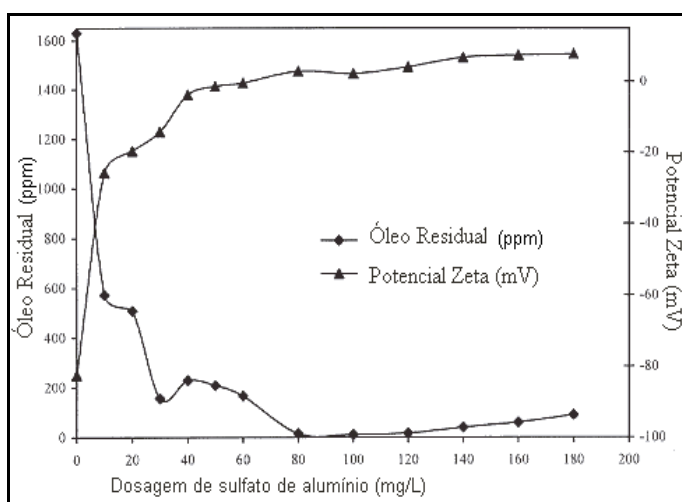


Figura 3.14 - A concentração de óleo residual e o potencial zeta em função da dosagem de sulfato de alumínio em um valor de pH = 8. *Fonte: AL-SHAMRANI et al. (2002)*

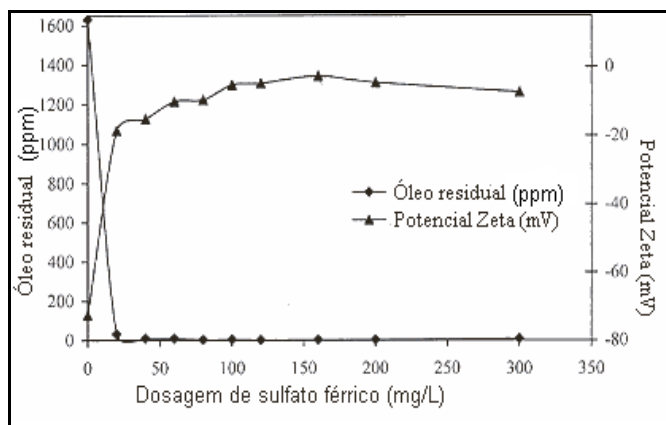


Figura 3.15 - A concentração de óleo residual e o potencial zeta em função da dosagem de sulfato férrico em um valor de $\text{pH} = 7$. *Fonte: AL-SHAMRANI et al. (2002)*

Comparando resultados de remoção de óleo variando-se a dosagem de coagulante e depois, os valores de pH , os autores concluíram que a estabilidade da emulsão é mais sensível ao valor do pH do que à dosagem de coagulante. Explicaram que, este fator pode estar ligado às condições ótimas para a hidrólise dos íons de ferro e alumínio. As melhores condições de pH para a desestabilização de emulsões de óleo e água foram encontradas próximas ao valor neutro.

Os autores verificaram que as melhores condições de mistura rápida ocorreram para gradientes de velocidade de 100 s^{-1} com duração de 120 s. Para a floculação, as melhores condições foram obtidas para valores de gradiente de velocidade mais baixos, com duração de 15 a 20 minutos.

3.7 - Outras tecnologias

Neste item serão analisados diferentes tipos de tratamento de efluentes de lavagem de veículos com a finalidade de se obter um panorama geral das tecnologias de remoção até agora desenvolvidas para este caso específico. Infelizmente não há muitos dados sobre a descontaminação de despejos similares na literatura.

3.7.1 - Membranas

Algumas pesquisas estudaram o tratamento de efluentes de lavagem de veículos com membranas de ultrafiltração, a qual pode ser definida como um processo físico de separação de substâncias de massas moleculares diferentes através de membranas porosas. A membrana porosa atua como barreira de à passagem de partículas, moléculas ou íons, conforme a dimensão dos poros (WAHL *et al*, 1979 apud SAWAMURA ,1997).

A eficiência da membrana é determinada por dois fatores: fluxo (é o volume que passa através da membrana por unidade de área da membrana por unidade de tempo) e a seletividade (é a medida de taxas de permeabilidade relativa de diferentes componentes através da membrana). Uma membrana ideal possui uma grande seletividade e permeabilidade. Porém quando se procura maximizar um fator piora-se o outro (CONSTANZI, 2000).

JÖNSSON & JÖNSSON (1995) encontraram valores de retenção e DQO de 60 % e fluxo de 30-50 L/m².h em membranas de ultrafiltração em ensaios com efluente de lavagem de veículos. O estudo demonstrou claramente que a UF não reduz a DQO em níveis permissíveis pelas autoridades ambientais. Não é possível alcançá-los nem mesmo utilizando membranas de nanofiltração. Contudo a reciclagem da água e de produtos químicos tem gerado grande interesse devido ao aumento dos custos de tratamento de esgotos. Contaminantes como óleos e graxas são retidos na membrana e removidos. A água e os agentes de limpeza passam e são reutilizados. No

entanto, antes de adotar esta tecnologia para a reciclagem do efluente em questão, são necessários mais estudos. Para PANPANIT & VISVANATHAN (2001) o principal problema do tratamento de efluentes de lavagem de veículos com ultrafiltração é a colmatação da membrana por adsorção do óleo na sua superfície. Demonstraram que a adição de bentonita pode amenizar este problema.

3.7.2 Biodegradação

A biodegradação pode ser definida como a redução da complexidade de produtos químicos através da atividade biológica. A conversão de um substrato orgânico à um produto inorgânico é conhecida como mineralização. Esses produtos são liberados pelos organismos no ambiente (ALEXANDER, 1994).

JÖNSSON E JÖNSSON (1995) citam a realização de uma intensiva investigação com efluentes de lavagem de carros no ano de 1992 em Göteborg, Suécia. Segundo os autores, se for constatada a razão $DBO_7/DQO > 0,5$, o efluente é considerado facilmente biodegradável. No entanto, foram encontrados valores para esta razão maiores que 0,5 em menos de 50% das amostras.

MARGESIN & SCHIMER (1998) conduziram estudos em laboratório sobre a descontaminação de um efluente proveniente de uma garagem de reparos e lavagem de veículos, por meio da biodegradação a uma temperatura de 10°C. Detectaram a presença de surfactantes aniônicos (57 mg/L) e óleo diesel (184 g de hidrocarbonetos/L). Segundo os autores, esta técnica permite a reciclagem desta água. Os microrganismos degradaram ambos os contaminantes eficientemente após a bioestimulação (otimização das condições de biodegradação com controle do pH e temperatura) e suprimento de nutrientes inorgânicos. Após 7 dias, os contaminantes residuais eram 11 mg/L de surfactantes e 26 mg/L de hidrocarbonetos. Após 35 dias os surfactantes foram reduzidos a 3 mg/L.

A biodegradação aeróbia é considerada por muitos profissionais da área, uma forte

tendência para a reciclagem de água de lavagem de veículos. Nos Estados Unidos e Holanda há relatos de operação destes sistemas. Ele possui vantagens como a possibilidade de reduzir surfactantes, óleos e graxas, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e não tem necessidade de uso de produtos químicos como nos processos físico-químicos. No entanto, alguns surfactantes podem inibir a biodegradação e seus efeitos tóxicos impacto ambiental negativo. Em estudos de biodegradação com surfactantes, deve-se estar atento ao tipo de surfactante e sua concentração (ALEXANDER, 1994).

3.7.3 Outros

ALLEN & WEBER (1978) criaram um sistema com a seguinte configuração:

Um sistema de drenagem coleta a água de lavagem dos veículos e a conduz até um tanque de clarificação. Parte da água é descartada para o sistema de esgotos e parte é bombeada para uma centrífuga separadora de partículas sólidas. Posteriormente, a água segue para um bocal que jorra água com detergente na fase de ensaboamento da lavagem, reciclando água e sabão.

A finalidade desta invenção foi providenciar um sistema simples e de baixo custo para a reciclagem da água. No entanto, o tanque de clarificação, provavelmente, não é mais o suficiente para atender as normas atuais de lançamento na rede, como o padrão estabelecido para óleos e graxas. Remove apenas partículas grosseiras em suspensão antes de sua descarga, a qual ocorre após a passagem pelo tanque. Como o sabão é reciclado e não há desinfecção da água, o sistema pode gerar odores desagradáveis devido à proliferação de bactérias. Além disso, existe a possibilidade de causar danos à saúde de operadores.

BATCHELOR (1979) cita o tratamento de água de lavagem de carros, veículos pesados e aviões com uma coluna de carvão ativado granular. Os detergentes e outros materiais são adsorvidos deixando a água limpa para a reciclagem. Afirma que a remoção da matéria orgânica encontra-se na faixa de 50 a 60%. Todavia, para isto ocorrer, os tempos de contato são longos e a

vida útil do carvão é curta, encarecendo o processo. A vida útil do carvão ativado granular depende das condições operacionais do sistema e do número de veículos lavados. Geralmente, é por volta de 12 meses.

SECEROV-SOKOLOVIS *et al.*(1992) testaram, em planta piloto, uma nova tecnologia modular, esquematizada na Figura 3.16, para tratar o efluente de lavagem de veículos. Definem a tecnologia modular como uma unidade compacta, geralmente móvel, cuja utilização é recomendável em indústrias com baixa vazão de efluentes.

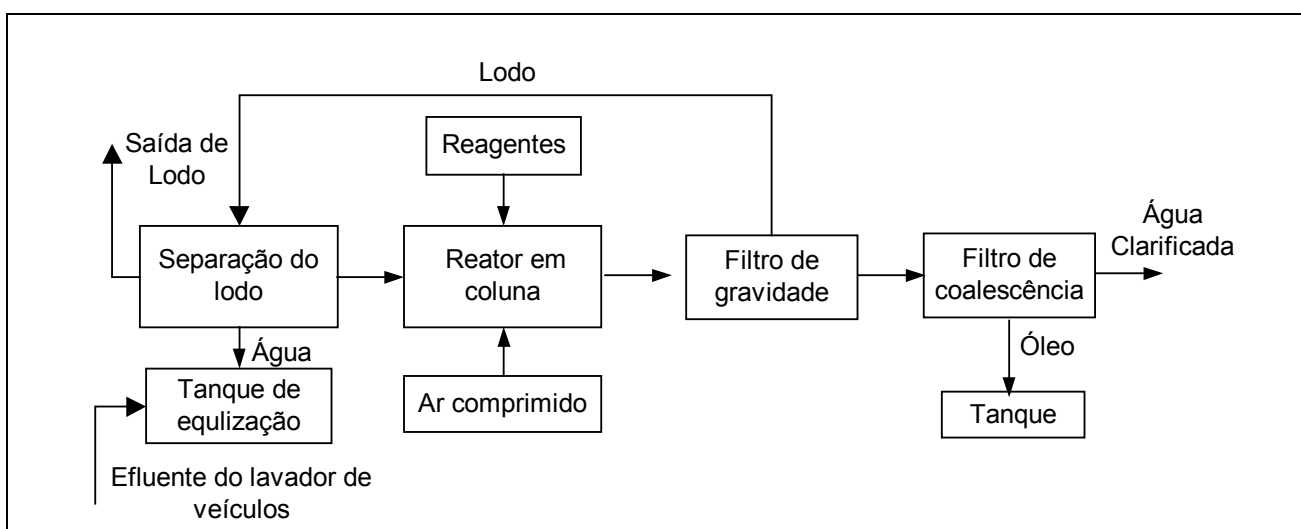


Figura 3.16 - Esquema de tecnologia modular para o tratamento de efluentes de lavagem de veículos. *Fonte: SECEROV-SOKOLOVIS *et al.*(1992)*

O equipamento foi desenvolvido para operações físico-químicas específicas, representadas pelos seguintes módulos:

- Reator em coluna: uma coluna com leito flutuante fixo constituída de um dispositivo para gerar bolhas e com fluxo de gás e água contínuo. No seu interior ocorrem os processos de mistura, aeração, oxidação e degradação aeróbia.
- Filtro de gravidade: proporciona a separação de sólidos em suspensão. O meio filtrante escolhido possui granulometria decrescente do topo até o fundo do filtro.
- Filtro de coalescência: o seu princípio de funcionamento é o fenômeno de coalescência. Polímeros são utilizados para propiciar a aglomeração das partículas e a filtração ocorre sob pressão.

A remoção foi de 83,2 , 95,4 e 97,8% de DQO, SS e óleos e graxas respectivamente, constituindo-se um excelente resultado.

4. METODOLOGIA

4.1 – Considerações iniciais

Serão apresentados neste capítulo a metodologia, os equipamentos e os materiais utilizados para a realização dos ensaios desta pesquisa, a qual foi desenvolvida nas instalações do Laboratório de Protótipos de Água e Esgoto e no Laboratório de Saneamento da FEC/UNICAMP no período de julho de 2002 a abril de 2003.

A metodologia deste estudo é baseada nos procedimentos recomendados por diversos pesquisadores, objetivando a determinação das condições mais adequadas para o tratamento de águas geradas em lavadores de veículos, pelo processo da coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido, conforme segue:

- Construção de diagramas de coagulação;
- Otimização do período e gradiente de velocidade na etapa de floculação, conforme proposto por MENDES (1989);

- Determinação de parâmetros ótimos operacionais para a flotação por ar dissolvido, conforme metodologia utilizada por DOMBROSKI (1996) e CENTURIONE FILHO (2002)

4.2 – Equipamentos

Os equipamentos utilizados durante a execução dos ensaios foram os seguintes: Equipamento floteste de bancada, constituído de seis reatores estáticos dotados de placas condutora e difusora para distribuição da água saturada com ar, câmara de saturação e acessórios (Figura 4.1); Turbidímetro nefelométrico, modelo 2100 P da Hach (Figura 4.2); Condutivímetro, modelo Sension5 da Hach (Figura 4.2); Potenciômetro para a leitura de pH modelo Sension1 (Figura 4.2); Colorímetro, modelo DR 890 da Hach, (Figura 4.2); Espectrofotômetro Hach, modelo DR- 4000 U, Espectrofotômetro Hach, modelo DR- 2500; Balança analítica; Cronômetro digital; Termômetro de bulbo; Reator de digestão de DQO; Mufla; Estufa; Banho-maria; Bomba de vácuo; Agitador eletromagnético; Chapa aquecedora; Aparelho de extração de Soxlet.



Figura 4.1 – Equipamento de floteste



Figura 4.2 – Turbidímetro, condutivímetro, pHmetro e colorímetro

4.3 – Produtos Químicos

Neste item serão citados os produtos químicos utilizados nos ensaios de coagulação, floculação e flotação, isto é, os coagulantes, polímeros, além de soluções padronizadas a 0,1 N de NaOH e HCl para o ajuste de pH.

Os coagulantes estudados foram os seguintes:

- Sulfato de alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 14,3 \text{ H}_2\text{O}$, a solução diluída a 45,7 % (45,7 g em 100 mL) foi adquirida na ETA da SAEF de Porto Ferreira;
- Cloreto Férrico $\text{FeCl}_3 \times 6 \text{ H}_2\text{O}$ a solução diluída a 41 % (41 g em 100mL) foi adquirida na ETA da SANASA, Campinas;

- PAC (Hidroxiclreto de alumínio) PANFLOC HIPER PLUS da Indústria PAN-AMERICANA S.A., com as propriedades destacadas na Tabela 4.1;

Tabela 4.1 – Características e especificações do hidroxiclreto de alumínio PANFLOC HIPER PLUS

Al ₂ O ₃ (m/m- %)	24
Peso Específico (g/mL)	1,35
Teor de sólidos (%)	51,1
Concentração (g/L)	690

- PAC (Hidroxiclreto de alumínio) PANFLOC AP da Indústria PAN-AMERICANA S.A., com as seguintes propriedades destacadas na Tabela 4.2;

Tabela 4.2 – Características e especificações do hidroxiclreto de alumínio PANFLOC HIPER PLUS

Al ₂ O ₃ (m/m- %)	17,9
Peso Específico (g/mL)	1,379
Teor de sólidos (%)	57,66
Concentração (g/L)	790

A aplicação dos polieletrólitos foi realizada da seguinte forma; uma solução estoque para cada polieletrólito estudado, foi preparada com água destilada numa concentração de 0,5 % (5g/L), cuja mistura ocorreu por meio da agitação do líquido durante 120 minutos. No momento dos testes a solução foi novamente diluída para uma concentração de 0,05% (0,05g em 100 mL) e utilizada no mesmo dia. A solução estoque foi mantida resfriada a 4°C por no máximo três semanas.

Os polieletrólitos utilizados foram:

- W 360 da Nalco Produtos Químicos Ltda: polímero catiônico com alta massa molecular, aparência líquida fosca, densidade a 20°C de $1,05 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$; pH da emulsão de $4,0 \pm 0,5$;
- G999 da Nalco Produtos Químicos Ltda: poliacrilamida não iônica com alta massa molecular, sólido granulado com granulometria de no máximo 1,25 mm e teor de insolúveis de no máximo 5 %, Densidade aparente de $0,75 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$ e concentração de dissolução de 5,0 g/L;
- G9046 da Nalco Produtos Químicos Ltda: poliacrilamida de altíssima carga catiônica com alta massa molecular, sólido granulado com granulometria de no máximo 1,25 mm e teor de insolúveis de no máximo 5 %, Densidade aparente de $0,80 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$ e concentração de dissolução de 15 g/L;
- Praestol 2515 TR da Stockhausen Latino Ltda: é um polieletrólito aniônico, a base de poliacrilamida. É um material granular branco, com densidade aproximada de 700 kg/m^3 , pH 7 (aproximadamente);
- TANFLOC SG da TANAC S.A.: é um extrato vegetal obtido através da lixiviação aquosa da casca da Acácia Negra, um polímero orgânico catiônico líquido, de coloração marrom, densidade a 23°C de $1,1 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$; solubilidade total em água, com pH entre 1,7 e 2,3.

Para a correção do pH foram utilizados os seguintes produtos:

- Acidificante: solução de ácido clorídrico na concentração de 0,1 N;

- Basificante: solução de hidróxido de sódio na concentração de 0,1 N.

4.4 – Coleta das amostras

Foram realizadas várias determinações laboratoriais com as amostras, coletadas em um sistema de lavagem de veículos do tipo túnel, instalado no setor de manutenção de veículos oficiais da UNICAMP, no campus da Cidade Universitária, Zeferino Vaz, Barão Geraldo, Campinas.

No lavador da UNICAMP (Figura 4.3), o veículo segue pelo do interior do equipamento em formato de túnel, passando por áreas de ensaboamento e enxágüe, respectivamente. O detergente diluído em água é aplicado e a seguir, a sujeira é mecanicamente removida por escovas; quatro laterais e uma superior e por fim, o automóvel é enxaguado com água limpa. Os veículos mais sujos são lavados manualmente antes de seguirem para o túnel, utilizando uma mangueira com jato de alta pressão. Geralmente, lava-se manualmente as rodas e a parte abaixo da carroceria. A área de lavagem manual localiza-se anteriormente à automática. O efluente de ambos os tipos de lavagem é coletado em uma vala localizada abaixo do túnel antes de ser descartado na rede de esgotos.

O detergente utilizado neste caso é um "shampoo" automotivo, com a seguinte formulação: aquil sulfonato de sódio, base alcalina, base neutra, cloreto de sódio e espessante.

A coleta das amostras foi realizada bloqueando a saída de água na vala localizada abaixo do túnel com uma garrafa PET de 2 L. O efluente era acumulado nesta caixa, tornando possível a sua retirada com um balde.



Figura 4.3 – Lavagem de veículos automática na UNICAMP

4.5 - Ensaios no floteste

Os ensaios de coagulação, floculação e flotação foram realizados numa unidade de flotação por ar dissolvido em escala de bancada com escoamento descontínuo (ver Figura 4.4). O equipamento é constituído de uma câmara de pressurização e recirculação (Figura 4.5) com capacidade de, aproximadamente, 2,5 L, seis jarros de coagulação-floculação-flotação em acrílico transparente com dimensões 115x115 mm (volume útil de 2,0 L), dispositivos de aplicação conjunta de produtos químicos e de coleta de amostras dos jarros, e conjunto único, moto-redutor, provido de ajuste da rotação (15 a 480 rpm) aplicada nas paletas agitadoras dos jarros (1"x 3") e tacômetro digital. A parte inferior dos jarros é constituída de "manifold" provido de diversos orifícios que permitem a introdução e distribuição uniforme de água saturada com ar, além de válvulas esfera de engate rápido, e mangueiras de conexão com a câmara de saturação e dispositivos de controles diversos.

A metodologia adotada, semelhante à utilizada por CENTURIONE FILHO (2002), será

descrita a seguir:

- A câmara de saturação era preenchida utilizando água destilada, pressurizando-a no valor pré-estabelecido (P), mantendo-se o processo de saturação por um período mínimo de 10 minutos;
- Adicionava-se o efluente nos jarros de flotação, com pequenas parcelas de água em estudo. Quando o nível da água atingia cerca de 1/4 do volume total, os jarros eram tombados para expelir as bolhas que ficavam aprisionadas na sua parte inferior. A seguir, o restante do volume era preenchido até atingir a marca de 2 litros em cada um deles;
- As mangueiras condutoras de água saturada com ar eram preenchidas com a água proveniente da câmara de saturação, efetuando o descarte na linha de alimentação dos jarros. Com este procedimento, era possível verificar se estas se encontravam bem conectadas aos jarros, evitando vazamentos durante a execução do ensaio de flotação;
- O motor era acionado, e a rotação, ajustada para impor o gradiente de velocidade escolhido nos jarros (G_{mr}) durante a etapa de mistura rápida (ver Figura 4.6);
- O volume correspondente às dosagens pré-estabelecidas de coagulante era adicionado em cada jarro, utilizando os frascos de aplicação simultânea. Após o período desejado de mistura rápida (T_{mr}), a rotação era ajustada para o valor correspondente ao gradiente de velocidade (G_f) desejado para a etapa de floculação e acionar o cronômetro (ver Figura 4.7);

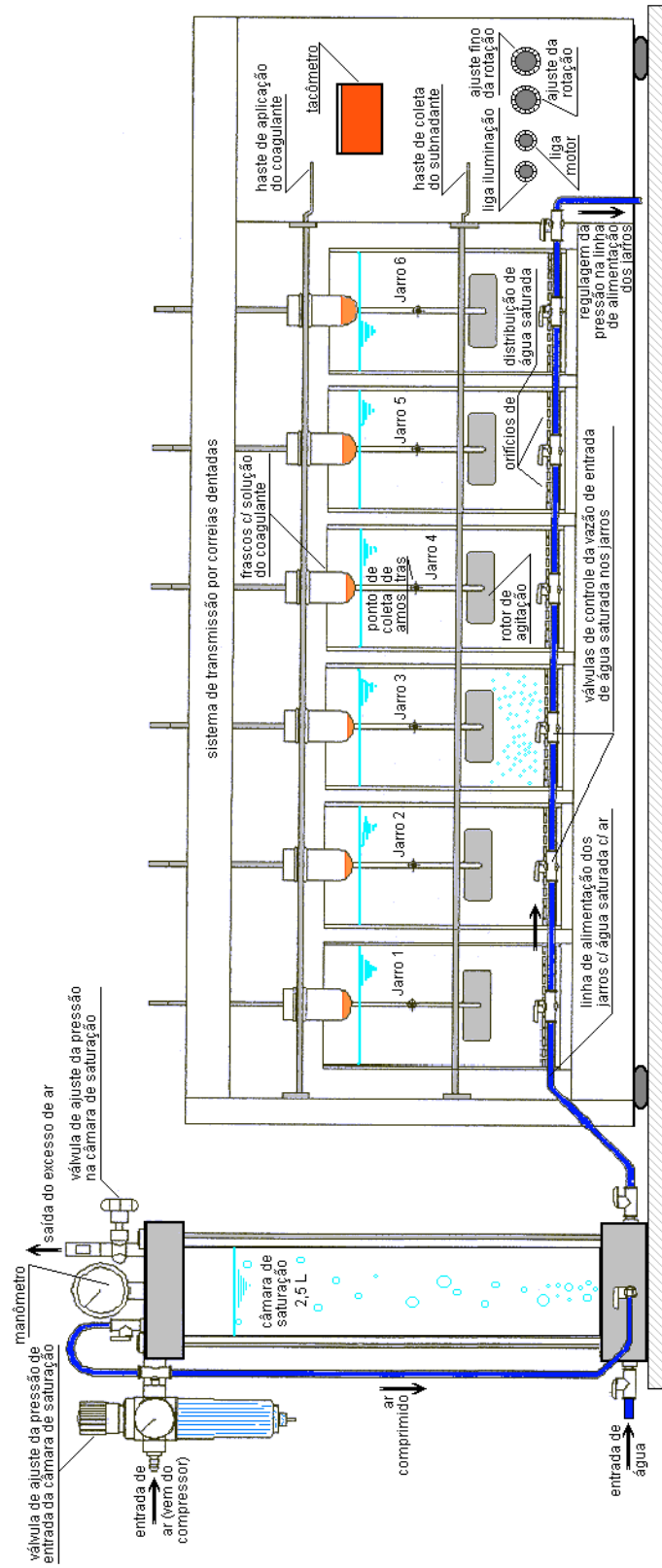


Figura 4.4 - Vista esquemática do equipamento de Floteste utilizado nos ensaios de bancada.



Figura 4.5 – Câmara de pressurização e recirculação



Figura 4.6 – Mistura rápida



Figura 4.7 – Floculação

- Ao final do tempo de floculação, desligava-se a agitação, levantava-se as hastes dos agitadores e os registros dos jarros eram abertos para a aplicação da água de recirculação, como pode ser visto na Figura 4.8.



Figura 4.8 – Introdução de água saturada com ar: Flotação

- O cronômetro era acionado ao final da introdução de água saturada com ar, a seqüência que ilustra o fim da recirculação e a clarificação do subnadante é ilustrada nas Figuras 4.9, 4.10 e 4.11;

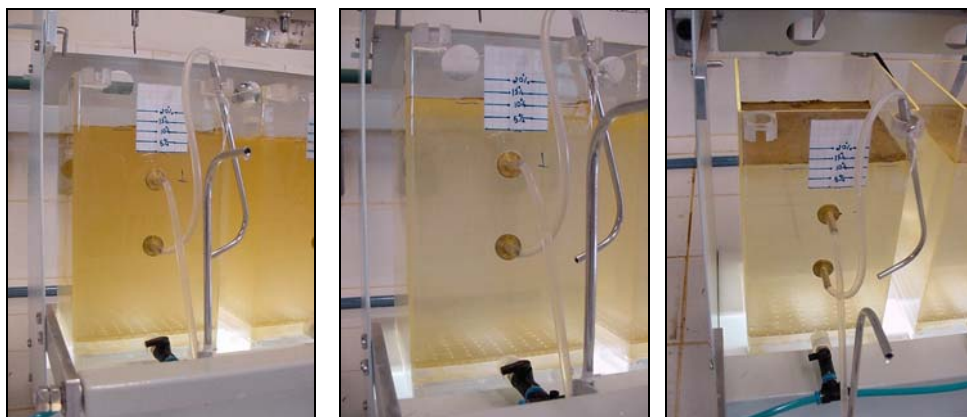


Figura 4.9, 4.10 e 4.11 – Seqüência que ilustra o fim da recirculação; início da clarificação do subnadante; formação da camada de lodo na superfície e clarificação do subnadante

- As amostras eram, a seguir, coletadas para as velocidades ascensionais desejadas, sempre fazendo um descarte de duração aproximada de 5 s antes de cada coleta. Tendo em vista que o ponto de coleta da amostra situa-se a 12 cm de altura com relação à base do frasco, para velocidades ascensionais de 20, 15, 10 e 5 cm/min, as amostras deveriam ser coletadas após 36 s; 48 s; 1 min e 12 s; e 2 min e 24 s, respectivamente. Exemplificando o que foi executado durante os ensaios, para uma velocidade ascensionais de 5 cm/min, a coleta foi iniciada após 2 min e 14 s, perdurando até 2 min e 34 s (duração da coleta de 20 segundos). Desta forma, o tempo médio de coleta coincide com o valor apresentado acima, de 2 min e 24 s. Antes do efetivo período de coleta de cada amostra, sempre era executado um descarte por período de, aproximadamente, 5 s, de forma que o volume contido no interior das

mangueiras de coleta não interferisse com a amostra clarificada.

- A escolha dos parâmetros estudados para cada amostra flotada, foi realizada de acordo com a cada etapa do trabalho, a ser descrita detalhadamente nos próximos itens. Os efeitos da diluição proveniente da introdução da água saturada com ar foram levados em consideração na leitura dos parâmetros. Como exemplo, para um valor de turbidez de uma amostra flotada com um volume de recirculação de 200 mL, igual a 2 uT, sabendo-se que o volume inicial do efluente no jarro é de 2000 mL, após a recirculação o volume passa a ser 2200 mL. Desta forma, a correção do valor de turbidez pode ser feita dividindo-se o valor encontrado por 0,9 (2000/2200). Logo, a turbidez corrigida desta amostra é igual a 2,22 uT (2/0,9).

4.6 – Série A: Testes Preliminares para escolha do coagulante

Nesta fase, foi investigado o emprego de diversos tipos de coagulantes; o cloreto férrico, o sulfato de alumínio e dois tipos de hidroxiclreto de alumínio (Panfloc Hiper Plus e Panfloc AP) na remoção de turbidez da amostra flotada com o objetivo de verificar qual deles apresentava o maior potencial para a aplicação no caso do tratamento do efluente de lavagem de veículos por FAD.

O pH inicial (pH in) do efluente era corrigido para os valores pré-definidos de 4,0; 7,0; e 9,0 utilizando-se soluções padronizadas 0,1 N de ácido clorídrico e hidróxido de sódio. A adição destas soluções ocorria antes da mistura rápida com gradiente de velocidade ajustado para o valor de 100 s^{-1} . O pH, foi também medido após o ensaio de floteste, este foi denominado com pH final. O objetivo de determinar o pH in e o pH final foi estudar como a adição de determinado coagulante interferia na acidez ou na basicidade do efluente final e se a utilização deste produto químico implicava na necessidade de corrigir o pH para haver uma remoção satisfatória de

turbidez.

Nos ensaios das demais séries, o pH, denominado como pH coagulação, era medido durante a floculação, com a finalidade de estudar qual a medida exata de pH na qual ocorre determinada remoção de turbidez, ou de DQO.

As dosagens de coagulante foram variadas (50,0; 70,0; 90,0; 110,0; 130,0 e 150,0 mg/L) em função do pH in (pH corrigido após a adição de solução padronizada 0,1 N de HCl ou de NaOH), visando a obtenção de vários pares de valores “pH in X dosagem de coagulante”.

Foram fixados determinados parâmetros durante os ensaios no floteste., os quais estão descritos na Tabela 4.3

Tabela 4.3 – Parâmetros fixos dos ensaios de floteste da série A

Tempo de mistura rápida	$T_{mr} = 10 \text{ s}$
Gradiente de velocidade média de mistura rápida	$G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$
Tempo de floculação	$T_f = 10 \text{ min}$
Gradiente de velocidade médio da floculação	$G_f = 50 \text{ s}^{-1}$
Taxa de recirculação	$R = 10\%$
Velocidade ascensional	$V_a = 5 \text{ cm/min}$
Pressão da câmara de saturação	400 kPa

Antes do início de cada ensaio, eram realizadas medidas de temperatura, pH e turbidez. Com os resultados obtidos, foi possível escolher o coagulante a ser empregado nas etapas seguintes.

4.7 – Série B: Construção do Diagrama de Coagulação

Após a escolha do coagulante, foram plotados os diagramas de coagulação para a flotação por ar dissolvido, com os valores de eficiência de remoção de turbidez para cada par de valores de dosagem de “coagulante escolhido X pH de coagulação”, determinando-se as regiões ótimas de trabalho. O pH de coagulação foi medido nos próprios jarros durante o período de floculação.

O diagrama de coagulação foi construído para as seguintes condições:

- Dosagem de coagulante: 5,0; 10,0; 20,0 25,0; 30,0; 35,0; 40,0; 45,0, 50,0; 55,0; 60,0; 65,0 e 70,0 mg/L;
- Volume de HCl (0,1 N): 4,0; 5,0; 7,0 e 8,0 mL
- Volume de NaOH (0,1N):3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0 e 9,0 mL

Os parâmetros fixos dos ensaios são apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Parâmetros fixos dos ensaios de floteste da série B

Tempo de mistura rápida	$T_{mr} = 10 \text{ s}$
Gradiente de velocidade média de mistura rápida	$G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$
Tempo de floculação	$T_f = 15 \text{ min}$
Gradiente de velocidade médio da floculação	$G_f = 50 \text{ s}^{-1}$
Taxa de recirculação	$R = 15\%$
Velocidade ascensional	$V_a = 5 \text{ cm/min}$
Pressão da câmara de saturação	400 kPa

Antes do início de cada ensaio, eram realizadas medidas de temperatura, pH e turbidez.

4.8 - Série C: Influência do uso de polieletrólitos na remoção de turbidez

Os ensaios desenvolvidos neste item visaram investigar a influência de diversos polieletrólitos como auxiliares de coagulação, floculação e flotação e a escolha do(s) que manifestasse(m) os resultados mais positivos para o seu uso na continuidade do trabalho. Para tanto, foram utilizados os pares de valores “pH x dosagem de coagulante” escolhidos na série D.

Os polímeros utilizados nessa fase foram os já citados anteriormente, quais sejam: aniônico (2515 TR), catiônicos (Tanfloc, W360 e G9046) e não iônico (G999).

Os procedimentos de adição dos polímeros nos jarros, apresentados a seguir, foram baseados no estudo realizado por DI BERNARDO & PAIXÃO (1999):

- Dosagens de polieletrólitos variando entre 0 e 0,5 mg/L;
- Mistura rápida do coagulante primário, $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$ e tempo de agitação, $T_{mr} = 10 \text{ s}$;
- Introdução do polímero: 1 min após a mistura do coagulante;
- Mistura rápida do polímero: gradiente de velocidade igual a 300 s^{-1} e tempo de agitação de 60 s.

Os demais parâmetros, mantidos fixos, encontram-se descritos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Parâmetros fixos dos ensaios de floteste da série C

Tempo de floculação	Tf = 10 min
Gradiente de velocidade médio da floculação	Gf = 50 s ⁻¹
Taxa de recirculação	R = 10%
Velocidade ascensional	Va = 5 cm/min
Pressão da câmara de saturação	400 kPa

Antes do início de cada ensaio, eram realizadas medidas de temperatura, pH , turbidez e DQO.

4.9 – Série D: Influência da ação conjunta de PAC + Polieletrólito sobre a remoção de turbidez, cor verdadeira, cor aparente DQO e DQO filtrada

Após as primeiras etapas, nas quais avaliou-se a apenas a eficiência de remoção de turbidez, ensaios de DQO e DQO filtrada passaram a ser realizados com o intuito de refinar a escolha do polieletrólito ideal, sua dosagem e influência sobre a possível redução da dosagem do coagulante primário. Além disso, testar a eficiência de remoção de poluentes não só suspensos, como dissolvidos.

Partindo-se da pré-escolha entre os polieletrólitos utilizados na série anterior, os testes foram realizados variando-se as dosagens destes e do coagulante primário da seguinte maneira:

- Dosagens de polieletrólitos variando entre os limites de 0,0 a 1,6 mg/L;
- Dosagens de coagulante variando entre 0,0 e 60 mg/L.

Os demais parâmetros, mantidos fixos, encontram-se descritos na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Parâmetros fixos dos ensaios de floteste da série D

Tempo de mistura rápida	$T_{mr} = 10s$
Gradiente de velocidade média de mistura rápida	$G_{mr} = 1000 s^{-1}$
Tempo de floculação	$T_f = 15 \text{ min}$
Gradiente de velocidade médio da floculação	$G_f = 50 s^{-1}$
Taxa de recirculação	$R = 15\%$
Velocidade ascensional	$V_a = 5 \text{ cm/min}$
Pressão da câmara de saturação	400 kPa

Antes do início de cada ensaio, eram realizadas medidas de alcalinidade, temperatura, pH, turbidez e condutividade. A água da rede no local de coleta foi analisada em termos de condutividade antes e depois da lavagem de veículos.

Após os primeiros ensaios desta série, outros parâmetros passaram a ser analisados para a água bruta e tratada, como testes de DQO e cor verdadeira, cujas amostras foram anteriormente filtradas em membranas com poros de abertura igual a $0,45 \mu m$. Além destes, foram realizadas análises de cor aparente. Nos últimos ensaios, foram incluídas análises de DQO com amostras não filtradas, com objetivo de verificar, também, a remoção de substâncias causadoras de DQO, para partículas maiores que $0,45 \mu m$.

4.10 – Série E: Otimização dos parâmetros que governam a floculação e a flotação

Verificou-se, para as condições ótimas dos ensaios anteriores (pH e dosagens de coagulante e de polieletrólito), o efeito do gradiente de velocidade, do tempo de floculação (parâmetros de floculação) e da taxa de recirculação e velocidade ascensional (parâmetros de

flotação) na eficiência do processo em estudo. As amostras passaram por filtração em papel com fibra de vidro de abertura igual a 1,2 μm antes do ensaio de DQO filtrada.

Para cada gradiente de velocidade estudado ($G_f = 50$ e 100 s^{-1}), foi analisada como a variação no período de floculação ($T_f = 1, 4, 7, 10, 13$, e 16 min) influenciava a remoção das substâncias causadoras de turbidez, cor aparente, DQO e DQO filtrada.

Os demais parâmetros, mantidos fixos, encontram-se descritos na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Parâmetros fixos dos ensaios de floteste na otimização dos parâmetros de floculação (série E)

Dosagem de coagulante	Valor escolhido a partir dos ensaios da série D
Dosagem de Polieletrólito	Valor escolhido a partir dos ensaios da série D
Tempo de mistura rápida	$T_{mr} = 10\text{s}$
Gradiente de velocidade média de mistura rápida	$G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$
Taxa de recirculação	$R = 15\%$
Velocidade ascensional	$V_a = 5 \text{ cm/min}$
Pressão da câmara de saturação	400 kPa

Com o par de valores escolhidos nos ensaios anteriores, isto é, de G_f e T_f , ótimos, foram avaliados a influência dos parâmetros que governam a flotação por ar dissolvido, tais como, a taxa de recirculação ($R = 5; 10$ e 15%) e a velocidades ascensional ($V_{asc} = 5; 10$ e 20 cm/min).

Estes ensaios tiveram sua programação feita com cautela, pois ao variar a V_{asc} , a coleta deveria ser em tempos diferentes. Além disso, aplicar a taxa de recirculação de 5% em três jarros simultaneamente (um para cada V_{asc} estudada) é de difícil operação quando o equipamento é manejado apenas por uma pessoa. Este processo ocorre muito rapidamente já que o volume a ser inserido é pequeno (100 mL). A programação do ensaio ocorreu conforme a Tabela 4.8. Os

demais parâmetros, mantidos fixos, encontram-se descritos na Tabela 4.9.

Tabela 4.8 – Programação dos ensaios de otimização dos parâmetros de flotação

Ensaio	Jarro	R (%)	Vasc (cm/min)	Início do descarte (min)	Início da coleta (min)	Fim da coleta (min)
1	1	5	5	2:09	2:14	2:34
	2	15	5	2:09	2:14	2:34
	3	20	5	2:09	2:14	2:34
2	1	5	10	0:97	1:02	1:22
	2	15	10	0:97	1:02	1:22
	3	20	10	0:97	1:02	1:22
3	1	5	20	0:21	0:26	0:46
	2	15	20	0:21	0:26	0:46
	3	20	20	0:21	0:26	0:46

Foram analisados, para a água bruta e tratada, os valores de remoção de turbidez, de cor aparente, de DQO e de DQO filtrada.

Tabela 4.9 – Parâmetros fixos dos ensaios de floteste na otimização dos parâmetros de flotação (série E)

Dosagem de coagulante	Valor escolhido a partir dos ensaios da série D
Dosagem de Polieletrólito	Valor escolhido a partir dos ensaios da série D
Tempo de mistura rápida	$T_{mr} = 10 \text{ s}$
Gradiente de velocidade média de mistura rápida	$G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$
Tempo de floculação	Valor escolhido a partir dos ensaios de otimização dos parâmetros de floculação
Gradiente de velocidade média de floculação	Valor escolhido a partir dos ensaios de otimização dos parâmetros de floculação
Pressão da câmara de saturação	400 kPa

4.11 – Série F: Comparação entre a flotação e a sedimentação

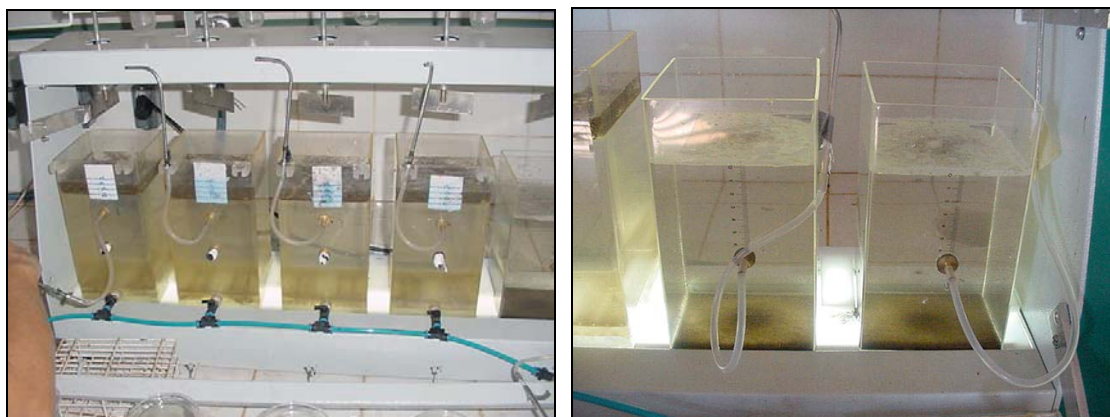
Nesta etapa, os ensaios foram realizados com o objetivo de comparar a eficiência da FAD e decantação na clarificação do efluente e caracterizar a amostra bruta e clarificada quanto a parâmetros até então não analisados, como Sólidos (série completa), Cloretos e Óleos e Graxas.

O ensaio de sólidos sedimentáveis no cone de Inhoff é apresentada na Figura 4.12.



Figura 4.12 – Ensaio de sólidos sedimentáveis no cone de Inhoff

O ensaio foi realizado em seis jarros, sendo 4 jarros destinados a flotação, e 2 jarros à sedimentação. Para realizar os ensaios de sedimentação foram trocados dois jarros do floteste, por dois jarros do jarteste, como pode ser constatado nas Figuras 4.13 e 4.14.



Figuras 4.13 e 4.14 – Ensaio de flotação e de sedimentação, respectivamente.

Os parâmetros fixos de flotação e sedimentação são apresentados nas Tabelas 4.10 e 4.11, respectivamente.

Tabela 4.10 – Parâmetros fixos dos ensaios de flotação (série F)

Dosagem de coagulante	Valor escolhido a partir dos ensaios da série D
Dosagem de Polieletrólito	Valor escolhido a partir dos ensaios da série D
Tempo de mistura rápida	$T_{mr} = 10 \text{ s}$
Gradiente de velocidade média de mistura rápida	$G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$
Tempo de floculação	Valor escolhido a partir dos ensaios da série E
Gradiente de velocidade média de floculação	Valor escolhido a partir dos ensaios a série E
Taxa de recirculação	Valor escolhido a partir dos ensaios da série E
Velocidade ascensional	Valor escolhido a partir dos ensaios da série E
Pressão da câmara de saturação	400 kPa

Tabela 4.11 – Parâmetros fixos dos ensaios de sedimentação (série F)

Dosagem de coagulante	Valor escolhido a partir dos ensaios da série d
Dosagem de Polieletrólito	Valor escolhido a partir dos ensaios da série d
Tempo de mistura rápida	$T_{mr} = 10s$
Gradiente de velocidade média de mistura rápida	$G_{mr} = 1000 s^{-1}$
Tempo de floculação	Valor escolhido a partir dos ensaios da série E
Gradiente de velocidade média de floculação	Valor escolhido a partir dos ensaios da série E
Tempo de sedimentação	5 min
Velocidade de sedimentação	2 cm/min

Tendo em vista a possibilidade de comparação entre os desempenhos da FAD e da sedimentação, foram adotados os mesmos parâmetros nos ensaios de flotação e sedimentação, com exceção das velocidades (ascensional e de sedimentação).

A espessura da camada de lodo foi medida ao longo do período em que foram realizados os ensaios, assim, foi obtido o seu valor médio. Somando-se a este, o resultados dos ensaios de sólidos totais (série F), foi possível determinar um valor aproximado da produção de lodo ou do teor de sólidos na lâmina de lodo flotado (T_{sol}) calculado a partir do desenvolvimento das equações a seguir:

$$M_{lodo} = M_{bruta} - M_{flo} \quad (\text{equação 4.1})$$

$$M_{lodo} = (ST_{bruta} * V_{ad}) - (ST_{flo} * ((V_{ad} + V_R) - e * A_{jarro})) \quad (\text{equação 4.2})$$

Sendo;

M_{bruta} = massa da amostra bruta (g/L);

M_{flo} = massa da amostra clarificada por flotação (g/L);

M_{lodo} = massa de lodo (g);

ST_{bruta} = sólidos totais da amostra bruta (g/L);

V_{ad} = volume de efluente adicionado ao jarro de floteste (L);

ST_{flo} = sólidos totais da amostra clarificada por flotação (g/L);

V_R = volume de recirculação (L);

H_{util} = altura da lâmina líquida no jarro de floteste (dm);

A_{jarro} = área horizontal do jarro de floteste (dm²);

e = espessura da camada de lodo (dm);

A massa de lodo gerada no tratamento do efluente por FAD corresponde à diferença entre massa de sólidos da amostra bruta e a massa de sólidos da amostra clarificada, como pode ser constatado na equação 4.1.

Por sua vez, a massa da amostra bruta corresponde ao valor dos sólidos totais da amostra bruta multiplicado pelo volume adicionado ao jarro de floteste, que no caso deste estudo foi de 2L.

A massa de sólidos clarificada é determinada multiplicando-se o valor dos sólidos totais da amostra clarificada, determinada experimentalmente e o volume da amostra clarificada, este é obtido pela diferença entre o volume total adicionado ao jarro ($V_{ad} + V_R$) e o volume do lodo flotado ($e \cdot A_{jarro}$).

O teor de sólidos na lâmina de lodo flotado (T_{sol}), que representa a produção de lodo por unidade de volume, é calculado pela equação abaixo:

$$T_{sol} = M_{lodo} / (e \cdot A) \quad (\text{equação 4.3})$$

Sendo ;

T_{sol} = teor de sólidos presente na lâmina de lodo flotado (g/L).

4.12 – Monitoração dos ensaios

Os parâmetros monitorados durante os experimentos são apresentados na Tabela 4.12 As análises e as determinações efetuadas para avaliação e controle dos ensaios obedeceram às padronizações de ensaios descritas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (19ª edição), com exceção do ensaio de cloretos.

Tabela 4.12 – Parâmetros monitorados durante os experimentos

Parâmetro	Método	Frequência
pH	Método Potenciométrico	Todos os ensaios
Temperatura		Todos os ensaios
Turbidez	Método Nefelométrico	Todos os ensaios
Cor	Método Espectrofotométrico	Ensaio das séries D e E
Alcalinidade	Método Titulométrico	Ensaio das séries D e E
Condutividade		Ensaio das séries D, E e F
DQO	Método do Refluxo do Dicromato (método colorimétrico)	Ensaio das séries C (água bruta), D, E e F (água bruta e clarificada)
Cloretos	**	Ensaio da série E
Sólidos		Ensaio da série E
Óleos e Graxas	Método de Extração por Soxhlet	Ensaio da série E

** Ensaio realizado de acordo com o método 8113 (Método do Tiocianato de Mercúrio) contido no manual do Espectrofotômetro Hach, DR 2500.

Na Figura 4.15 é apresentada a seqüência dos ensaios que foram realizados durante o desenvolvimento do presente projeto de mestrado.

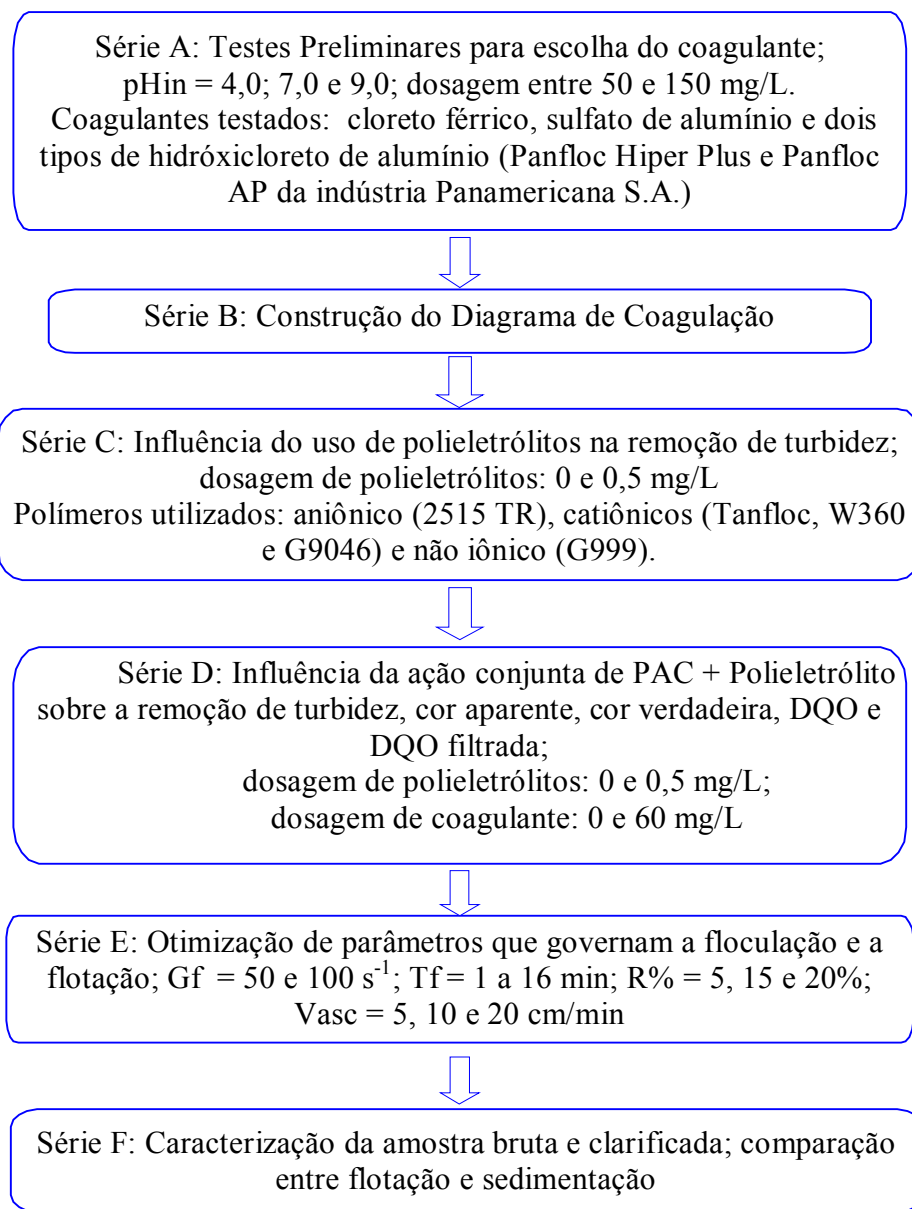


Figura 4.15: Fluxograma dos experimentos realizados

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1– Série A: Testes Preliminares para a escolha do coagulante

Nas planilhas do Anexo A, Tabelas a.1 a a.10, são apresentados os resultados dos testes efetuados com emprego dos coagulantes: cloreto férrico, sulfato de alumínio e PAC (Panfloc Hiper Plus e AP).

No caso do cloreto férrico, verificou-se uma significativa redução do valor do pH das amostras para dosagens variando entre 50 a 150 mg/L. O melhor resultado obtido corresponde a uma remoção de 94% da turbidez inicial para uma dosagem de 70 mg/L no pH inicial de 7,0, conforme a Figura a.1. Destaca-se que, nesse ponto de trabalho da coagulação houve uma redução do valor do pH final para 5,9, o qual é um pH ácido. Logo, seria necessário se corrigir o pH antes, para proporcionar uma coagulação mais eficiente, e depois do tratamento, pois um pH ácido poderia tornar a água corrosiva para os veículos. Este fato implica numa maior necessidade de operação do sistema, encarecendo-o.

Os resultados obtidos para o sulfato de alumínio, em comparação com o cloreto férrico, foram piores. Houve poucos pontos de remoção de turbidez, como pode ser visualizado na Figura a.2. Além disso, o uso do sulfato de alumínio, assim como o do cloreto férrico, também causa

uma redução do pH final.

As reações de hidrólise dos sais de alumínio e de ferro são determinadas pelo pH, e dependendo do composto formado na hidrólise, maior a eficiência da coagulação. Esta é a principal razão pela qual a performance do sulfato de alumínio e do cloreto férrico como coagulantes varia na medida em que se altera o pH.

O decaimento no valor do pH de ambos os coagulantes ocorre porque nos instantes iniciais após a sua adição, manifesta-se uma supersaturação de H_2CO_3 com a conseqüente queda no valor do pH (MENDES, 1989).

A escolha do coagulante apropriado recaiu sobre o Panfloc Hiper Plus, tendo em vista os melhores resultados de remoção de turbidez (de até 95%), sem a necessidade de alteração do valor inicial do pH da amostra bruta, para uma dosagem aplicada de 50 mg/L, conforme o verificado na FIGURA 5.1 apresentada a seguir. O Panfloc Hiper Plus apresentou uma maior eficiência na remoção da turbidez inicial que o Panfloc AP, para todos os pontos estudados.

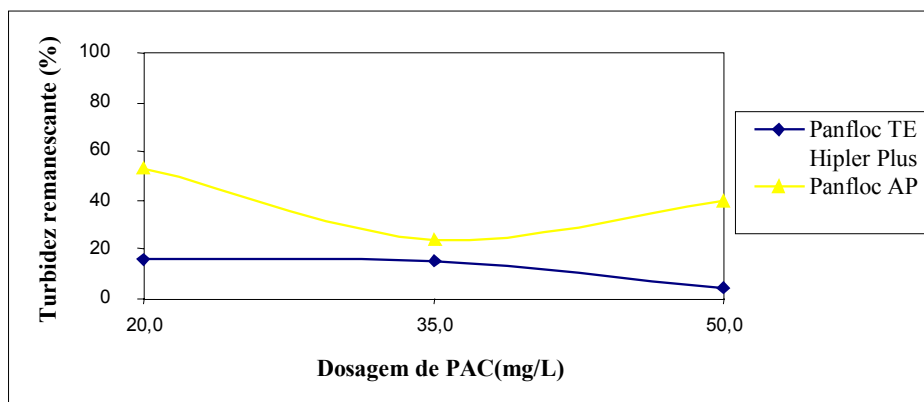


Figura 5.1 - Comparação da turbidez remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação entre dois tipos de PAC (Panfloc Hiper Plus e Panfloc AP)

Na figura acima, verifica-se que o Panfloc Hiper Plus apresentou uma maior eficiência na remoção da turbidez inicial que o Panfloc AP em todos os pontos estudados.

Outro fato destacável consiste na pequena alteração dos valores do pH final das amostras tratadas com PAC, cujos valores registrados foram de 7,7 a 8,0 partindo-se de um valor de pH inicial igual a 8,22 para dosagens entre 20 e 50 mg/L, como pode ser constatado nas Tabelas a.7, a.8, a.9 e a.10. Segundo PAVANELLI (2001), o Hidroxicloreto de Alumínio ou PAC é um sal de alumínio prepolimerizado, de fórmula bruta $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ na qual a relação $m/3n \times 100$ representa a basicidade do produto. Em função dessa basicidade, o PAC, durante a hidrólise, libera, em igualdade de dosagem de íons metálicos, uma quantidade de ácido consideravelmente menor do que os coagulantes tradicionais como o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Isso provoca uma menor variação do pH do meio tratado.

5.2– Série B: Construção do Diagrama de Coagulação

No Anexo B, apresentam-se as Tabelas b.1 a b.6, referentes a uma mesma amostra bruta, com turbidez variando entre 51 e 66,5 uT, onde foram testadas as dosagens do PAC do tipo Panfloc Hiper Plus variando entre 10 e 70 mg/L e os valores de pH variando entre 7,83 e 8,13, com ou sem a introdução de soluções padronizadas ($0,1 \text{ mol/L}^{-1}$) de HCl e NaOH.

Na Figura 5.2 é apresentado o diagrama de coagulação resultante, onde são verificadas duas regiões ótimas de operação da coagulação numa ampla faixa de pH, quais sejam:

- Região 1: dosagem de coagulante variando entre 50 e 70 mg/L; pH de coagulação variando entre 7,3 e 8,8; o ponto ótimo corresponde à dosagem de 70 mg/L num pH de 7,70, resultando no valor de turbidez residual de 2%.
- Região 2: : dosagem de coagulante variando entre 10 e 30 mg/L; pH de coagulação

variando entre 7,9 e 9,1; o ponto ótimo corresponde à dosagem de 30 mg/L num pH de 8,40 , resultando no valor de turbidez residual de 1%.

No mesmo anexo B, as Tabelas b.7 a b.13 foram construídas para a investigação da segunda amostra bruta com turbidez entre 91,7 a 103 uT. Na Figura 5.3 é apresentado o diagrama de coagulação resultante, onde são visualizadas duas regiões ótimas de operação da coagulação numa ampla faixa de pH, quais sejam:

- Região 1: dosagem de coagulante variando entre 45 e 70 mg/L; pH de coagulação variando entre 7,3 e 9,0; o ponto ótimo corresponde à dosagem de 65 mg/L num pH de 7,30 , resultando no valor de turbidez residual de 1%.
- Região 2: dosagem de coagulante variando entre 10 e 35 mg/L; pH de coagulação variando entre 9,0 e 9,2; o ponto ótimo corresponde à dosagem de 10 mg/L num pH de 9,1, resultando no valor de turbidez residual de 4%.

Merece destaque a observação de que para a amostra com turbidez mais elevada, a região 2 sofre uma redução significativa em termos de faixa operacional de valores de pH além de redução da eficiência de remoção de turbidez. Desta forma, admitiu-se como faixa ótima operacional o interior da região 1, isto é, pH ótimo de coagulação variando entre 7,3 e 8,5; e dosagem ótima de PAC entre 50 a 70 mg/L.

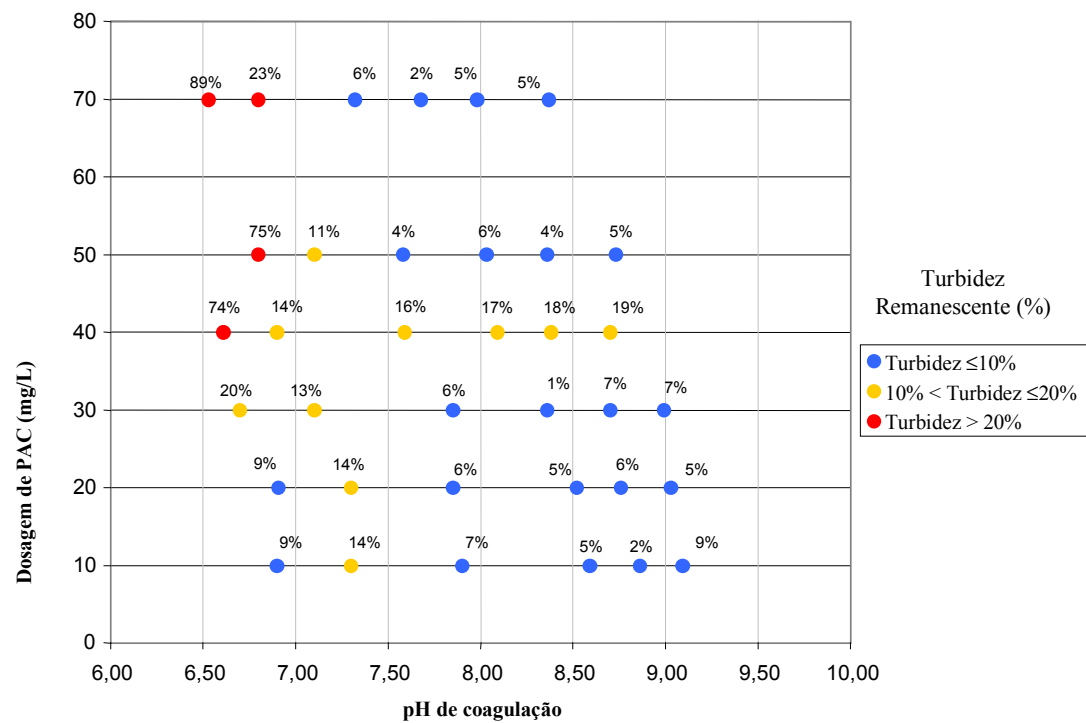


Figura 5.2 - Diagrama de coagulação para água de lavagem de veículos - Percentagem de turbidez remanescente em função da dosagem de PAC e pH de coagulação.

-Água bruta: turbidez: 51 a 66,5 uT.

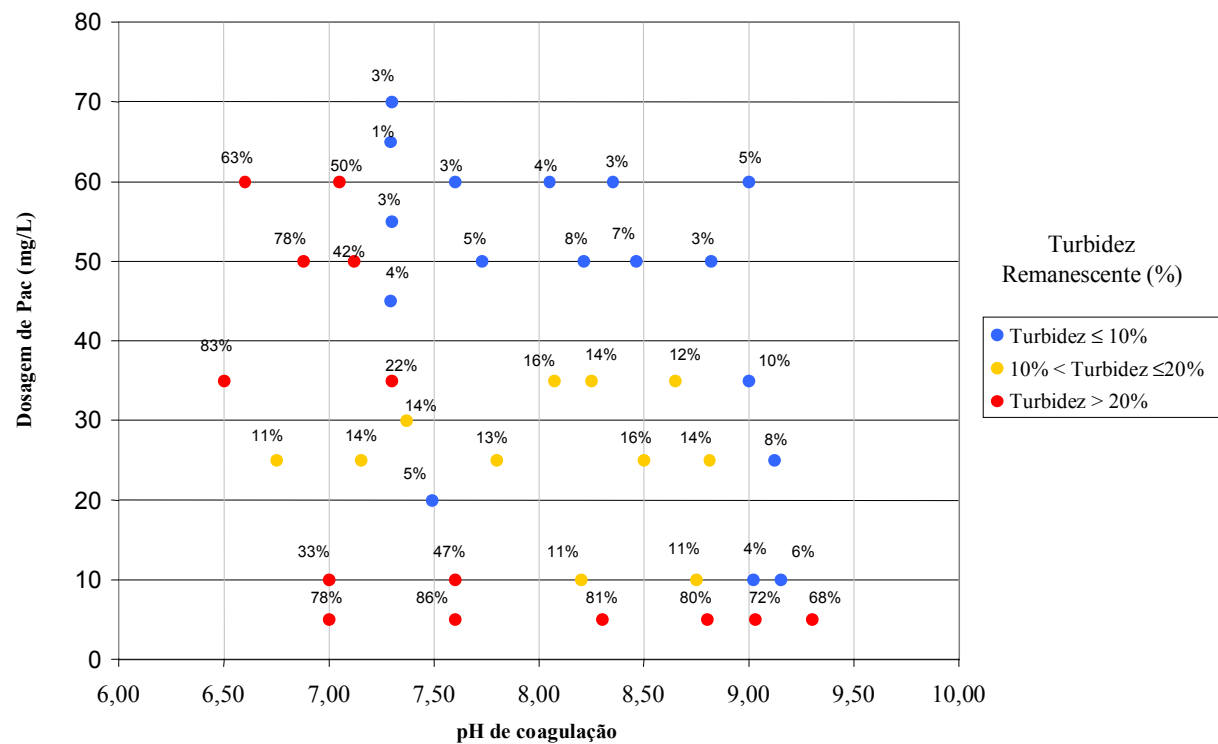


Figura 5.3- Diagrama de coagulação para água de lavagem de veículos - Percentagem de turbidez remanescente em função da dosagem de PAC e pH de coagulação.
 Água bruta: turbidez : 91,7 a 106 uT.

5.3– Série C: Influência do uso de polieletrólitos na remoção de turbidez

Apresenta-se no Anexo C, as Tabelas c.1 a c.4, referentes a ensaios desenvolvidos com o objetivo de investigar a influência do uso de polieletrólitos como auxiliares de coagulação e floculação para a flotação e escolha do que manifestar os resultados mais positivos para a sua utilização na continuidade do trabalho. Entre os produtos testados listam-se:

- Aniônicos (2515 TR);
- Catiônicos (Tanfloc , W360, G9046);
- Não iônico (G999).

Aplicando-se dosagens de polieletrólitos variando entre 0 e 0,5 mg/L, observou-se que, apesar da pequena influência, o uso dos produtos G999 e W360, na dosagem de 0,5 mg/L, proporcionou um ganho de eficiência de remoção de turbidez, principalmente no caso em que o efluente bruto manifestou as piores condições iniciais (amostra 2). Na figura 5.4 são apresentados, de forma resumida, os principais resultados e permite, também, concluir que o uso do polieletrólito aniônico é desfavorável ao processo de tratamento, dentro dos limites definidos.

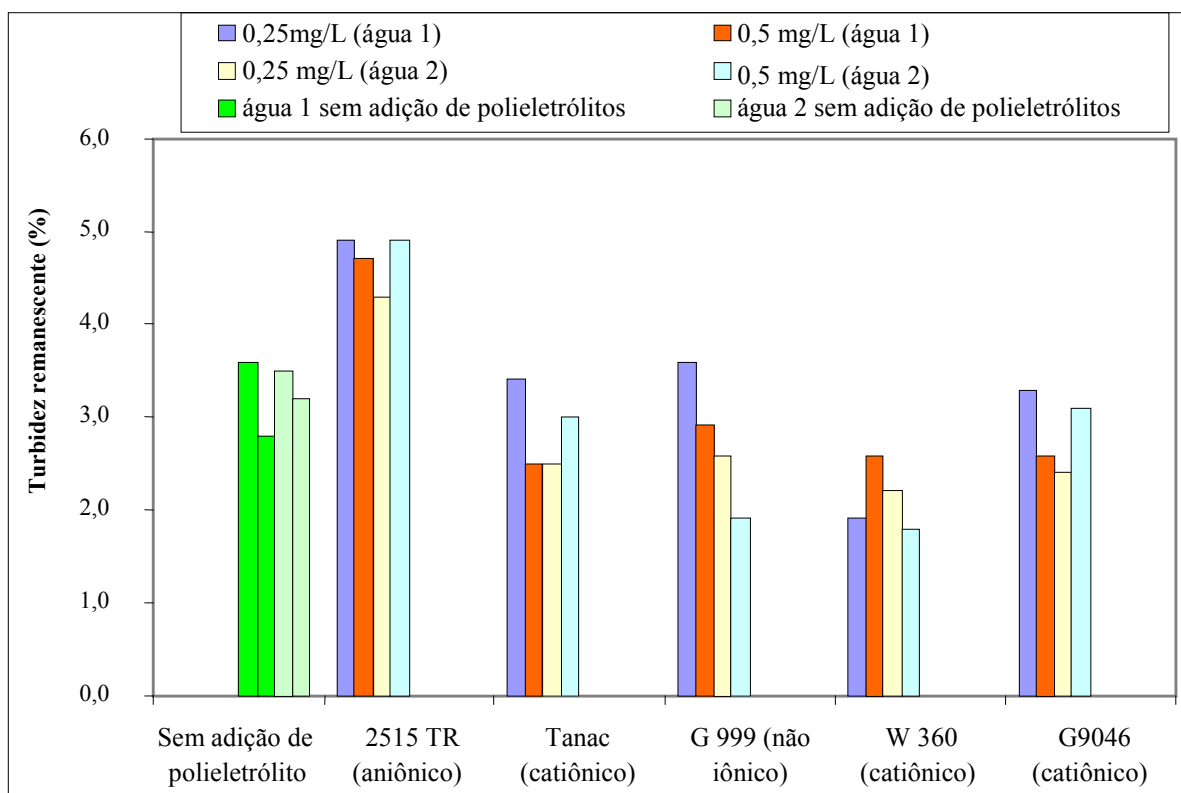


Figura 5.4 – Comparação da eficiência de remoção de turbidez entre resultados obtidos variando a dosagem e tipo de polieletrólitos, para efluentes brutos coletados em dias distintos (água 1: turbidez = 39,7 uT; água 2: turbidez = 60 uT)

Com base nesses resultados, optou-se pela continuidade dos estudos e ensaios com o uso de ambos os polieletrólitos (G 999 e W360) na série de ensaios seguintes, ampliando-se o espectro de dosagens empregadas e incluindo-se sua influência na remoção de compostos causadores de cor e DQO.

5.4– Série D: A influência da ação conjunta de PAC + Polieletrólito sobre a remoção de turbidez, cor verdadeira, cor aparente, DQO e DQO filtrada

Nesta série, são apresentados dados referentes a diversos ensaios realizados com o intuito de refinar a escolha do polieletrólito e analisar a possibilidade de reduzir a dosagem de coagulante primário (PAC). Os resultados são apresentados nas Tabelas d.1 a d.13, expostas nos Anexo D, onde, também, apresentam-se figuras ilustrativas dos principais resultados comparativos entre o uso de coagulantes e respectivas eficiências sobre a remoção dos parâmetros mencionados. As Tabelas d.1 a d.9, referem-se ao uso do G999. Nas Tabelas d.10 e d.11, os resultados são comparativos entre o uso de dois auxiliares de floculação e, nas Tabelas d.12 e d.13, o ensaio foi realizado apenas com o W360.

Foi testada a utilização apenas dos polieletrólitos como agentes coagulantes (sem o PAC como coagulante) em dois jarros; um com G999 (Tabela d.5) e o outro com W360 (Tabela d.11). Para a dosagem empregada (1,6 mg/L), a remoção de turbidez foi extremamente inferior aos outros jarros, os quais adicionou-se o PAC como coagulante e os polieletrólitos como auxiliares de floculação.

Sob o aspecto de remoção de turbidez, cor aparente e cor verdadeira, foi possível verificar que o uso do PAC como único coagulante proporcionou excelentes resultados de remoção para as dosagens de 30 mg/L, com ganhos insignificantes com a elevação desta para 60 mg/L. Analisando-se a ação conjunta do PAC com o polieletrólito, no caso, G999, verificou-se conforme apresentado nas Figuras 5.5 a 5.7, que para dosagens de polieletrólito de 0,7 até 1,6 mg/L houve apenas uma pequena melhora remoção de cor e turbidez.

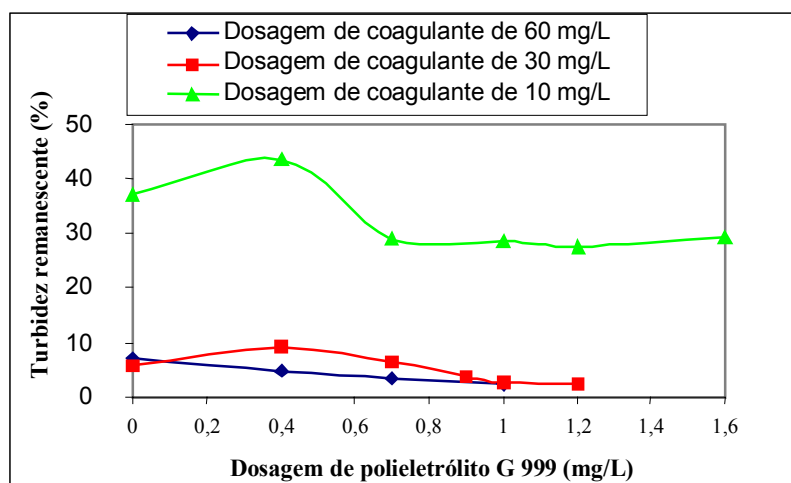


Figura 5.5 – Variação da turbidez remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante PAC e do polieletrólito G999. Água bruta: Turbidez : 120 uT

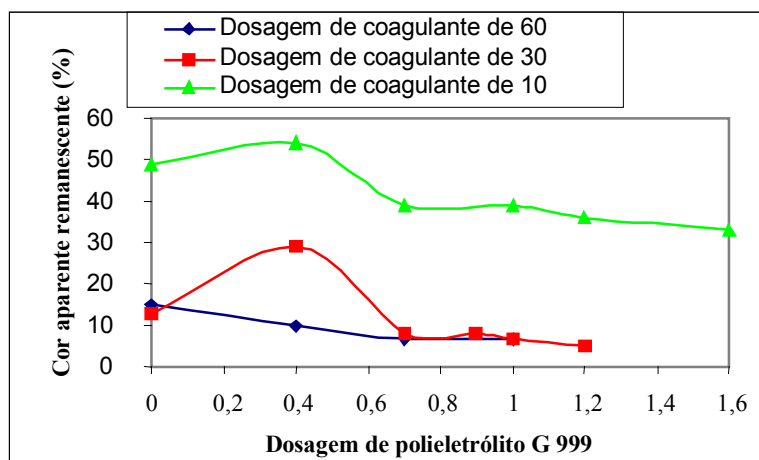


Figura 5.6 – Variação da cor aparente remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante PAC e do polieletrólito G999. Água bruta: Cor aparente = 760 uC

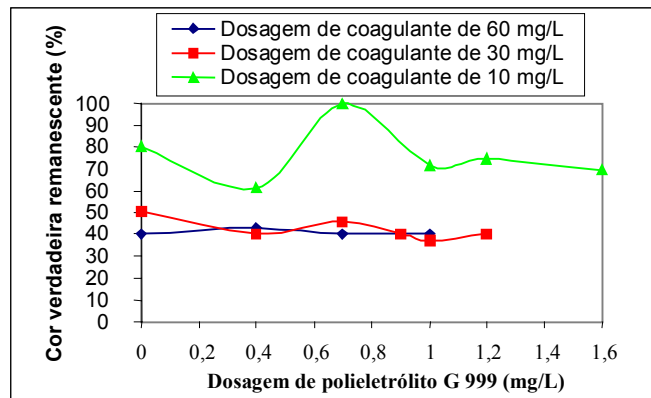


Figura 5.7 – Variação da cor verdadeira remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante PAC e do polieletrólito G999. Água bruta: Cor verdadeira = 43 uC

De forma análoga, o uso do W 360, também não demonstra melhores comparativas em relação ao uso do coagulante primário como único produto. A visualização desta conclusão pode ser feita pela observação das Figuras 5.8 a 5.10, apresentadas a seguir.

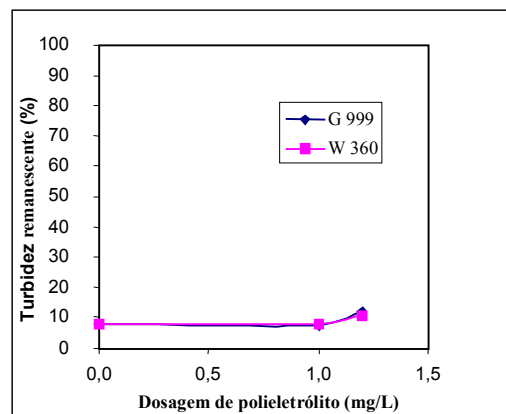


Figura 5.8 – Valores remanescentes de turbidez, em função da variação da dosagem de polímeros (G 999 e W360). Dosagem de coagulante (PAC) de 30 mg/L

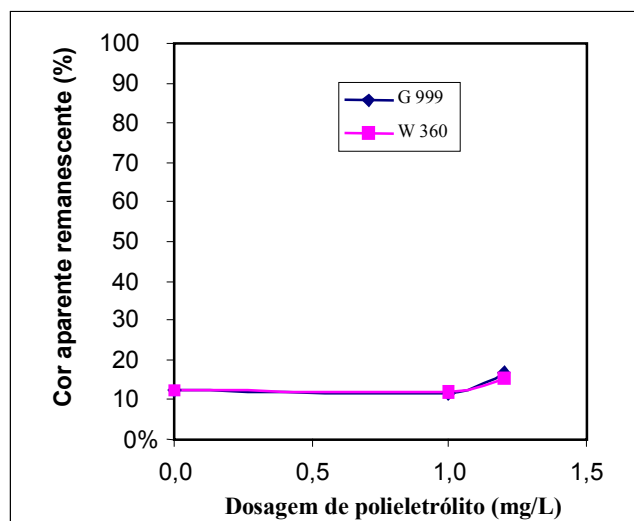


Figura 5.9 – Valores de cor aparente remanescente , em função da variação da dosagem de polímeros (G 999 e W360). Dosagem de coagulante (PAC) de 30 mg/L

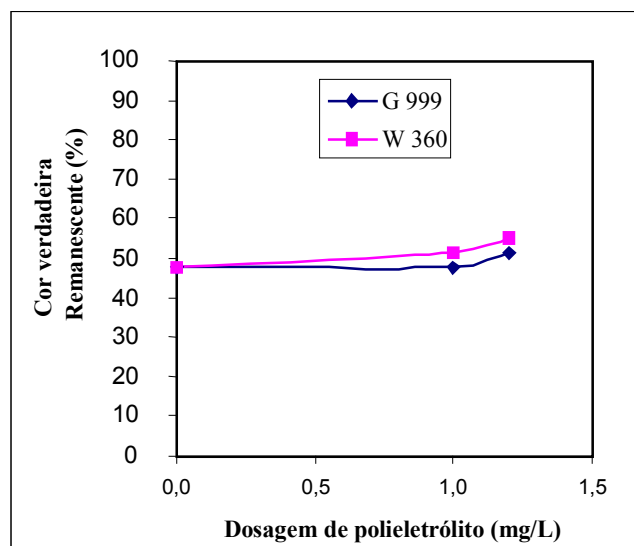


Figura 5.10 – Valores de cor verdadeira remanescente , em função da variação da dosagem de polímeros (G 999 e W360). Dosagem de coagulante (PAC) de 30 mg/L

Quanto ao aspecto de remoção de DQO e DQO filtrada para as dosagens menores, como 30 mg/L foi inferior à remoção encontrada para dosagens de 60 mg/L. Pode-se verificar que houve uma fina dependência entre a eficiência obtida e a dosagem de coagulante primário, ou seja, com o aumento da dosagem deste (de 30 para 60 mg/L), houve significativo aumento da remoção de substâncias causadoras de DQO. Para os valores de remoção turbidez as dosagens inferiores de coagulante foram eficientes, o mesmo não ocorreu para a remoção de DQO. Nota-se que o tratamento possibilita a remoção de parte da DQO filtrada, a qual representa as substâncias com partículas dissolvidas, isto é, menores que a porosidade do filtro (0,45 μm).

As espécies químicas formadas pela hidrólise do PAC com dosagens maiores de coagulante, inseridas na região 1 dos diagramas de coagulação apresentados anteriormente, provavelmente tem maior eficiência na remoção de partículas dissolvidas do que as dosagens inseridas na região 2. Portanto o mecanismo de remoção de DQO não é o mesmo para a remoção de sólidos em suspensão, representados pelos valores de turbidez. Esta conclusão está de acordo com o estudo realizado por LIU *et al* (2001). Segundo os autores, a uma remoção extra de DQO é resultante das frações solúveis. GALIL *et al* (2001) concluiu que o processo de FAD utilizando sais de alumínio e polieletrólitos catiônicos, pode remover substancialmente matéria orgânica dissolvida. Este mecanismo, segundo os pesquisadores, pode ser explicado pelo fato de algumas substâncias possuírem características hidrofóbicas, o que facilita a sua aderência aos flocos.

Foi verificado grande melhora na remoção de substâncias causadoras de DQO (bruta e filtrada) com o emprego dos polieletrólito catiônico (W 360), o mesmo não ocorreu com o polieletrólito não iônico. Pode-se concluir que o polieletrólito catiônico melhora a remoção das frações solúveis presentes no efluente. No entanto, mais estudos são necessários para elucidar os mecanismos de remoção de partículas solúveis após um tratamento físico químico com PAC e polieletrólitos.

O resumo de tais resultados é apresentado nas Figuras 5.11 (com o uso do G999) e 5.12 (com o uso do W 360), onde, também é verificado grande melhora de remoção de substâncias

causadoras de DQO (bruta e filtrada) com o emprego dos polieletrólitos, principalmente para o W 360.

Nota-se na figura a seguir, que a remoção de DQO é superior à remoção de DQO filtrada para dosagens menores de coagulante, o mesmo não ocorre para as dosagens de 60 mg/L. Isto reforça a teoria de que a remoção de substâncias solúveis é mais eficiente para dosagens maiores de coagulante.

De posse desses dados, adotaram-se para a continuidade dos estudos o uso do PAC e do W360, nas dosagens de 60,0 e 1,2 mg/L, respectivamente.

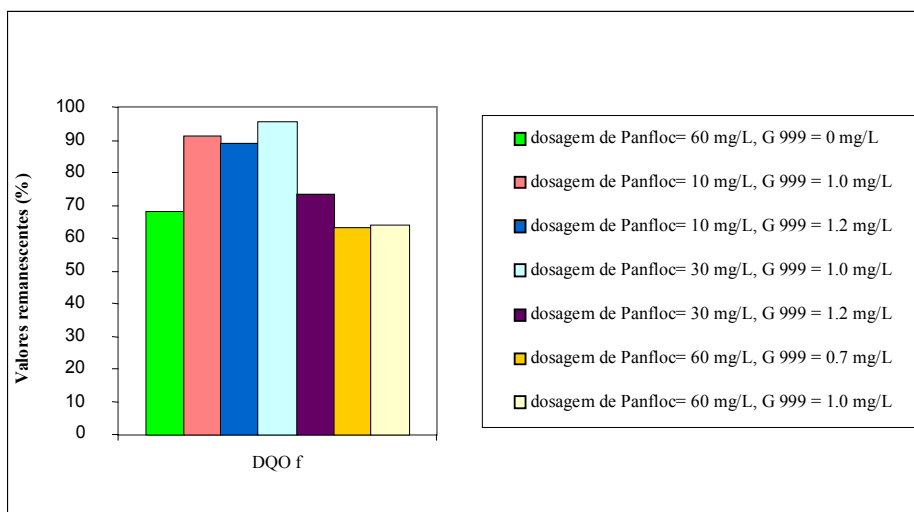


Figura 5.11 –Valores remanescentes de DQO filtrada do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante PAC e do polieletrólito G999. Água bruta: Turbidez = 120 uT

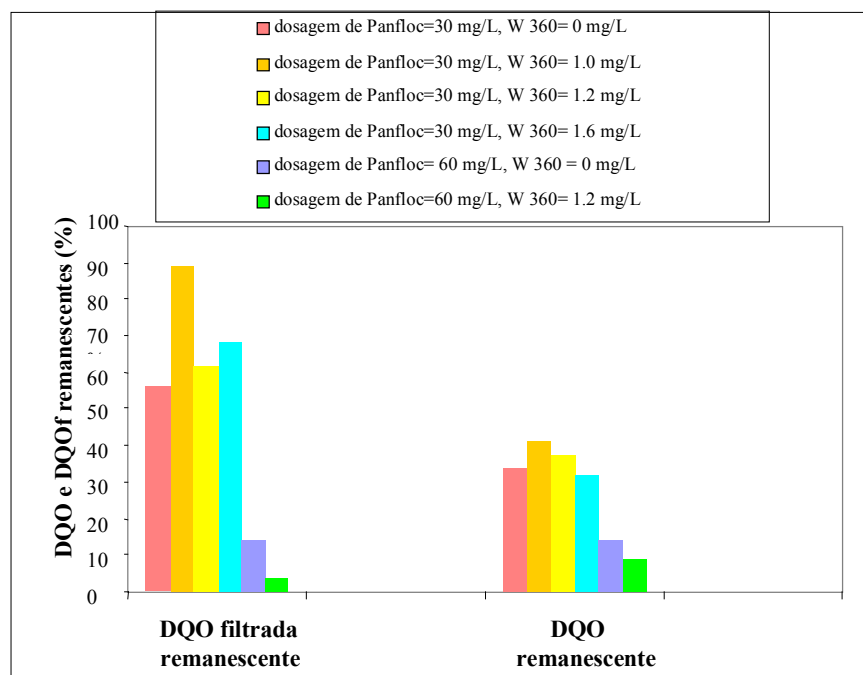


Figura 5.12– Valores remanescentes de DQO filtrada, e DQO para a dosagem de coagulante (PAC) variando entre 30 e 60 mg/L e a dosagem polieletrólito (W360) variando de 0 a 1,6 mg/L. Água bruta: DQO filtrada = 37,2 mg/L; DQO = 88,2 mg/L

Em todos os ensaios desta série, verificou-se que o valor da condutividade teve um pequeno acréscimo com a adição apenas do coagulante. Na medida em que aumentava a dosagem de polieletrólito, este valor decrescia até chegar a valores muito próximos da condutividade da água bruta.

5.5– Série E: Otimização de parâmetros que governam a floculação e a flotação

Os resultados dessa série são apresentados nas planilhas do Anexo E (Tabelas e.1 a e.3), objetivando-se fixar as condições ótimas operacionais das etapas de floculação e de flotação.

Nas Tabelas e.1 e e.2, apresentam-se dados de condições fixas para a flotação, conforme ensaios anteriores, variando-se as condições de floculação, ou seja, gradiente de velocidade e período de floculação.

Conforme o previsto, para cada gradiente de velocidade, houve um período de floculação ótimo. Tal fato pode ser visualizado com facilidade nas FIGURAS 5.13, 5.14 e 5.15, as quais enfocam as eficiências de remoção de turbidez, cor aparente e DQO, respectivamente.

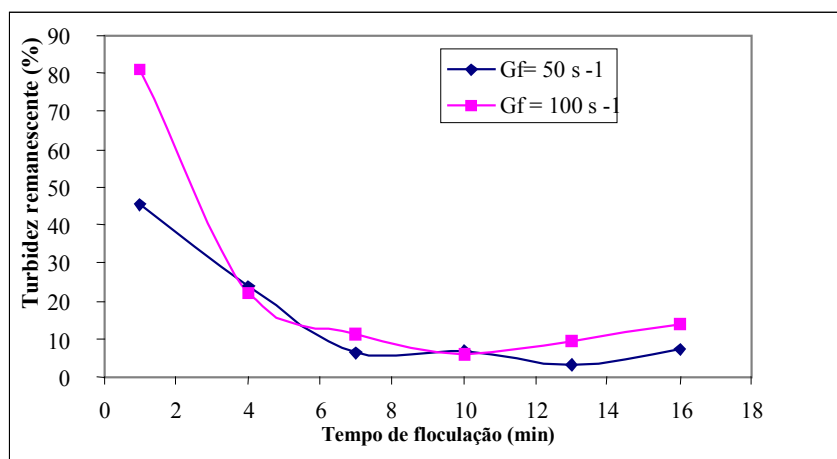


Figura 5.13 – Valores remanescentes de turbidez em função do tempo de floculação para os gradientes de velocidade de 50 e 100 s⁻¹. Água bruta: Turbidez=146 uT.

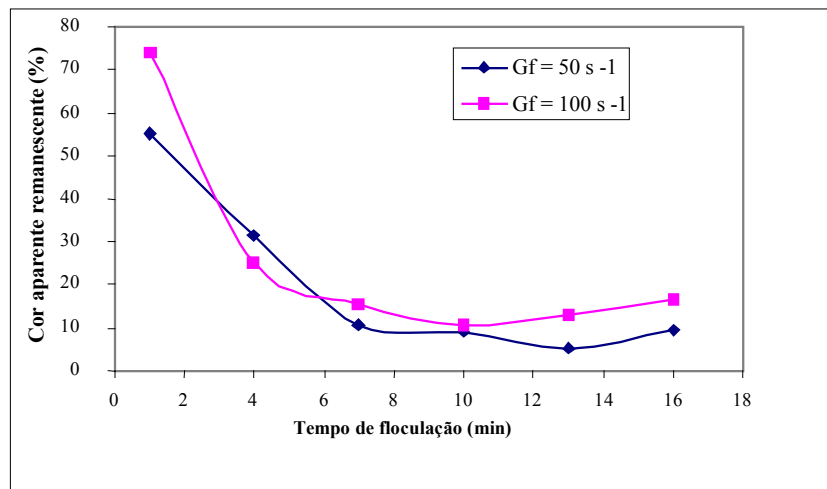


Figura 5.14 – Valores remanescentes de cor aparente em função do tempo de floculação para os gradientes de velocidade de 50 e 100 s⁻¹. Água bruta: Cor aparente = 838 uC.

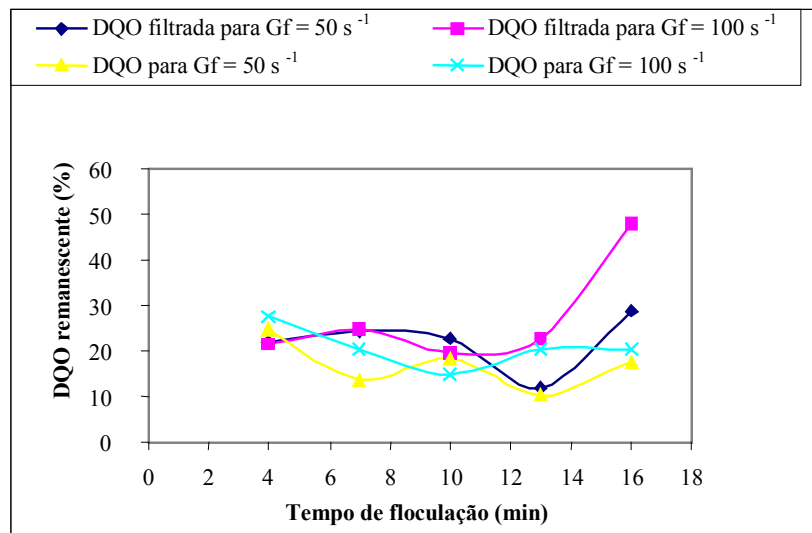


Figura 5.15 – Valores remanescentes de DQO em função do tempo de floculação para os gradientes de velocidade de 50 e 100 s⁻¹. Água bruta: DQO = 165 mg/L, DQO filtrada: 69.2 mg/L

Para o gradiente de velocidade igual a 50 s^{-1} , o período de floculação ótimo resultou em 13 minutos. Por outro lado, para um gradiente de velocidade de 100 s^{-1} , o período de floculação ótimo correspondente foi igual a 10 minutos, fato que comprova que, aumentando-se a intensidade de agitação, o período necessário para a formação dos flocos deve diminuir, sob risco de iniciar a sua ruptura em períodos superiores ao valor ótimo.

A escolha e fixação dos parâmetros que governam a floculação, recaiu sobre o valor de $G_f = 50 \text{ s}^{-1}$ e de $T_f = 13$ minutos, em decorrência de melhores eficiências de remoção de todos os parâmetros avaliados, em comparação do outro par de valores ótimos ($G_f = 100 \text{ s}^{-1}$ e $T_f = 10$ minutos).

Na Tabela e.3, apresentam-se os resultados dos ensaios que objetivaram verificar a influência dos parâmetros que governam a flotação por ar dissolvido. Desta forma, sob todas as condições otimizadas determinadas anteriormente (produtos químicos, dosagens, pH de coagulação, mistura rápida e floculação) mantidas fixas, variaram-se as taxas de recirculação da água saturada (5, 15 e 20 %) em cada jarro, executando-se coletas das amostras clarificadas em tempos pré-definidos (ver item 4.10), de forma que pudessem representar velocidades ascensionais variando entre 5, 10 e 20 cm/minuto.

Nas Figuras 6.16, 6.17, 6.18 e 6.19, são apresentados os resultados comparativos entre as eficiências de remoção de turbidez, cor aparente, DQO filtrada e DQO total, respectivamente, decorrentes da variação dos parâmetros de flotação. É possível verificar que, sistematicamente, as eficiências foram diretamente proporcionais às taxas de recirculação aplicadas (exceto para a DQO filtrada, comentada a seguir) e inversamente proporcionais às velocidades ascensionais simuladas nos ensaios, estando plenamente de acordo com o esperado.

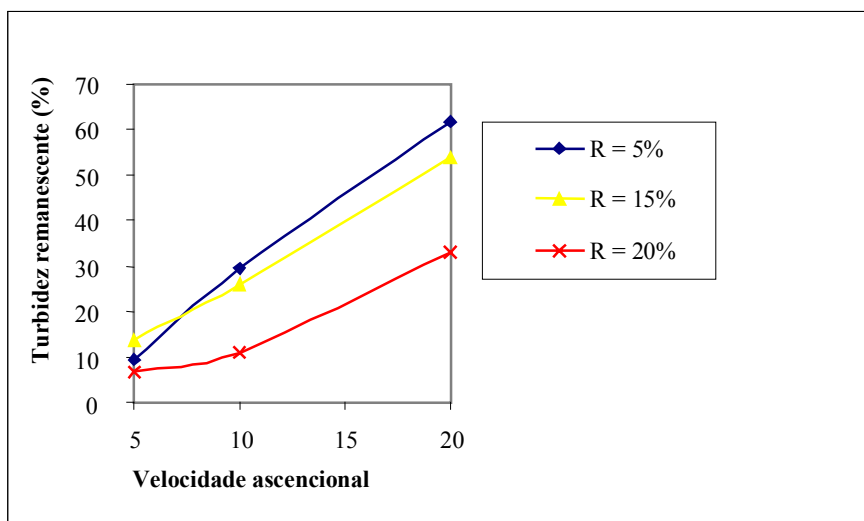


Figura 5.16 - Valores remanescentes de turbidez em função da velocidade ascensional para os volumes de recirculação de 5 a 20 %. Água bruta: Turbidez: 83.6 uT

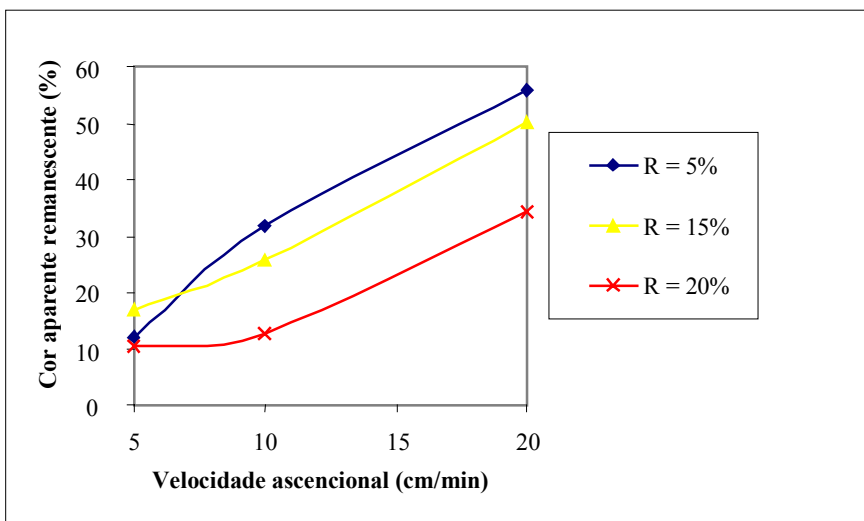


Figura 5.17- Valores remanescentes de cor aparente em função da velocidade ascensional para os volumes de recirculação de 5 a 20%. Água bruta: Cor aparente: 604 uC.

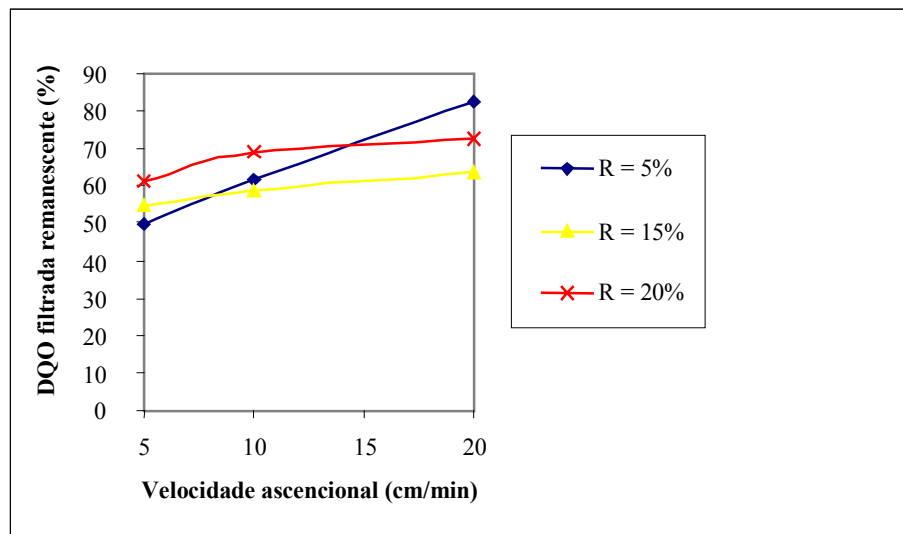


Figura 5.18 - Valores remanescentes de DQO filtrada em função da velocidade ascensional para os volumes de recirculação de 5 a 20 %. Água bruta: DQO filtrada : 38,8 mg/L.

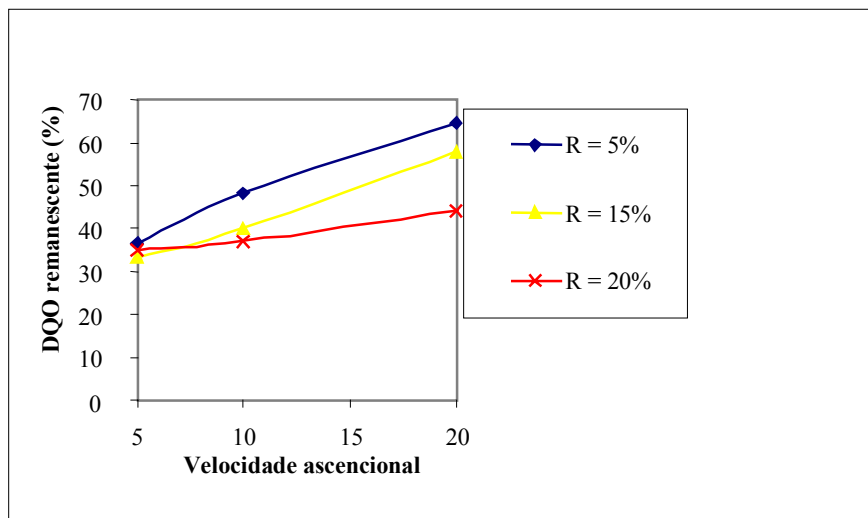


Figura 5.19 - Valores remanescentes de DQO em função da velocidade ascensional para os volumes de recirculação de 5% a 20%. Água bruta: DQO = 89,2 mg/L.

Os resultados adversos obtidos para a DQO filtrada (ver Figura 6.18), podem ser compreendidos pelo fato de que, nos processos de clarificação por sedimentação e flotação, a remoção das partículas presentes nas águas em tratamento manifesta-se, quase que na totalidade, sobre o material suspenso, agregado ou não aos flocos gerados nas etapas anteriores (coagulação e floculação), ou seja, ocorre remoção da grande maioria dos flocos e de parcela das substâncias que se encontrem insolúveis não necessariamente incorporadas às estruturas floculentas. Desta forma, a execução da filtração em papel com poros de abertura igual a $1,2\ \mu\text{m}$, provavelmente, retira da amostra filtrada, as partículas que justamente deveriam sofrer a ação da clarificação por flotação, mascarando, assim, os resultados e diferenças que poderiam ser geradas pela variação dos parâmetros que regem esse tipo de processo.

A observação das figuras evidencia a grande influência da velocidade ascensional aplicada, cuja diminuição para valores de $5\ \text{cm/min}$, praticamente anula a influência da taxa de recirculação. Desta forma, a fixação de uma taxa de escoamento superficial, adotada para concepção de um eventual flotador a ser construído em escala real, igual a $72\ \text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ (correspondente a uma $V_{\text{asc}} = 5\ \text{cm/min}$), terá seu desempenho, praticamente independente da taxa de recirculação aplicada entre os limites de 5 e 20 % investigados. Evidentemente que a adoção de 5 ou 20 %, influirá de forma incisiva no tamanho da câmara de saturação, alterando seu volume em quatro vezes, além de influir sobre as características do sistema de recalque (bombas e tubulações) e injeção de água nessa câmara.

Essa relativa independência da eficiência quanto à taxa de recirculação empregada, também pode ser explicada pelo fato de que o efluente em estudo manifesta uma pequena concentração de sólidos (ver série F), o que evidencia uma necessidade pequena de ar para manter a relação A/S dentro dos limites necessários, havendo desperdício de ar para taxas de recirculação superiores a 5%. De qualquer forma, adotou-se, para a continuidade dos ensaios, o valor de 15% para evitar problemas de manipulação das aberturas das válvulas de entrada de água

pressurizada nos jarros, tendo em vista que o emprego de 5% (correspondente a um volume de 100 mL por jarro) é de difícil execução e repetição, em decorrência das características físicas do equipamento de flote teste.

5.6 – Série F: Caracterização das amostras brutas e clarificadas, e Comparação entre a flotação e a sedimentação

Na Tabela 5.1, a seguir, são apresentados os resultados do último ensaio realizado com o objetivo de comparar os desempenhos da clarificação frente à flotação por ar dissolvido e a decantação, além de apresentar resultados da caracterização das amostras brutas e clarificadas quanto aos Sólidos (série completa), Cloretos e Óleos e Graxas, parâmetros que até então, não haviam sido analisados.

Verificou-se que, submetendo ambos os tipos de clarificação às mesmas condições de coagulação e floculação, o desempenho da FAD foi muito superior que o manifestado pela decantação, mesmo considerando-se que para a FAD, simulou-se uma taxa de escoamento superficial de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e, para a decantação, uma taxa de escoamento superficial de $28,8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, o que proporcionaria neste último, uma demanda de área 2,5 vezes superior.

É destacável o fato que, dentre os sólidos totais (ST) presentes na amostra bruta, 37,6 %, são representados pelos sólidos suspensos (SST) e 62,4 %, pelos sólidos dissolvidos (SDT). Sob esse aspecto, é interessante observar que a etapa de clarificação para esse tipo de efluente, além da esperada ação sobre a remoção dos sólidos suspensos, também deve agir na remoção de sólidos dissolvidos, o que, no caso foi comprovado com o uso da FAD, obtendo-se uma eficiência de 55 % sobre estes.

Em termos de sólidos sedimentáveis, determinou-se apenas sua presença na amostra bruta, tendo em vista que nas amostras clarificadas, sua manifestação foi desprezível. Mesmo

para a amostra bruta, verificou-se um valor relativamente baixo (0,9 ml/L), o que potencializa a possibilidade de emprego da FAD em instalações escala real, desde que, claro, inclua-se uma descarga de fundo para retiradas desse material de forma eventual.

A caracterização das amostras quanto a cloretos demonstrou que, com o uso dos produtos químicos "Hidroxiclreto de Alumínio - PAC" e "W360", houve um pequeno aumento em sua concentração (cerca de 8 %), o que, parece, não ser suficiente para impedir a reciclagem do efluente tratado em questão.

As análises de óleos e graxas evidenciaram uma remoção de 60 % pelo processo da FAD, similar ao obtido na remoção dos sólidos totais voláteis (STV), que foi de, aproximadamente, 66 %, que em grande parte eram representados pelos sólidos dissolvidos voláteis (SDV). Tal fato comprova que a coagulação + floculação + flotação por ar dissolvido constitui-se em um sistema com grande potencial de aplicação ao tratamento desse tipo de efluente.

Tabela 5.1 - Resultados dos ensaios de coagulação, floculação seguidos da flotação ou sedimentação e caracterização da água bruta e clarificada

Data: 25/04/03	COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus			POLIELETROLITO: W 360 (catiônico)	
	Dosagem: 60 mg/L			Dosagem: 1,2 mg/L	
MISTURA RÁPIDA	FLOCULAÇÃO	FLOTAÇÃO		SEDIMENTAÇÃO	
Tmr = 10 s	Tf = 13 min	Tsat = 10 min	R = 15%	Tsed = 5 min	
Gmr = 1000 s ⁻¹	Gf = 50 s ⁻¹	P= 400 kPa	VA = 5cm/min	Vsed = 2 cm/min	
Parâmetro	Amostra bruta	Amostra flotada	Eficiência de Remoção(%)	Amostra sedimentada	Eficiência de Remoção(%)
pH	7,9	-	-	-	-
pH coag	-	7,6	-	7,6	-
temperatura (° C)	22,0	22,0	-	22,0	-
Condutividade (μ.s/cm)	297,0	292,0	-	291,0	-
Turbidez (uT)	145,0	5,3	96	10,7	93
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	0,9	-	-	-	-
DQO (mg/L)	97,5	39,5	59	39,2	60
ST (mg/L)	427,2	149,9	65	270,2	37
STF (mg/L)	230,4	82,5	64	92,4	60
STV(mg/L)	196,8	67,4	66	177,8	10
SST (mg/L)	160,5	30,8	81	86,8	46
SSF (mg/L)	128,6	21,5	83	74,3	42
SSV (mg/L)	31,9	9,3	71	12,5	61
SDT (mg/L)	266,7	119,1	55	183,4	31
SDF (mg/L)	101,8	61,0	40	18,1	82
SDV (mg/L)	164,9	58,0	65	165,3	0
Cloretos (mg Cl ⁻ /L)	51,8	55,9	-	-	-
Óleos e graxas (mg/L)	93,0	37,0	60	-	-

O valor médio calculado da espessura (e) da camada de lodo (ver Figura 4.20) no ensaio de floteste foi 2,5 mm. Para calcular o valor aproximado da produção de lodo, foram utilizadas as equações desenvolvidas no item 4.11:

$$M_{\text{lodo}} = (ST_{\text{bruta}} * V_{\text{ad}}) - (ST_{\text{flo}} * ((V_{\text{ad}} + V_{\text{R}}) - e * A_{\text{jarro}})) \quad (\text{equação 4.2})$$

$$T_{\text{sol}} = M_{\text{lodo}} / (e * A) \quad (\text{equação 4.3})$$

Como $ST_{bruta} = 427,2 \text{ mg/L}$; $ST_{flo} = 149,9 \text{ mg/L}$ (Tabela 5.1); $A_{jarro} = 1,32 \text{ dm}^2$;

$e = 0,025 \text{ dm}$; $V_{ad} = 2 \text{ L}$ e $V_R = 0,3 \text{ L}$; a massa de lodo flotado é dada por;

$$M_{lodo} = (427,2 * 2) - (149,9 * (2 + 0,3) - 0,025 * 1,32) ;$$

$$M_{lodo} = 514,6 \text{ mg}$$

Logo, o teor de sólidos no lodo é:

$$T_{sol} = 514,6 * 10^{-3} / (0,025 * 1,32);$$

$$T_{sol} = 15,6 \text{ g/L ou } 1,6 \%$$

Segundo (MELS *et al.*, 2001), o lodo gerado no tratamento de efluentes por FAD é relativamente concentrado. Isto ocorre porque a lâmina de lodo formada é continuamente aerada no processo de flotação resultando numa maior concentração de sólidos.



Figura 4.10 – Espessura da camada de lodo

6. CONCLUSÕES

a) O emprego da coagulação + floculação + flotação por ar dissolvido, constitui-se em sistema de grande potencialidade para o tratamento de efluentes de lavadores de veículos, objetivando-se seu lançamento na rede pública de esgotos sanitários ou para sua reciclagem;

b) A etapa de coagulação para esse tipo de efluente é otimizada quando utiliza-se o "Hidroxiclreto de Alumínio", também conhecido como PAC, particularmente, o "Panfloc Hiper Plus", como coagulante primário, em dosagens de 50 a 70 mg/L, para as condições e amostras brutas investigadas neste estudo;

c) A faixa de valores do pH de coagulação mais apropriada, manifestou-se entre 7,3 e 8,5, conforme demonstraram os diagramas de coagulação construídos, os quais são naturalmente obtidos, sem a necessidade de utilização de acidificantes e/ou basificantes, desde que o coagulante primário seja o PAC;

d) O emprego de polieletrólitos catiônicos, particularmente do W360, é útil como auxiliar de floculação, principalmente sob o aspecto de ganhos na eficiência de remoção de

substâncias causadoras de DQO total e filtrada, sem, contudo, permitir a redução de dosagens do coagulante primário;

e) A etapa de floculação constitui-se como fundamental à eficiência global do processo, devendo ser imposto um gradiente de velocidade médio variando entre 50 e 100 s^{-1} , durante um período compreendido entre 7 e 13 minutos; Para o presente estudo os melhores valores foram obtidos com o emprego de 50 s^{-1} e 13 minutos, respectivamente;

f) Quanto aos parâmetros de projeto da etapa de flotação por ar dissolvido, as eficiências de remoção de turbidez, cor aparente, DQO total e filtrada são maximizadas quando emprega-se uma taxa de escoamento superficial limitada a 72 $m^3/m^2.dia$ (correspondente a uma velocidade ascensional crítica de 5 cm/minuto), e vazões de recirculação superiores a 5 %, limitadas à 15%, desde que, utilizando-se de água saturada à temperatura ambiente (20 a 28 °C), por um período de saturação de 10 minutos e, submetida a uma pressão de 400 kPa;

g) Submetendo-se o efluente gerado em lavadores de veículos às mesmas condições de coagulação e floculação, o desempenho da FAD foi superior ao manifestado pela decantação, mesmo empregando uma taxa de escoamento superficial de 72 $m^3/m^2.dia$ e 28,8 $m^3/m^2.dia$, respectivamente, para a flotação e sedimentação, o que proporcionaria neste último, uma demanda de área 2,5 vezes superior;

7. RECOMENDAÇÕES

- A efetiva comprovação da viabilidade do uso da tecnologia proposta nesse estudo para a reciclagem dos efluentes de geradores de veículos somente poderá ser comprovada pela construção e operação de unidade protótipo de fluxo contínuo, testada em situação real, quando efetivamente poderia-se visualizar a eventual necessidade de inclusão de etapas complementares, tais como: filtração rápida em areia; reator biológico tipo lodos ativados por batelada ou contínuo e/ou desinfecção;
- Recomenda-se que futuros trabalhos de pesquisa que se complemente o aqui desenvolvido, inclua a etapa de filtração através de filtros de bancada com areia, de forma que pudesse ser avaliada a presença dessa unidade na remoção adicional de óleos e graxas, DQO e outros parâmetros importantes relativos à caracterização qualitativa desse tipo de efluente;
- As concentrações de metais pesados e coliformes prejudiciais à saúde das pessoas que eventualmente entrem em contato com a água reciclada, assim como a concentração de sais, a qual, após um certo limite pode provocar a corrosão dos veículos, devem ser monitorados durante os ensaios de recirculação no protótipo de fluxo contínuo. Deste modo será possível analisar como estes poluentes tendem a se concentrar.

ANEXO- A

ENSAIOS DE COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E FLOTAÇÃO VISANDO COMPARAR A EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ ENTRE DIVERSOS TIPOS DE COAGULANTES

Tabela a.1 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de cloreto férrico variáveis

Data: 19/12/02				COAGULANTE: Cloreto Férrico				
MISTURA RÁPIDA			FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO		
Tmr = 10 s			Tf = 10 min			Tsat = 10 min		R = 10%
Gmr = 1000 s ⁻¹			Gf = 50 s ⁻¹			P= 400 kPa		VA = 5cm/min
Características da água de estudo								
Turbidez (uT)			pH			Temperatura (°C)		
58,0			8,37			25		
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			pH in	Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (uT) (%)	pH final
	Cloreto Férrico (mg/L)	HCL 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)					
1	50,0	7,3		4,2	12,7	14,1	24	3,4
2	70,0	6,8		4,0	15,9	17,7	30	3,4
3	90,0	6,8		4,2	19,9	22,1	38	3,3
4	110,0	6,8		4,3	32,0	35,6	61	3,1
5	130,0	7,1		4,0	38,9	43,2	75	3,0
6	150,0	6,8		4,0	41,3	45,9	79	2,9

Tabela a.2 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de cloreto férrico variáveis

Data: 19/12/02			COAGULANTE: Cloreto Férrico					
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 10 min			Tsat = 10 min		R = 10%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹			P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo								
Turbidez (uT)		pH			Temperatura (°C)			
54,8		8,57			27			
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			pH in	Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (uT) (%)	pH fina
	Cloreto Férrico (mg/L)	HCL 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)					
1	50,0	1,1		7,2	4,1	4,6	8	6,0
2	70,0	1		7,1	3,0	3,3	6	5,9
3	90,0	1		7,3	59,0	65,6	100	3,9
4	110,0	1		7,2	78,3	87,0	100	3,2
5	130,0	1		7,2	79,8	88,7	100	3,0
6	150,0	1		7,2	67,7	75,2	100	2,8

Tabela a.3 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de cloreto férrico variáveis

Data: 06/01/03			COAGULANTE: Cloreto Férrico					
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 10 min			Tsat = 10 min		R = 10%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹			P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo								
Turbidez (uT)		pH			Temperatura (°C)			
79,1		8,10			28			
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			pH in	Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (uT) (%)	pH final
	Cloreto Férrico (mg/L)	HCL 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)					
1	50,0		2,7	9,0	30,7	34,1	43	4,8
2	70,0		2,7	9,0	85,5	95,0	100	4,0
3	90,0		2,7	9,0	88,0	97,8	100	3,3
4	110,0		2,7	8,9	90,7	100,8	100	3,0
5	130,0		2,7	9,0	86,6	96,2	100	2,9
6	150,0		2,7	8,9	87,0	96,7	100	2,7

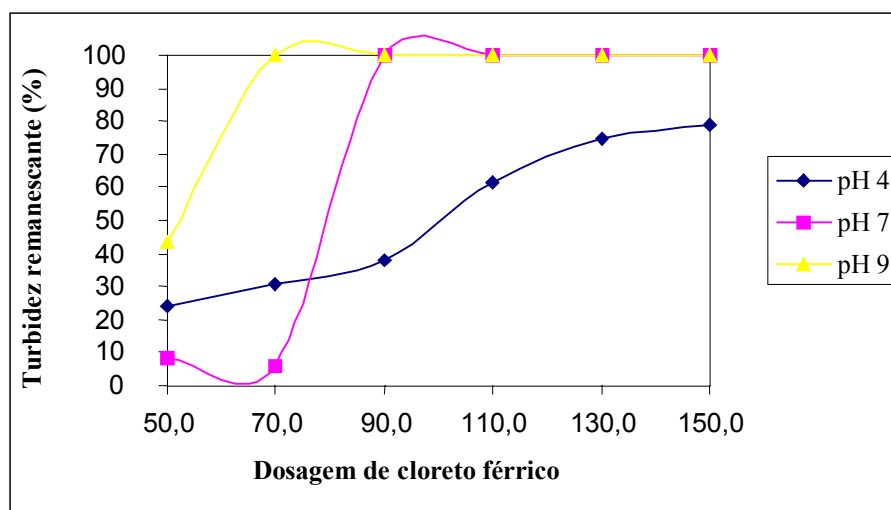


Figura a.1 - Variação da turbidez remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante cloreto férrico.

Tabela a.4- Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de sulfato de alumínio variáveis

Data: 07/01/03			COAGULANTE: Sulfato de Alumínio					
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 10 min			Tsat = 10 min		R = 10%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹			P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo								
Turbidez (uT)		pH			Temperatura (°C)			
58,8		8,17			26			
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			pH in	Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (uT) (%)	pH final
	Sulfato de Alumínio (mg/L)	HCL 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)					
1	50,0	1,7		7,1	9,6	10,7	18	6,4
2	70,0	1,7		7,1	18,1	20,1	34	6,3
3	90,0	1,7		7,1	44,7	49,7	84	6,1
4	110,0	1,7		7,1	52,3	58,1	99	5,6
5	130,0	1,9		7,1	53,5	59,4	100	4,8
6	150,0	1,9		7,1	52,9	58,8	100	4,6

Tabela a.5 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de sulfato de alumínio variáveis

Data: 10/01/03			COAGULANTE: Sulfato de Alumínio					
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 10 min			Tsat = 10 min		R = 10%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹			P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo								
Turbidez (uT)		pH			Temperatura (°C)			
47,9		8,22			28			
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			pH in	Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (uT) (%)	pH final
	Sulfato de Alumínio (mg/L)	HCL 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)					
1	50,0	20,0		4,0	43,5	48,3	100	3,9
2	70,0	25,0		3,8	44,1	49,0	100	3,7
3	90,0	20,0		4,0	34,5	38,3	80	3,8
4	110,0	20,0		4,0	33,5	37,2	78	3,7
5	130,0	20,0		4,0	28,4	31,6	66	3,7
6	150,0	20,0		4,0	21,0	23,3	49	3,7

Tabela a.6 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de sulfato de alumínio variáveis

Data: 10/01/03			COAGULANTE: Sulfato de Alumínio					
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 10 min			Tsat = 10 min		R = 10%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹			P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo								
Turbidez (uT)		pH			Temperatura (°C)			
43,1		8,18			28			
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			pH in	Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (uT) (%)	pH final
	Sulfato de Alumínio (mg/L)	HCL 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)					
1	50,0		3,2	9,0	34,6	38,4	89	7,1
2	70,0		3,2	9,0	35,8	39,8	92	6,9
3	90,0		3,2	9,0	43,0	47,8	100	6,7
4	110,0		3,3	9,0	50,0	55,6	100	6,6
5	130,0		3,3	9,0	51,6	57,3	100	6,3
6	150,0		3,3	9,0	52,9	58,8	100	6,1

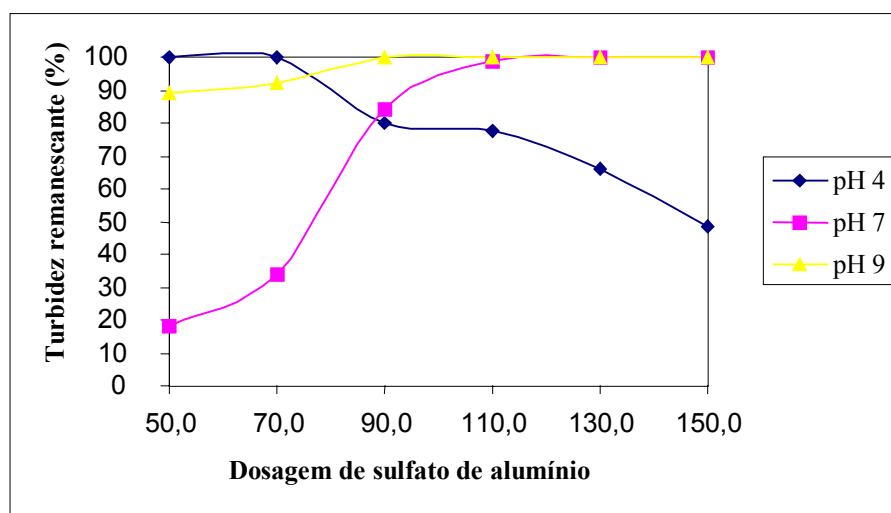


Figura a.2 - Variação da turbidez remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante sulfato de alumínio

Tabela a.7 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de Panfloc Hiper Plus variáveis

Data: 17/01/03			COAGULANTE: Panfloc TE Hipler Plus					
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 10 min			Tsat = 10 min		R = 10%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹			P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo								
Turbidez (uT)		pH			Temperatura (°C)			
99,5		8,16			24			
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			pH in	Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (uT) (%)	pH final
	Panfloc TE Hiper Plus (mg/L)	HCL 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)					
1	50,0	2,0		7,0	16,7	18,6	19	7,1
2	70,0	1,2		7,0	32,0	35,6	36	7,0
3	90,0	1,4		7,0	87,4	97,1	98	6,9
4	110,0	1,4		7,0	86,3	95,9	96	6,9
5	130,0	1,3		7,0	95,1	105,7	100	6,8
6	150,0	1,4		7,0	85,8	95,3	96	6,8

Tabela a.8 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de Panfloc Hiper Plus variáveis

Data: 17/01/03			COAGULANTE: Panfloc TE Hipler Plus					
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 10 min			Tsat = 10 min		R = 10%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹			P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo								
Turbidez (uT)		pH			Temperatura (°C)			
85,8		8,19			24			
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			pH in	Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (uT) (%)	pH final
	Panfloc TE Hiper Plus (mg/L)	HCL 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)					
1	50,0		2,5	9,0	3,9	4,3	5	8,0
2	70,0		2,5	9,0	5,2	5,8	7	7,8
3	90,0		2,5	9,0	7,1	7,8	9	7,6
4	110,0		2,5	9,0	10,0	11,1	13	7,5
5	130,0		2,5	9,0	8,8	9,7	11	7,4
6	150,0		2,5	9,0	4,1	4,6	5	7,3

Tabela a.9 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de Panfloc Hiper Plus variáveis

Data: 20/01/03			COAGULANTE: Panfloc TE Hipler Plus					
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 10 min			Tsat = 10 min		R = 10%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹			P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo								
Turbidez (uT)		pH			Temperatura (°C)			
72,6		8,23			27			
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			pH in	Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (uT) (%)	pH final
	Panfloc TE Hiper Plus (mg/L)	HCL 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)					
1	50,0	7,0		4,03	67,0	74,44	100	4,70
2	70,0	7,0		3,96	63,7	70,78	97	4,61
3	90,0	7,0		4,00	63,4	70,44	97	4,60
4	110,0	7,0		3,96	66,2	73,56	101	4,49
5	130,0	7,0		4,03	62,8	69,78	96	4,60
6	150,0	7,0		4,00	63,8	70,89	98	4,61

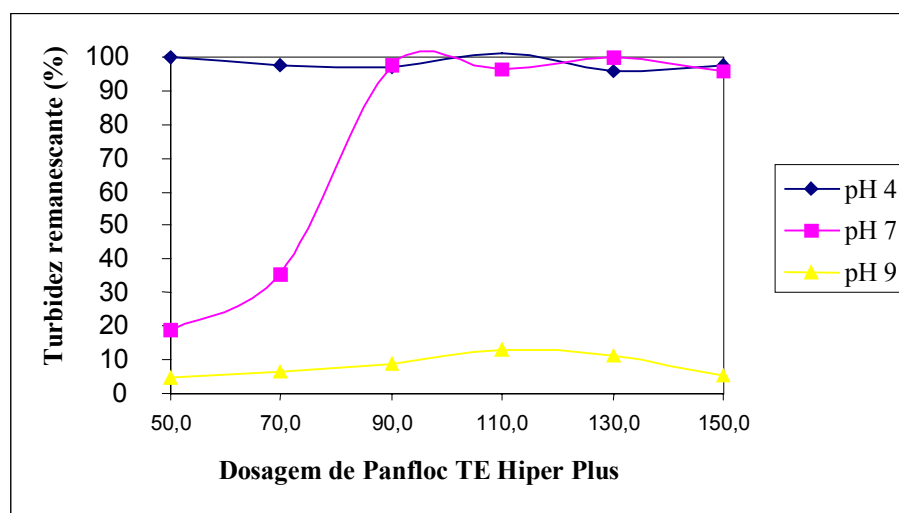


Figura a.3 - Variação da turbidez remanescente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante Panfloc Hiper Plus

Tabela a.10 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus e Panfloc AP) variável

Data: 22/01/03			COAGULANTE: Panfloc TE Hiper Plus e Panfloc AP					
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 10 min			Tsat = 10 min		R = 10%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹			P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo								
Turbidez (uT)		pH			Temperatura (°C)			
137,0		8,22			24			
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			pH in	Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (uT) (%)	pH final
	Panfloc TE Hiper Plus (mg/L)	HCL 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)					
1	20,0			8,2	19,8	22,0	16	8,0
2	35,0			8,2	18,4	20,4	15	7,8
3	50,0			8,2	5,7	6,3	5	7,8
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			pH in	Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (uT) (%)	pH final
	Panfloc AP (mg/L)	HCL 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)					
1	20,0			8,2	65,1	72,3	53	7,5
2	35,0			8,2	29,2	32,4	24	7,4
3	50,0			8,2	49,1	54,6	40	7,2

ANEXO- B

ENSAIOS DE COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E FLOTAÇÃO COM PAC (PANFLOC HIPER PLUS) E CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE COAGULAÇÃO PARA OS VALORES REMANESCENTES DE TURBIDEZ

Tabela b.1 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH de coagulação variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 50 mg/L

Data: 10/02/03				COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus			
MISTURA RÁPIDA			FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO		
Tmr = 10 s			Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%
Gmr = 1000 s ⁻¹			Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)				Temperatura (°C)		pH	
63,5				26		8,0	
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez residual (uT) (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	HCl 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)				
1.00	50.0	8.0		41.4	47.6	75	6.8
2.00	50.0	5.0		5.9	6.7	11	7.1
3.00	50.0			2.4	2.8	4	7.6
4.00	50.0		3.0	3.2	3.7	6	8.0
5.00	50.0		5.0	2.4	2.7	4	8.4
6.00	50.0		8.0	2.8	3.2	5	8.73

Tabela b.2 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH de coagulação variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 30 mg/L

Data: 10/02/03				COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus			
MISTURA RÁPIDA			FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO		
Tmr = 10 s			Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%
Gmr = 1000 s ⁻¹			Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)				Temperatura (°C)		pH	
66.50				26		8,1	
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez residual (uT) (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	HCl 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)				
1.00	30.0	8.0		11.8	13.6	20	6.7
2.00	30.0	5.0		7.3	8.4	13	7.1
3.00	30.0			3.2	3.7	6	7.9
4.00	30.0		3.0	0.9	1.0	1	8.4
5.00	30.0		5.0	4.0	4.6	7	8.7
6.00	30.0		8.0	3.8	4.3	7	9.0

Tabela b.3 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH de coagulação variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 70 mg/L

Data: 10/02/03				COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus			
MISTURA RÁPIDA			FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO		
Tmr = 10 s			Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%
Gmr = 1000 s ⁻¹			Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)				Temperatura (°C)			pH
52.60				28			7,9
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez residual (uT) (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	HCl 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)				
1.00	70.0	8.0		40.7	46.8	89	6.5
2.00	70.0	5.0		10.4	12.0	23	6.8
3.00	70.0			2.5	2.9	6	7.3
4.00	70.0		3.0	1.1	1.2	2	7.7
5.00	70.0		5.0	2.2	2.6	5	8.0
6.00	70.0		8.0	2.3	2.6	5	8.4

Tabela b.4 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH de coagulação variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 40 mg/L

Data: 10/02/03				COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus			
MISTURA RÁPIDA			FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO		
Tmr = 10 s			Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%
Gmr = 1000 s ⁻¹			Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)				Temperatura (°C)			pH
53.30				28			7,9
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez residual (uT) (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	HCl 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)				
1.00	40.0	8.0		34.4	39.5	74	6.6
2.00	40.0	5.0		6.5	7.5	14	6.9
3.00	40.0			7.6	8.7	16	7.6
4.00	40.0		3.0	8.1	9.3	17	8.1
5.00	40.0		5.0	8.4	9.6	18	8.4
6.00	40.0		8.0	8.7	10.0	19	8.7

Tabela b.5 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH de coagulação variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 20 mg/L

Data: 11/02/03			COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus				
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)			Temperatura (°C)			pH	
51.00			28			7,7	
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez residual (uT) (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	HCl 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)				
1.00	20.0	7.0		4.1	4.7	9	6.9
2.00	20.0	4.0		6.0	6.9	14	7.3
3.00	20.0			2.6	2.9	6	7.9
4.00	20.0		4.0	2.2	2.5	5	8.5
5.00	20.0		6.0	2.6	3.0	6	8.8
6.00	20.0		9.0	2.0	2.3	5	9.0

Tabela b.6 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH de coagulação variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 10 mg/L

Data: 11/02/03			COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus				
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)			Temperatura (°C)			pH	
58.20			28			7,7	
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez residual (uT) (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	HCl 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)				
1.00	10.0	7.0		4.7	5.4	9	6.9
2.00	10.0	4.0		7.1	8.1	14	7.3
3.00	10.0			3.7	4.2	7	7.9
4.00	10.0		4.0	2.6	2.9	5	8.6
5.00	10.0		6.0	1.1	1.2	2	8.9
6.00	10.0		9.0	4.5	5.2	9	9.1

Tabela b.7 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH de coagulação variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 50 mg/L

Data: 19/02/03				COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus			
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)				Temperatura (°C)		pH	
91.70				27		8,1	
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez residual (uT) (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	HCl 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)				
1	50.0	8.0		62.1	71.4	78	6.9
2	50.0	5.0		33.3	38.3	42	7.1
3	50.0			3.9	4.5	5	7.7
4	50.0		3.0	6.6	7.6	8	8.2
5	50.0		5.0	5.3	6.1	7	8.5
6	50.0		8.0	2.2	2.6	3	8.8

Tabela b.8 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH de coagulação variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 10 mg/L

Data: 19/02/03				COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus			
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 20%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)				Temperatura (°C)		pH	
92.30				27.00		8,0	
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez residual (uT) (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	HCl 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)				
1.00	10.0	8.0		25.6	30.8	33	7.0
2.00	10.0	5.0		36.2	43.6	47	7.6
3.00	10.0			8.1	9.7	11	8.2
4.00	10.0		3.0	8.4	10.1	11	8.8
5.00	10.0		5.0	3.0	3.6	4	9.0
6.00	10.0		8.0	4.9	5.9	6	9.2

Tabela b.9 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH de coagulação variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 5 mg/L

Data: 19/02/03				COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus			
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 20%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)				Temperatura (°C)		pH	
97.20				28.00		8,0	
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez residual (uT) (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	HCl 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)				
1.00	5.0	8.0		63.1	76.0	78	7.0
2.00	5.0	5.0		69.3	83.5	86	7.6
3.00	5.0			65.7	79.2	81	8.3
4.00	5.0		3.0	64.4	77.6	80	8.8
5.00	5.0		5.0	58.3	70.2	72	9.0
6.00	5.0		8.0	55.0	66.3	68	9.3

Tabela b.10 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH de coagulação variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 25 mg/L

Data: 19/02/03			COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus				
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 20%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)			Temperatura (°C)			pH	
97.20			28.00			8,0	
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez residual (uT) (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	HCl 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)				
1.00	25.0	8.0		9.0	10.8	11	6.8
2.00	25.0	5.0		11.2	13.5	14	7.2
3.00	25.0			10.1	12.2	13	7.8
4.00	25.0		3.0	12.6	15.2	16	8.5
5.00	25.0		5.0	11.6	14.0	14	8.8
6.00	25.0		8.0	6.7	8.0	8	9.1

Tabela b.11 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH de coagulação variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 35 mg/L

Data: 19/02/03				COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus			
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 20%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)				Temperatura (°C)		pH	
92.40				28.00		8,0	
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez residual (uT) (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	HCl 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)				
1.00	35.0	8.0		63.8	76.9	83	6.5
2.00	35.0	5.0		16.9	20.4	22	7.3
3.00	35.0			12.4	14.9	16	8.1
4.00	35.0		3.0	10.5	12.7	14	8.3
5.00	35.0		5.0	8.9	10.7	12	8.7
6.00	35.0		8.0	7.7	9.2	10	9.0

Tabela b.12 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com pH de coagulação variável e dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L

Data: 19/02/03				COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus			
MISTURA RÁPIDA			FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO		
Tmr = 10 s			Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 20%
Gmr = 1000 s ⁻¹			Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)				Temperatura (°C)			pH
99.20				28.00			8,0
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez residual (uT) (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	HCl 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)				
1.00	60.0	8.0		52.2	62.9	63	6.6
2.00	60.0	5.0		41.3	49.8	50	7.1
3.00	60.0			2.5	3.0	3	7.6
4.00	60.0		3.0	3.3	4.0	4	8.1
5.00	60.0		5.0	2.6	3.1	3	8.4
6.00	60.0		8.0	3.8	4.6	5	9.0

Tabela b.13: Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação dosagem de PAC
(Panfloc Hiper Plus) variando de 20 a 70mg/L

Data: 19/02/03				COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus			
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 20%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)				Temperatura (°C)		pH	
106.00				28.00		8,0	
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez residual (uT) (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	HCl 0.1 N (ml)	NAOH 0.1 N (mL)				
1.00	20.0			4.8	5.8	5	7.5
2.00	30.0			12.1	14.6	14	7.4
3.00	45.0			3.7	4.5	4	7.3
4.00	55.0			3.0	3.6	3	7.3
5.00	65.0			1.2	1.4	1	7.3
6.00	70.0			2.6	3.1	3	7.3

ANEXO- C

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ ENTRE VÁRIOS POLÍMEROS ADICIONADOS APÓS A COAGULAÇÃO COM PAC

Tabela c.1 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e de polieletrólitos na dosagem de 0,5 mg/L. Água bruta:

Turbidez = 39,7 uT

Data: 27/02/03			COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus				
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO		
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)		DQO (mg/L)		Temperatura (°C)		pH	
39.7		100.2		28		8,2	
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	Tipo de Polieletrólito	Dosagem polieletrólito (mg/L)				
1	60.0	-	-	1.0	1.1	2.8	7.5
2	60.0	2515 TR (aniônico)	0.5	1.6	1.9	4.7	7.3
3	60.0	Tanac (catiônico)	0.5	0.9	1.0	2.5	7.4
4	60.0	G 999 (não iônico)	0.5	1.0	1.1	2.9	7.4
5	60.0	W 360 (catiônico)	0.5	0.9	1.0	2.6	7.4
6	60.0	G9046 (catiônico)	0.5	0.9	1.0	2.6	7.6

Tabela c.2 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e de polieletrólitos na dosagem de 0,25 mg/L. Água bruta:

Turbidez = 39,7 uT

Data: 27/02/03			COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus									
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO								
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%						
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min						
Características da água de estudo												
Turbidez (uT)		DQO (mg/L)		Temperatura (°C)		pH						
39.7		100.2		28		8,2						
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (%)	pH coagulação					
	Coagulante (mg/L)	Tipo de Polieletrólito	Dosagem polieletrólito (mg/L)									
	1	60.0	-					-	1.1	1.3	3.6	7.5
	2	60.0	2515 TR (aniônico)					0.25	1.5	1.7	4.9	7.4
	3	60.0	Tanac (catiônico)					0.25	1.0	1.2	3.4	7.4
	4	60.0	G 999 (não iônico)					0.25	1.1	1.3	3.6	7.4
	5	60.0	W 360 (catiônico)					0.25	0.6	0.7	1.9	7.4
	6	60.0	G9046 (catiônico)					0.25	1.0	1.2	3.3	7.4

Tabela c.3 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e de polieletrólitos na dosagem de 0.5 mg/L. Água bruta:

Turbidez = 60 uT

Data: 10/03/03			COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus				
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)		DQO (mg/L)		Temperatura (°C)		pH	
60.0		125.8		24		8,2	
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	Tipo de Polieletrólito	Dosagem polieletrólito (mg/L)				
1	60.0	-	-	1.8	2.1	3.5	7.5
2	60.0	2515 TR (aniônico)	0.5	2.6	2.9	4.9	7.5
3	60.0	Tanac (catiônico)	0.5	1.6	1.8	3.0	7.4
4	60.0	G 999 (não iônico)	0.5	1.0	1.1	1.9	7.4
5	60.0	W 360 (catiônico)	0.5	0.9	1.1	1.8	7.4
6	60.0	G9046 (catiônico)	0.5	1.6	1.9	3.1	7.4

Tabela c.4 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e de diferentes polieletrólitos na dosagem de 0,25 mg/L.

Turbidez inicial de 60 uT

Data: 10/03/03			COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus				
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo							
Turbidez (uT)		DQO (mg/L)		Temperatura (°C)		pH	
60.0		125.8		24		8,2	
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (%)	pH coagulação
	Coagulante (mg/L)	Tipo de Polieletrólito	Dosagem polieletrólito (mg/L)				
1	60.0	-	-	1.8	2.0	3.2	7.5
2	60.0	2515 TR (aniônico)	0.25	2.4	2.7	4.3	7.5
3	60.0	Tanac (catiônico)	0.25	1.4	1.6	2.5	7.5
4	60.0	G 999 (não iônico)	0.25	1.4	1.6	2.6	7.4
5	60.0	W 360 (catiônico)	0.25	1.2	1.4	2.2	7.4
6	60.0	G9046 (catiônico)	0.25	1.3	1.5	2.4	7.4

ANEXO- D

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE VALORES DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ, DQO E COR COM A VARIAÇÃO DAS DOSAGENS DE PAC E POLÍMEROS

Tabela d.1 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1 mg/L

Data: 14/03/03			COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus					
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO				
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%		
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min		
Características da água de estudo								
Turbidez (uT)		Alcalinidade (mg CaCO3/L)	Cond* (μ.s/cm)	Condutividade (μ.s/cm)		Temperatura (°C)		pH
45.1		66	210	227		26		8,2
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (%)	Condu-tividade final	pH coagula-ção
	Coagulante (mg/L)	Tipo de Polieletrólito	Dosagem polieletrólito (mg/L)					
1	-	-	-	30.9	35.5	79	225	8.2
2	60.0	-	0.0	1.3	1.5	3	235	7.5
3	60.0	G 999 (não iônico)	0.2	2.1	2.4	5	234	7.4
4	60.0	G 999 (não iônico)	0.4	1.0	1.1	2	234	7.4
5	60.0	G 999 (não iônico)	0.7	1.3	1.5	3	234	7.4
6	60.0	G 999 (não iônico)	1.0	0.9	1.0	2	233	7.4

Cond*: Condutividade da água da rede no local da lavagem de veículos

Tabela d.2 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 25 e 40 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0,4 a 1,5 mg/L

Data: 14/03/03			COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus					
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO			
Tmr = 10 s		Tf = 15 min			Tsat = 10 min		R = 15%	
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹			P= 400 kPa		VA = 5cm/min	
Características da água de estudo								
Turbidez (uT)		Alcalinidade (mg CaCO3/L)		Cond* (μ.s/cm)	Condutividade (μ.s/cm)		Temperatura (°C)	pH
45.3		66		210	221		28	8,2
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (%)	Condu-tividade final	pH coagula-ção
	Coagulante (mg/L)	Tipo de Polieletrólito	Dosagem polieletrólito (mg/L)					
1	40.0	G 999 (não iônico)	0.4	2.0	2.3	6	247	7.6
2	40.0	G 999 (não iônico)	0.7	2.9	3.3	8	231	7.6
3	40.0	G 999 (não iônico)	1.0	0.9	1.1	3	237	7.6
4	25.0	G 999 (não iônico)	0.7	0.8	1.0	2	224	7.6
5	25.0	G 999 (não iônico)	1.0	0.9	1.0	3	229	7.7
6	25.0	G 999 (não iônico)	1.5	1.0	1.1	3	227	7.7

Cond*: Condutividade da água da rede no local da lavagem de veículos

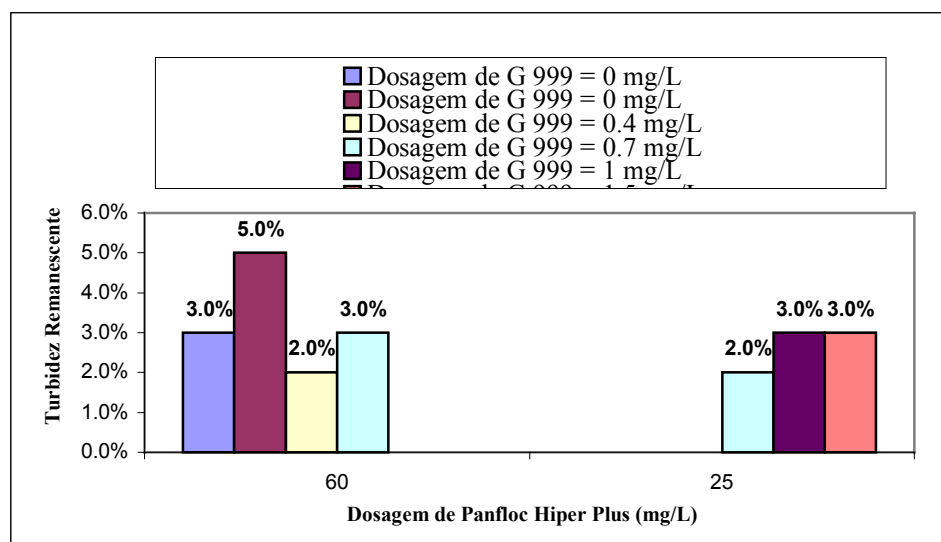


Figura d.1 – Comparação da eficiência da remoção de turbidez entre o resultado obtido variando a dosagem de coagulante (PAC) e polieletrólito (G999)

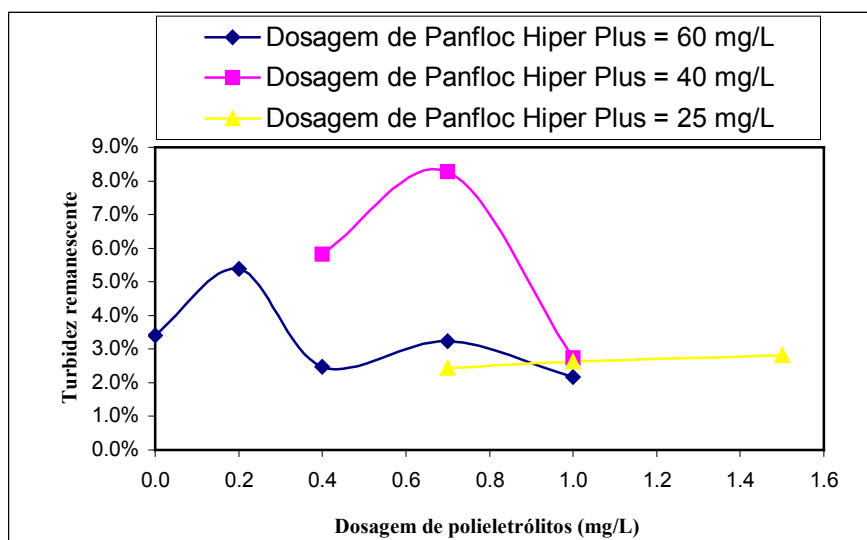


Figura d.2 – Comparação da eficiência da remoção de turbidez entre o resultado obtido variando as dosagens de coagulante (Panfloc Hiper Plus) e polieletrólito (G999)

Tabela d.3 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1 mg/L

Data: 23/03/03				COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus					
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO				
Tmr = 10 s		Tf = 15 min			Tsat = 10 min		R = 15%		
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹			P= 400 kPa		VA = 5cm/min		
Características da água de estudo									
Turbidez (uT)		Alcalinidade (mg CaCO3/L)		Cond* (μ.s/cm)	Condutividade (μ.s/cm)		Temperatura (°C)		pH
37.1		68		222	236		24		8,2
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO				Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (%)	Condu-tividade final	pH coagula-ção
	Coagulante (mg/L)	Tipo de Polieletrólito	Dosagem polieletrólito (mg/L)						
1	-	-	-	23.5	27.0	73	234	8.26	
2	60.0	G 999 (não iônico)	0.0	3.0	3.5	9	254	7.70	
3	60.0	G 999 (não iônico)	0.2	3.1	4.0	11	253	7.66	
4	60.0	G 999 (não iônico)	0.4	1.4	1.6	4	248	7.64	
5	60.0	G 999 (não iônico)	0.7	1.2	1.3	4	246	7.64	
6	60.0	G 999 (não iônico)	1.0	1.4	1.6	4	252	7.62	

Cond*: Condutividade da água da rede no local da lavagem de veículos

Tabela d.4 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 30 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1 mg/L

Data: 23/03/03			COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus						
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO					
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%			
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min			
Características da água de estudo									
Turbidez (uT)		Alcalinidade (mg CaCO3/L)		Cond* (μ.s/cm)	Condutividade (μ.s/cm)		Temperatura (°C)		pH
35.5		68		222	237		28		8,2
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (%)	Condu-tividade final	pH coagula-ção	
	Coagulante (mg/L)	Tipo de Polieletrólito	Dosagem polieletrólito (mg/L)						
1	30.0	-	0.0	1.5	1.7	5	262	7.8	
2	30.0	G 999 (não iônico)	0.2	2.1	2.4	7	241	7.8	
3	30.0	G 999 (não iônico)	0.3	1.0	1.3	4	240	7.8	
4	30.0	G 999 (não iônico)	0.6	1.1	1.2	3	242	7.8	
5	30.0	G 999 (não iônico)	0.9	0.6	0.7	2	242	7.8	
6	30.0	G 999 (não iônico)	1.0	0.7	0.8	2	242	7.8	

Cond*: Condutividade da água da rede no local da lavagem de veículos

Tabela d.5 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 10 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1,6 mg/L

Data: 23/03/03			COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus						
MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO					
Tmr = 10 s		Tf = 15 min		Tsat = 10 min		R = 15%			
Gmr = 1000 s ⁻¹		Gf = 50 s ⁻¹		P= 400 kPa		VA = 5cm/min			
Características da água de estudo									
Turbidez (uT)		Alcalinidade (mg CaCO3/L)		Cond* (μ.s/cm)	Condutividade (μ.s/cm)		Temperatura (°C)		pH
35.5		68		222	238		28		8,2
Frasco	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente (%)	Condu-tividade final	pH coagula-ção	
	Coagulante (mg/L)	Tipo de Polieletrólito	Dosagem polieletrólito (mg/L)						
1	10.0	-	0.0	2.1	2.4	7	247	8.1	
2	-	G 999 (não iônico)	1.6	17.7	20.3	57	237	8.1	
3	10.0	G 999 (não iônico)	0.4	3.3	4.2	12	240	8.1	
4	10.0	G 999 (não iônico)	0.8	1.3	1.5	4	238	8.0	
5	10.0	G 999 (não iônico)	1.2	1.5	1.7	5	237	8.0	
6	10.0	G 999 (não iônico)	1.6	1.4	1.6	5	237	8.0	

Cond*: Condutividade da água da rede no local da lavagem de veículos

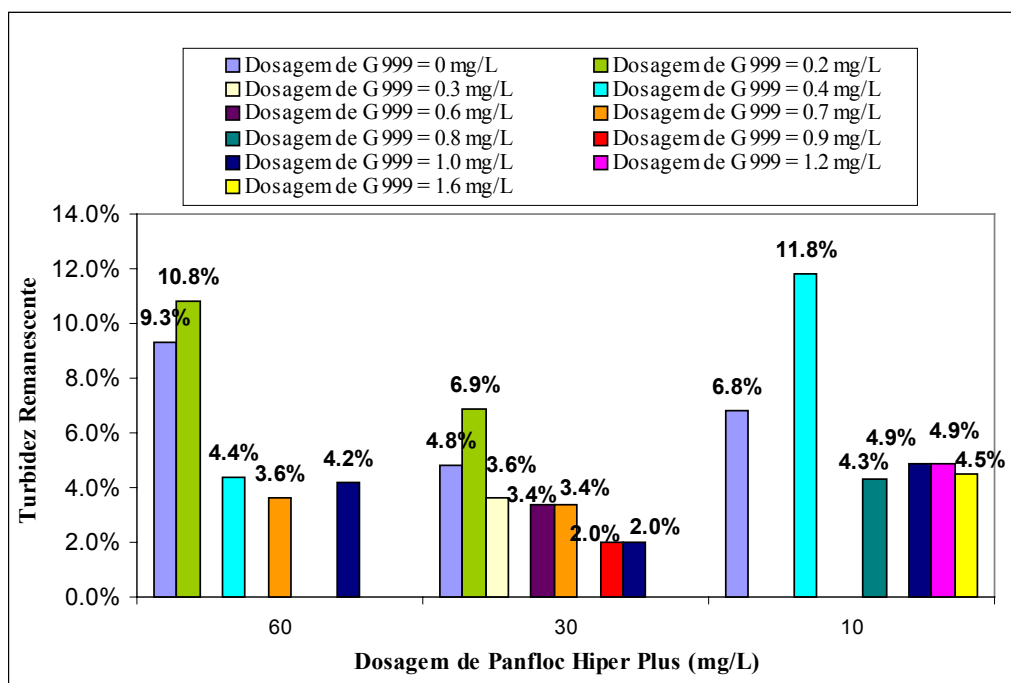


Figura d.3 – Comparação da eficiência da remoção de turbidez entre os resultados obtidos variando a dosagem de coagulante (Panfloc Hiper Plus) e polieletrólito (G999)

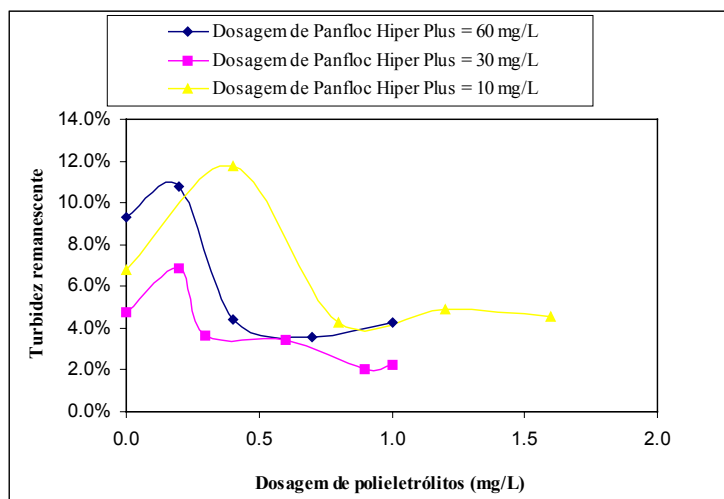


Figura d.4 – Comparação da eficiência da remoção de turbidez entre os resultados obtidos variando a dosagem de coagulante (Panfloc Hiper Plus) e de polieletrólito (G999)

Tabela d.6 - Valores de cor , turbidez e condutividade resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 60 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1,0 mg/L

Data: 23/03/03					COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus																						
MISTURA RÁPIDA			FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO																						
Tmr = 10 s			Tf = 15 min		Tsat = 10 min						R = 15%																
Gmr = 1000 s ⁻¹			Gf = 50 s-1		P= 400 kPa						VA = 5cm/min																
Características da água de estudo																											
Turbidez (uT)		Alcalinidade (mg CaCO3/L)			Cond* (μ.s/cm)	Condutividade (μ.s/cm)		Temperatura (°C)			Cor aparente (uC)		Cor verdadeira (uC)		pH												
120		56			312	327		22.7			760		43		8,1												
F r a s c o	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO				Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez rema- nescente (uT) (%)	Con- duti- vi- dade final (μ.s/cm)	pH coagu- lação	Cor apa- rente (uC)	Cor verda- deira (uC)	Cor apa- rente corri- gida (uC)	Cor verda- deira corri- gida (uC)	Cor aparente rema- nescente (%)	Cor verda- deira rema- nescente (%)												
	Coagu- lante (mg/L)	Dosa- gem de NAOH (mL)	Tipo de Poliele- trólito	Dosa- gem poliele- trólito (mg/L)																							
	1	-	-	0.0												85.2	97.9	81.6%	324	8.13	605	37	695	43	92%	99%	
	2	60.0	-	-												0.0	7.6	8.7	7.3%	337	7.95	96	15	110	17	15%	40%
	3	60.0	5.0	G 999												0.0	9.7	11.1	9.3%	341	8.48	132	24	152	28	20%	64%
	4	60.0	-	G 999												0.4	4.9	5.6	4.7%	336	7.88	63	16	72	18	10%	43%
	5	60.0	-	G 999												0.7	3.5	4.0	3.3%	333	7.81	48	15	55	17	7%	40%
	6	60.0	-	G 999												1.0	2.3	2.7	2.2%	333	7.81	47	15	54	17	7%	40%

Cond*: Condutividade da água da rede no local da lavagem de veículos

Tabela d.7 - Valores de cor , turbidez e condutividade resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 30 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1,2 mg/L

Data: 23/03/03					COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus											
MISTURA RÁPIDA				FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO										
Tmr = 10 s				Tf = 15 min		Tsat = 10 min					R = 15%					
Gmr = 1000 s ⁻¹				Gf = 50 s-1		P= 400 kPa					VA = 5cm/min					
Características da água de estudo																
Turbidez (uT)		Alcalinidade (mg CaCO3/L)			Cond* (μ.s/cm)	Condutividade (μ.s/cm)		Temperatura (°C)			Cor aparente (uC)		Cor verdadeira (uC)		pH	
120		56			312	327		22.7			760		43		8,2	
F r a s c o	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO				Turbidez (uT)	Turbidez corri-gida (uT)	Turbidez rema-nescente (uT) (%)	Con-duti-vidade final (μ.s/cm)	pH coagu-lação	Cor apa-rente (uC)	Cor verda-deira (uC)	Cor apar-ente corri-gida (uC)	Cor verda-deira corrig-ida (uC)	Cor aparente rema-nescente (%)	Cor verda-deira rema-nescente (%)	
	Coagu-lante (mg/L)	Dosa-gem de NAOH (mL)	Tipo de Poliele-trólito	Dosa-gem poliele-trólito (mg/L)												
	1	30.0	-	-	0.0	6.1	7.0	5.9%	338	8.06	83	19	95	22	13%	51%
	2	30.0	-	G 999	0.4	9.5	10.9	9.1%	331	8.03	194	15	223	17	29%	40%
	3	30.0	-	G 999	0.7	6.8	7.8	6.5%	330	8.00	51	17	59	20	8%	45%
	4	30.0	-	G 999	0.9	3.8	4.3	3.6%	326	7.99	54	15	62	17	8%	40%
	5	30.0	-	G 999	1.0	2.9	3.3	2.8%	322	7.97	46	14	53	16	7%	37%
	6	30.0	-	G 999	1.2	2.5	2.8	2.4%	325	7.92	32	15	37	17	5%	40%

Cond*: Condutividade da água da rede no local da lavagem de veículos

Tabela d.8 - Valores de cor , turbidez e condutividade resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) de 10 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1,6 mg/L

Data: 23/03/03					COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus											
MISTURA RÁPIDA				FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO									
Tmr = 10 s				Tf = 15 min			Tsat = 10 min					R = 15%				
Gmr = 1000 s ⁻¹				Gf = 50 s-1			P= 400 kPa					VA = 5cm/min				
Características da água de estudo																
Turbidez (uT)		Alcalinidade (mg CaCO3/L)			Cond* (μ.s/cm)	Condutividade (μ.s/cm)		Temperatura (°C)			Cor aparente (uC)		Cor verdadeira (uC)		pH	
120		56			312	329		22.7			760		43		8,2	
F r a s c o	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO				Turbidez (uT)	Turbi-dez corri-gida (uT)	Turbidez rema-nescente (uT) (%)	Con- duti- vidade final (μ.s/cm)	pH coagu- lação	Cor apa- rente (uC)	Cor verda- deira (uC)	Cor apar- ente corri- gida (uC)	Cor verda- deira corrigi- da (uC)	Cor aparente rema-nescente (%)	Cor verda- deira rema-nescente (%)	
	Coagu- lante (mg/L)	Dosa- gem de NAOH (mL)	Tipo de Poliele- trólito	Dosa- gem poliele- trólito (mg/L)												
	1	10.0	-	-	0.0	38.8	44.6	37.2%	329	8.08	323	30	371	34	49%	80%
	2	10.0	-	G 999	0.4	45.5	52.3	43.6%	328	8.12	358	23	411	26	54%	61%
	3	10.0	-	G 999	0.7	30.3	34.8	29.0%	324	8.02	256	60	294	69	39%	100%
	4	10.0	-	G 999	1.0	29.7	34.1	28.4%	310	8.02	257	27	295	31	39%	72%
	5	10.0	-	G 999	1.2	28.6	32.9	27.4%	323	8.00	239	28	275	32	36%	75%
	6	10.0	-	G 999	1.6	30.5	35.1	29.2%	324	8.01	219	26	252	30	33%	70%

Cond*: Condutividade da água da rede no local da lavagem de veículos

Tabela d.9 - Valores remanescentes de cor , turbidez e DQO filtrada resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) variando de 0 a 60 mg/L e dosagem de polieletrólito (G 999) variando de 0 a 1,2 mg/L.

(Dados extraídos das Tabelas d.6, d.7 e d.8)

Data: 23/03/03					COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus												
MISTURA RÁPIDA			FLOCULAÇÃO		FLOTAÇÃO												
Tmr = 10 s			Tf = 15 min		Tsat = 10 min				R = 15%								
Gmr = 1000 s ⁻¹			Gf = 50 s-1		P= 400 kPa				VA = 5cm/min								
Características da água de estudo																	
DQO (mg/L) filtrada com papel 0,45 µm			Alcalinidade (mg CaCO3/L)		Turbidez (uT)	Condutividade (µ.s/cm)		Temperatura (°C)		Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)						
78			56		120	329		22,7		760	43						
F r a s c o	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO				Turbidez remanescente (uT) (%)	Cor aparente remanescente (%)	Cor verdadeira remanescente (%)	DQO filtrada (mg/L)	DQO filtrada corrigida (mg/L)	DQO filtrada remanescente (mg/L)							
	Coagu-lante (mg/L)	Dosa-gem de NaOH (mL)	Tipo de Poliele-trólito	Dosa-gem poliele-trólito (mg/L)													
	1	-	-	0,0							82%	92%	99%	76,6	88,0	100%	
	2	60,0	-	0,0							7%	15%	40%	46,2	53,0	68%	
	3	60,0	5,0	G 999							0,0	9%	20%	64%	88,5	101,7	100%
	4	60,0	-	G 999							0,7	3%	7%	40%	42,7	49,1	63%
	5	60,0	-	G 999							1,0	2%	7%	40%	43,5	50,0	64%
	6	30,0	-	G 999							1,0	3%	7%	37%	64,7	74,4	95%
	7	30,0	-	G 999							1,2	2%	5%	40%	49,8	57,2	73%
	8	10,0	-	G 999							1,0	28%	39%	72%	61,9	71,1	91%
	9	10,0	-	G 999							1,2	27%	36%	75%	60,4	69,4	89%

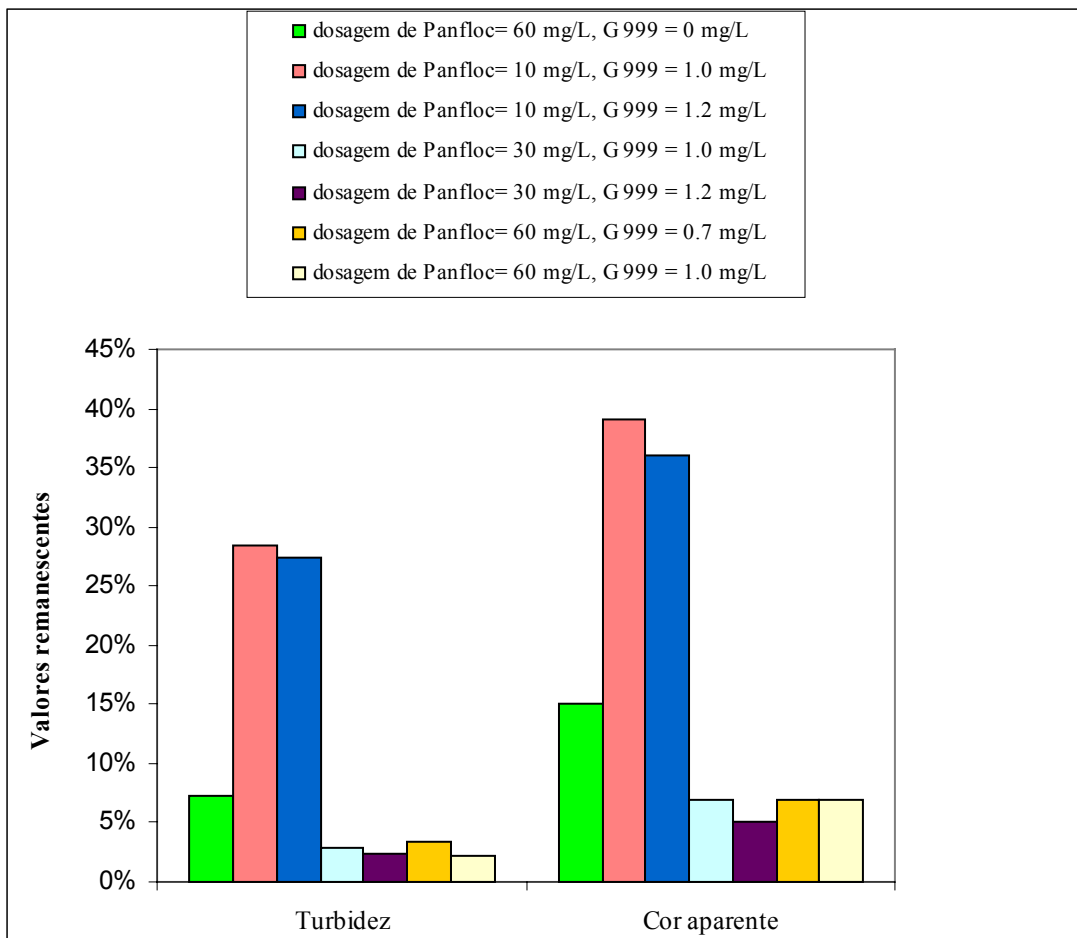


Figura d.5 –.Valores remanescentes de turbidez, cor aparente do efluente tratado por coagulação, floculação e flotação em função da dosagem do coagulante Panfloc Hiperplus e do polieletrólito G999. Água bruta: Turbidez = 120 uT

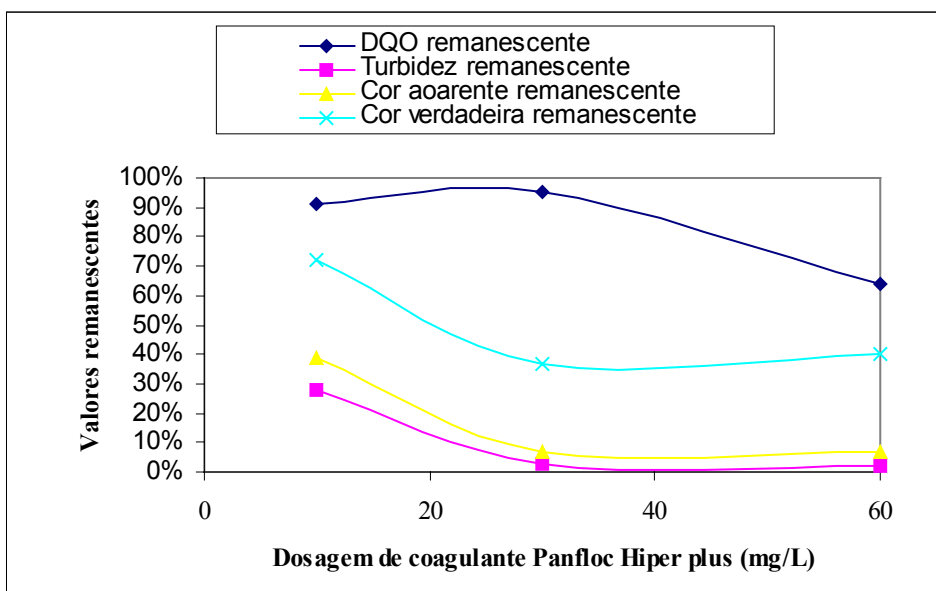


Figura d.6 – Valores remanescentes de DQO filtrada, turbidez e cor verdadeira para a dosagem de 10, 30 e 60 mg/L do coagulante Panfloc Hiper Plus, mantendo-se a dosagem de 1 mg/L do polímero G 999.

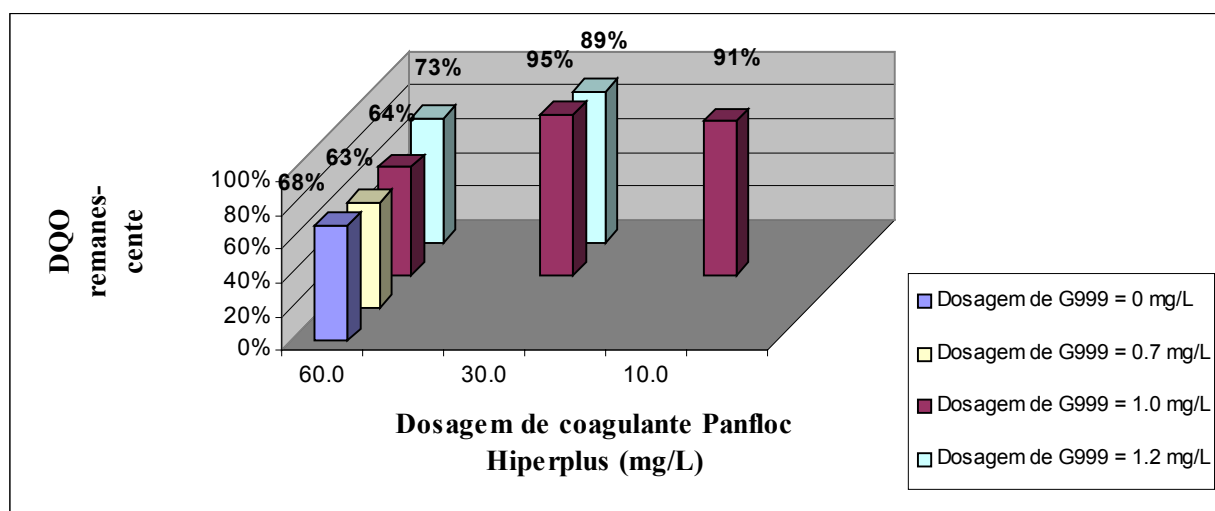


Figura d.7 – Valores remanescentes de DQO filtrada, em função da variação da dosagem de coagulante (Panfloc Hiper Plus) e, polímero (G 999).

Tabela d.10 - Valores de cor , turbidez e DQO filtrada resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC variando de 0 a 60 mg/L e dosagem dos polieletrólitos (G 999 e W360) variando de 0 a 1,6 mg/L

Data: 05/04/03					COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus									
MISTURA RÁPIDA				FLOCULAÇÃO			FLOTAÇÃO							
Tmr = 10 s				Tf = 15 min			Tsat = 10 min				R = 15%			
Gmr = 1000 s ⁻¹				Gf = 50 s-1			P= 400 kPa				VA = 5cm/min			
Características da água de estudo														
DQO (mg/L)		DQO (mg/L) filtrada com papel 0,45 µm		Alcalinidade (mg CaCO3/L)	pH	Turbidez (uT)	Condutividade (µ.s/cm)		Temperatura (°C)		Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)		
100.7		67.9		60	7,9	74,4	331		22.3		518	29		
F r a s c o	DOSAGEM DE			Turbidez (uT)	Turbi- dez corri- gida (uT)	Condutivi- dade final (µ.s/cm)	pH coagu- lação	Cor apa- rente (uC)	Cor verda- deira (uC)	Cor aparente corrigida (uC)	Cor ver- da- deira corri- gida (uC)	DQO Filtra- da (mg/L)	DQO Filtrada corrigida (mg/L)	
	Coagu- lante (mg/L)	Tipo de Poliele- trólito	Dosa- gem poliele- trólito (mg/L)											
	1	30.0	-	0.0	5.2	6.0	338	7.9	56	12	64	14	32.7	37.6
	2	60.0	-	0.0	4.6	5.3	346	7.8	51	12	59	14	33.0	37.9
	3	30.0	G 999	1.0	4.8	5.5	331	7.7	51	12	59	14	35.3	40.6
	4	30.0	G 999	1.2	7.7	8.9	338	7.8	76	13	87	15	31.2	35.9
	5	60.0	G 999	0.7	7.9	9.1	337	7.7	72	13	83	15	28.2	32.4
	6	10.0	W 360	1.2	8.3	9.5	324	7.9	76	11	87	13	38.6	44.4
	7	30.0	W 360	1.0	5.2	6.0	331	7.8	53	13	61	15	35.3	40.6
	8	30.0	W 360	1.2	6.8	7.8	334	7.7	69	14	79	16	33.7	38.7
	9	60.0	W 360	0.7	5.5	6.3	336	7.5	58	12	67	14	30.4	34.9
	10	60.0	W 360	1.0	5.1	5.8	334	7.5	56	9	64	10	28.5	32.8
	11	60.0	W 360	1.2	4.2	4.9	331	7.5	52	10	60	11	11.9	13.7
	12	0.0	W 360	1.6	48.0	55.2	323	7.9	402	37	462	43	-	-

Tabela d.11- Valores remanescentes de cor , turbidez e DQO filtrada resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação. Dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) variando de 0 a 60 mg/L e dosagem dos polieletrólitos (G 999 e W360) variando de 0 a 1,6 mg/L. Água bruta: Turbidez = 74,4 uT; DQO filtrada = 67,9 mg/L; Cor aparente = 518 uT; Cor verdadeira = 29 uC.

F r a s c o	DOSAGEM DE			VALORES REMANESCENTES			
	Coagu- lante (mg/L)	Tipo de Poliele- trólito	Dosa- gem poliele- trólito (mg/L)	Turbidez remanescente	Cor aparente remanescente	Cor verdadeira remanescente	DQO filtrada remanescente
1	30,0	-	0,0	8%	12%	48%	55%
2	60,0	-	0,0	7%	11%	48%	56%
3	30,0	G 999	1,0	7%	11%	48%	60%
4	30,0	G 999	1,2	12%	17%	52%	53%
5	60,0	G 999	0,7	12%	16%	52%	48%
6	10,0	W 360	1,2	13%	17%	44%	65%
7	30,0	W 360	1,0	8%	12%	52%	60%
8	30,0	W 360	1,2	10%	15%	55%	57%
9	60,0	W 360	0,7	9%	13%	48%	51%
10	60,0	W 360	1,0	8%	12%	36%	48%
11	60,0	W 360	1,2	7%	12%	40%	20%
12	0,0	W 360	1,6	74%	89%	100%	

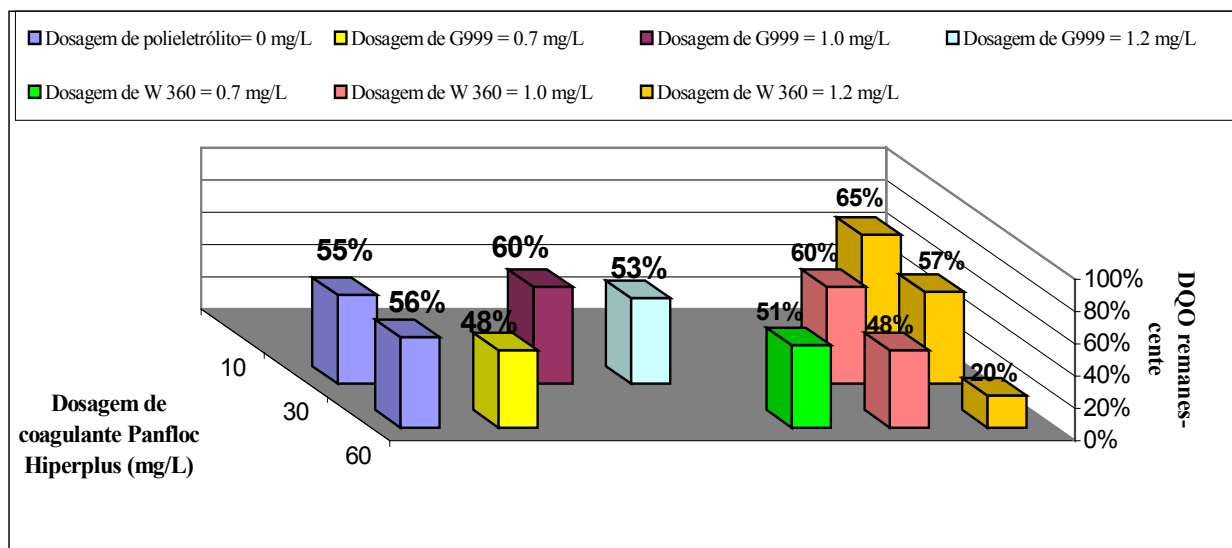


Figura d.8 –Valores remanescentes de DQO filtrada, em função da variação das dosagens de coagulante (Panfloc Hiper Plus) e, de polímeros (G 999 e W360).

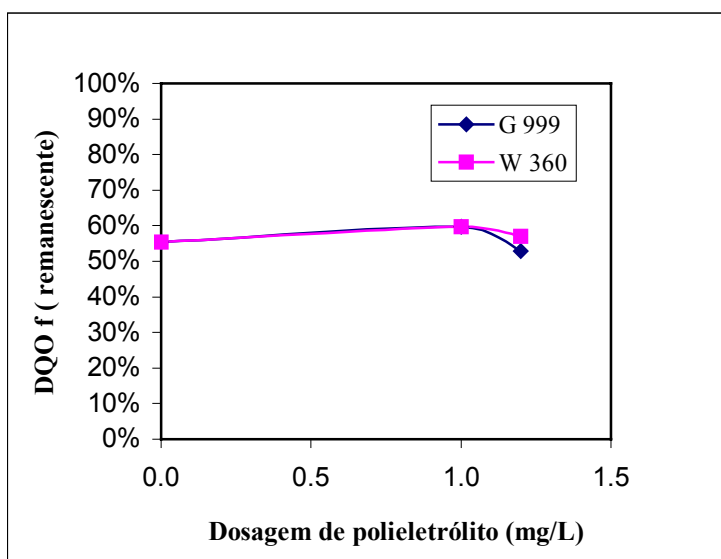


Figura d.9 – Valores remanescentes de DQO filtrada, em função da variação da dosagem de polímeros (G 999 e W360). Dosagem de coagulante (Panfloc Hiper Plus) de 30 mg/L.

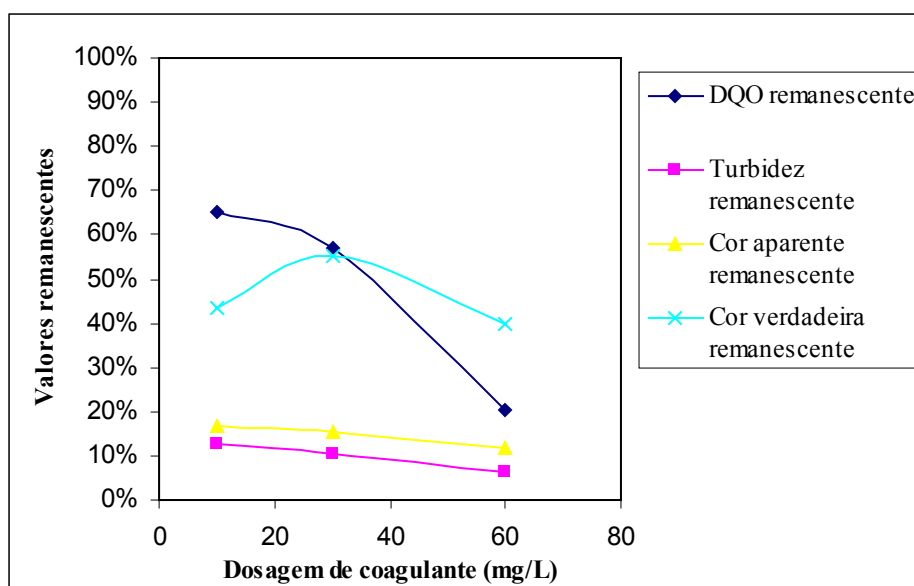


Figura d.10 – Valores remanescentes , em função da variação da dosagem de coagulante (Panfloc Hiper Plus). Dosagem de polímero (W360) de 1,2 mg/L

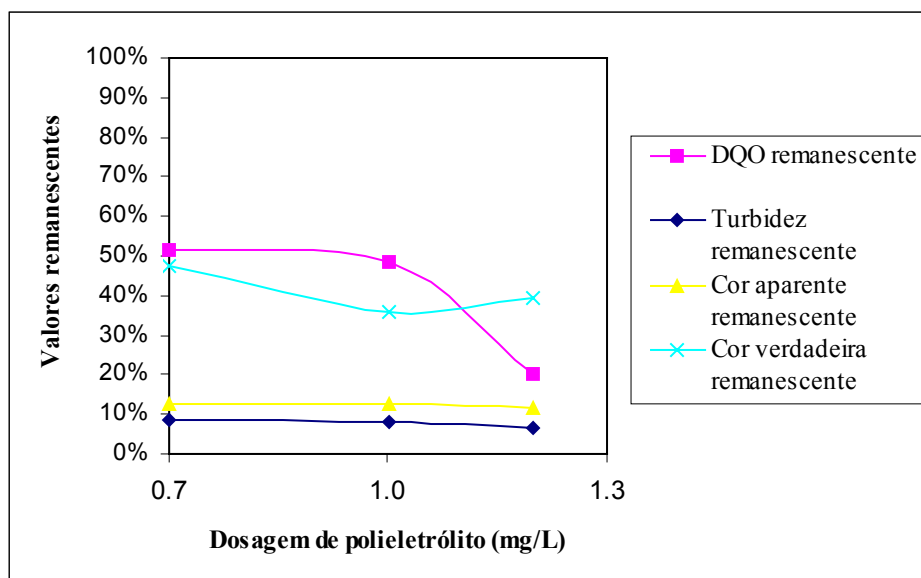


Figura d.11 – Valores remanescentes , em função da variação da dosagem de polímero (W360)
 .Dosagem de coagulante Panfloc Hiper Plus de 60 mg/L

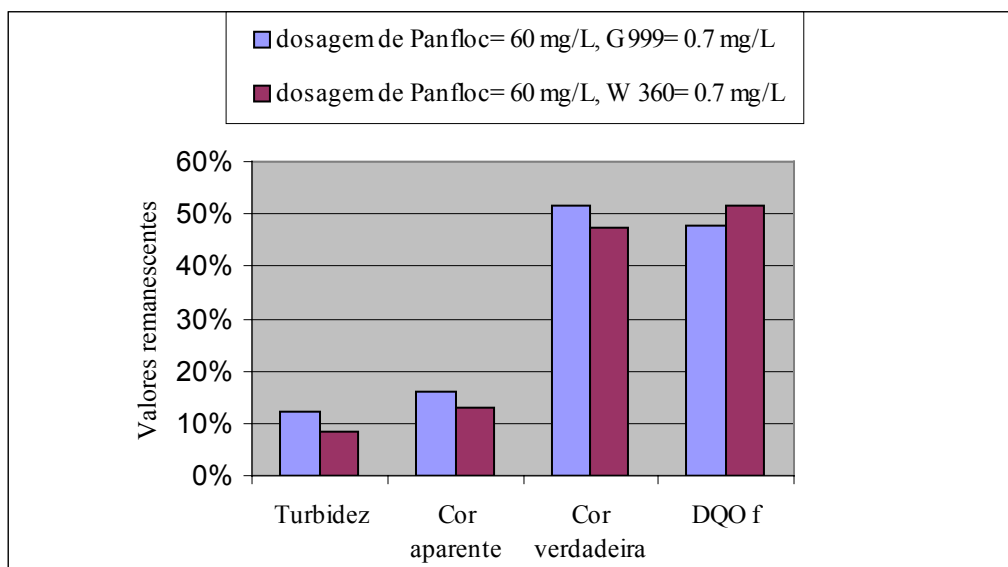


Figura d.12 – Valores remanescentes de turbidez, cor e DQO filtrada, para a dosagens fixas de coagulante (Panfloc Hiper Plus) de polímeros (G 999 e W360).

Tabela d.12 - Valores de cor , turbidez e DQO filtrada resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) variando de 30 e 60 mg/L e dosagem do polieletrólito (W360) variando de 0 a 1,6 mg/L

Data: 07/04/03				COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus												
MISTURA RÁPIDA				FLOCULAÇÃO				FLOTAÇÃO								
Tmr = 10 s				Tf = 15 min				Tsat = 10 min				R = 15%				
Gmr = 1000 s ⁻¹				Gf = 50 s-1				P= 400 kPa				VA = 5cm/min				
Características da água de estudo																
DQO (mg/L)		DQO (mg/L) filtrada com papel 0,45 µm		Alcalinidade (mg CaCO3/L)		Turbidez (uT)	pH	Condutividade (µ.s/cm)			Temperatura (°C)	Cor aparente (uC)		Cor verdadeira (uC)		
88.2		37.2		60		54	8,1	332			26	424		20		
F r a s c o	DOSAGEM DE PRODUTO			Turbidez (uT)	Turbi- dez corrigi- da (uT)	Condutivi- dade final (µ.s/cm)	pH coagu- lação	Cor apa- rente (uC)	Cor verda- deira (uC)	Cor aparente corrigida (uC)	Cor verda- deira corrigida (uC)	DQO Filtrada (mg/L)	DQO Filtrada corrigida (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO corri- gida (mg/L)	
	Coagu- lante (mg/L)	Tipo de Poliele- trólito	Dosa- gem poliele- trólito (mg/L)													
	1	60.0	-	0.0	4.9	5.6	359	7.88	28	5	32	6	4.5	5.2	33.5	38.5
	2	30.0	W 360	1.0	4.5	5.1	332	7.85	41	6	47	7	28.9	33.2	31.3	36.0
	3	30.0	W 360	1.2	2.1	2.4	332	7.85	4	1	5	1	20.2	23.2	28.6	32.9
	4	30.0	W 360	1.6	2.1	2.4	319	7.79	7	0	8	0	21.9	25.2	24.6	28.3
	5	60.0	W 360	1.2	4.5	5.2	331	7.64	21	6	24	7	1.2	1.4	6.7	7.7
	6	30.0	-	-	4.3	5.0	334	7.89	50	7	57	8	18.0	20.7	26.2	30.1

Tabela d.13 - Valores remanescentes de cor aparente, turbidez e DQO filtrada resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem de PAC (Panfloc Hiper Plus) variando entre 30 e 60 mg/L e a dosagem polieletrólito (W360) variando de 0 a 1,6 mg/L. Água bruta: Turbidez =54 uT; DQO filtrada = 37,2 mg/L; DQO = 88,2 mg/L; Cor aparente = 424 uT.

F r a s c o	DOSAGEM DE PRODUTO			VALORES REMANESCENTES			
	Coagu- lante (mg/L)	Tipo de Poliele- trólito	Dosa- gem poliele- trólito (mg/L)	Turbidez remanes- cente	Cor aparente remanescente	DQO filtrada remanescente	DQO remanescente
1	60,0	-	-	10%	8%	14%	14%
2	30,0	W 360	1,0	9%	11%	89%	41%
3	30,0	W 360	1,2	4%	1%	62%	37%
4	30,0	W 360	1,6	4%	2%	68%	32%
5	60,0	W 360	1,2	10%	6%	4%	9%
6	30,0	-	-	9%	14%	56%	34%

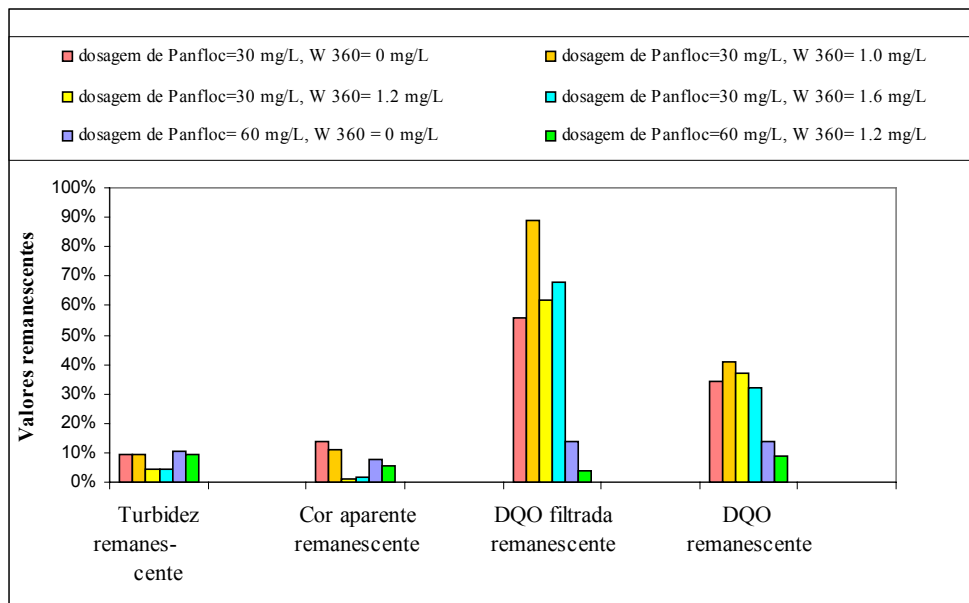


Figura d.13 –.Valores remanescentes de turbidez, cor e DQO filtrada, e DQO para a dosagem de coagulante (Panfloc Hiper Plus) variando entre 30 e 60 mg/L e a dosagem polieletrólito (W360) variando de 0 a 1,6 mg/L. Água bruta: Turbidez =54 uT; DQO filtrada = 37,2 mg/L; DQO = 88,2 mg/L; Cor aparente = 424 uC.

ANEXO- E

OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE FLOCULAÇÃO E DE FLOTAÇÃO

Tabela e.1 - Valores de cor aparente, turbidez, DQO filtrada e DQO resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem fixa de coagulante (Panfloc Hiper Plus) e de polieletrólito (W360) , com gradiente de velocidade de 50 s^{-1} e variando o tempo de floculação

Data: 09/04/03				COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus													
MISTURA RÁPIDA				FLOCULAÇÃO				FLOTAÇÃO									
Tmr = 10 s				Tf = 1 a 16 min				Tsat = 10 min				R = 15%					
Gmr = 1000 s ⁻¹				Gf = 50 s-1				P= 400 kPa				VA = 5cm/min					
Características da água de estudo																	
DQO (mg/L)		DQO (mg/L) filtrada com papel 1,2 µm		pH	pH coag	Alcalinidade (mg CaCO3/L)		Turbidez (uT)		Condutividade (µ.s/cm)		Temperatura (°C)		Cor aparente (uC)		Cor verdadeira (uC)	
165		69,2		7,8	7,4	54		146		298		24		838		25	
F r a s c o	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Tf (min)	Turbi- dez (uT)	Turbi- dez corri- da (uT)	Turbidez remanes- cente	Cor apa- rente (uC)	Cor aparente corrigida (uC)	Cor aparente remanes- cente	DQO Filtrada (mg/L)	DQO Filtrada corrigida (mg/L)	DQO Filtrada remanes- cente	DQO (mg/L)	DQO corrigida (mg/L)	DQO remanes- cente (mg/L)	
	Coagu- lante (mg/L)	Tipo de Poliele- trólito	Dosa- gem poliele- trólito (mg/L)														
	1	60	W 360	1,2	1	57,5	66,1	45%	401	461	55%	-	-	-	-	-	-
	2	60	W 360	1,2	4	30,5	35,1	24%	230	264	32%	13,2	15,2	22%	35,4	40,7	25%
	3	60	W 360	1,2	7	7,94	9,1	6%	78	90	11%	14,6	16,8	24%	19,7	22,6	14%
	4	60	W 360	1,2	10	8,62	9,9	7%	66	76	9%	13,7	15,7	23%	26,6	30,6	19%
	5	60	W 360	1,2	13	4,08	4,7	3%	38	44	5%	7,2	8,3	12%	15,0	17,2	10%
	6	60	W 360	1,2	16	8,94	10,3	7%	68	78	9%	17,4	20,0	29%	25,2	29,0	18%

Tabela e.2 - Valores de cor aparente, turbidez, DQO filtrada e DQO resultantes do ensaio de coagulação, floculação e flotação com dosagem fixa de coagulante (Panfloc Hiper Plus) e de polieletrólito (W360) , com gradiente de velocidade de 100 s^{-1} e variando o tempo de floculação

Data: 09/04/03					COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus												
MISTURA RÁPIDA				FLOCULAÇÃO				FLOTAÇÃO									
Tmr = 10 s				Tf = 1 a 16 min				Tsat = 10 min				R = 15%					
Gmr = 1000 s ⁻¹				Gf = 100 s-1				P= 400 kPa				VA = 5cm/min					
Características da água de estudo																	
DQO (mg/L)		DQO (mg/L) filtrada com papel 1,2 µm		pH	pH coag	Alcalinidade (mg CaCO3/L)		Turbidez (uT)		Condutividade (µ.s/cm)		Temperatura (°C)		Cor aparente (uC)		Cor verdadeira (uC)	
165		69,2		8,0	7,6	54		146		298		24		838		25	
F r a s c o	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			Tf (min)	Turbi- dez (uT)	Turbi- dez corri- gida (uT)	Turbidez remanes- cente	Cor apa- rente (uC)	Cor aparente corrigida (uC)	Cor aparente remanes- cente	DQO Filtrada (mg/L)	DQO Filtrada corrigida (mg/L)	DQO Filtrada remanes- cente	DQO (mg/L)	DQO corrigida (mg/L)	DQO remanes- cente (mg/L)	
	Coagu- lante (mg/L)	Tipo de Poliele- trólito	Dosa- gem poliele- trólito (mg/L)														
	1	60	W 360	1,2	1	103	118,4	81%	539	620	74%	-	-	-	-	-	-
	2	60	W 360	1,2	4	27,9	32,1	22%	183	210	25%	13,0	14,9	22%	39,6	45,5	28%
	3	60	W 360	1,2	7	14,1	16,2	11%	113	130	15%	14,9	17,1	25%	29,5	33,9	21%
	4	60	W 360	1,2	10	7,5	8,6	6%	77	89	11%	11,8	13,6	20%	21,2	24,4	15%
	5	60	W 360	1,2	13	11,8	13,6	9%	96	110	13%	13,7	15,7	23%	29,1	33,4	20%
	6	60	W 360	1,2	16	17,6	20,2	14%	122	140	17%	29,0	33,3	48%	29,0	33,3	20%

Tabela e.3 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação e flotação, variando-se os parâmetros de flotação VA e R%

Data: 09/04/03						COAGULANTE: Panfloc Hiper Plus																										
MISTURA RÁPIDA				FLOCULAÇÃO				FLOTAÇÃO																								
Tmr = 10 s				Tf = 13 min				Tsat = 20 min					R = 5% a 20%																			
Gmr = 1000 s ¹				Gf = 50 s-1				P= 400 kPa					VA = 5 a 20 cm/min																			
Características da água de estudo																																
DQO (mg/L)		DQO (mg/L) filtrada com papel 1,2 µm		pH	pH coag	Alcalinidade (mg CaCO3/L)		Turbidez (uT)		Condutividade (µ.s/cm)		Temperatura (°C)		Cor aparente (uC)		COT (mg/L)																
89,2		38,8		8,0	7,8	54		83,6		308		20,7		604		9,5																
Frascos	DOSAGEM DE PRODUTO QUÍMICO			R %	V asc (cm/min)	Turbidez (uT)	Turbidez corrigida (uT)	Turbidez remanescente	Cor aparente (uC)	Cor aparente corrigida (uC)	Cor aparente remanescente	DQO Filtrada (mg/L)	DQO Filtrada corrigida (mg/L)	DQO Filtrada remanescente	DQO (mg/L)	DQO corrigida (mg/L)	DQO remanescente (mg/L)															
	Coagulante (mg/L)	Tipo de Polieletrólito	Dosagem polieletrólito (mg/L)																													
	1	60	W 360															1,2	5%	20	49,1	51,7	62%	320	337	56%	30,5	32,1	83%	54,8	57,7	65%
	2	60	W 360															1,2	5%	10	23,5	24,7	30%	182	192	32%	22,8	24,0	62%	40,9	43,1	48%
	3	60	W 360															1,2	5%	5	7,5	7,9	9%	69	73	12%	18,3	19,3	50%	31,0	32,6	37%
	7	60	W 360															1,2	15%	20	39,2	45,1	54%	264	303	50%	21,5	24,7	64%	44,8	51,5	58%
	8	60	W 360															1,2	15%	10	19,0	21,9	26%	135	155	26%	19,8	22,8	59%	31,2	35,8	40%
	9	60	W 360															1,2	15%	5	9,9	11,4	14%	89	102	17%	18,5	21,3	55%	26,0	29,9	34%
	10	60	W 360															1,2	20%	20	22,9	27,6	33%	172	207	34%	23,3	28,1	72%	32,8	39,5	44%
	11	60	W 360															1,2	20%	10	7,7	9,3	11%	64	77	13%	22,2	26,7	69%	27,6	33,3	37%
	12	60	W 360															1,2	20%	5	4,7	5,7	7%	52	63	10%	19,7	23,7	61%	26,0	31,3	35%

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMSON, A.W. (1967). *Physical chemistry of surfaces*. 2th ed., Interscience Publishers, U.S.A.

AL-SHAMRANI, A.A., JAMES, A., XIAO, H. (2002). *Destabilization of oil-water emulsions and separation by dissolved air flotation*. . Water Research., v.36, p.1503-1512.

ALEXANDER, M. (1994). *Biodegradation and biodeterioration* . Academic Press, Inc, Ithaca, New York, 1994, 302 p.

ALLEN, M.K., WEBER, R.S. (1978). *Method and apparatus for recycling water in a car wash*. U.S. Patent, vol. 986, n° 3, p.662, september 18.

ANDERSON, J.M.. (1996). *Current water recycling initiatives in Australia: Scenarios for the 21st century*. Wat. Sci. Tech., 33:37-43.

ARMITHARAJAH, A., MILLS, K.M. (1982). *Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation*. Journal AWWA, USA, april.

BATCHELOR, J. S. (1977). *Activated carbons for effluent and water treatment*. Effluent and Water Treatment Journal, n°120, p. 175-185, april.

BRAILE, P. M., CAVALCANTI (1979), J. G. W. A. *Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais*. São Paulo. CETESB.

CAMMAN, K., KLEIBÖHMER, W., MUSSENBROCK, E., ROß, B., ZUTHER, F. (1994). *Fast chromatographic separation techniques as competitors to chemical and biochemical sensor systems*. Fresenius J. Anal. Chem., 349:338-345.

CENTURIONE FILHO, P. L. (2002). *Desenvolvimento e operação de uma instalação de flotação de bancada para águas de abastecimento*. Dissertação (Mestrado), EESC, USP.

COSTANZI, R. N. (2000). *Estudo de tratamentos físico-químicos – Flotação por ar dissolvido, sedimentação, microfiltração e ozonização – do efluente de uma fábrica de papel para imprimir visando o reúso de água*. Dissertação (Mestrado), EESC, USP

CROOK, J., SURAMPALI, R.Y. (1996). *Water reclamation and reuse criteria in the U.S.*. Wat. Sci. Tech., 33: 451-462.

DELCHAD, S. (1992) *The application of demulsification chemicals in recycling, recovery and disposal of oily wastes*. In: FREEMAN H.M. Physical/Chemical Processes. Cincinnati. Technomic, 1992. v.2, p.1-8. (Innovative hazardous waste treatment technology series).

DI BERNARDO, L. (1993) *Métodos e técnicas de tratamento de água* – Rio de Janeiro: ABES, V.1.

DI BERNARDO, L., DA PAIXÃO, G.,C. (1999). *Proposição de metodologia para emprego de polímeros sintéticos como auxiliares de floculação*. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

DOMBROSKI, S. A. G. (1996). *Influência das condições de floculação na eficiência da flotação por ar dissolvido de alta taxa aplicada ao tratamento de água de abastecimento*. Dissertação (Mestrado), EESC, USP.

GALIL, N. I, WOLF,D. (2001). *Removal of hydrocarbons from petrochemical wastewater bt dissolved air flotation*. Wat. Sci. Tech., 43: 107-113.

GOCHIN, R. J., SOLARI, J. (1983). *The role of hidrophobicity in dissolved air flotation*. Water Research., v.17, n.6, p.651-657.

HART, K (2001). *Keep Legionella out of your customer's reclaim system*. Water Technology, july. Disponível em:<
<http://www.watertechonline.com/article.asp?indexid=6631879>>. Acesso em: 3 out. 2002.

HUANG, P.C.Y., WU, Y.C., OU, K.C., BORNHOLM, J.K. (1984) *Physicochemical treatment of washrack wastewater*. In: INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, 39., West Lafayette. **Proceedings**. Ann Arbor Science. p.1-6.

JÖNSSON, C., JÖNSSON, A.S. (1995). *The influence of degreasing agents used at car washes on the performance of ultrafiltration membranes*. Desalination, 100: 115-123.

KOO, B. (2001) *Carwash reclaim systems use water treatment technologies*. Water Technology, july. Disponível em:
<<http://www.watertechonline.com/article.asp?indexid=6630300>>. Acesso em: 3 out. 2002.

LACERDA, R.S., MARQUES, S.F.S, BRANDÃO, C.C.S. (1998). *A influência do pH de coagulação e do tempo de floculação na flotação por ar dissolvido de águas de baixa turbidez e com presença de algas*. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

LAUGHLIN, D. DAN AYRES, P.G., BRIAN CLARK, P.E. (2001) *Join the Reclaim Revolution*. Disponível em: < <http://www.moderncarcare.com/articles/151feat10.html>>. Acesso em: 3 out. 2002.

LEPPINEN, D.M. (2000). *A kinetic model of dissolved air flotation including the effects of interparticle forces*. J. Water Supply: Res. Technol-Aqua, v.49, n.5, p.258-259.

LIU, J.C., LIEN, C.S. (2001). *Pretreatment of bakery wastewater by coagulation-flocculation and dissolved air flotation*. Wat. Sci. Tech., 43: 131-137.

MANCUSO, P. C. S. (1992). *Reúso de Água*. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, Brasil.

MARGESIN, R., SCHIMER, F. (1998) *Low-temperature bioremediation of a wastewater contaminated with anionic surfactants and fuel oil*. Appl. Microbiol. Biotechnol., 49:482-486.

MENDES, C.G.N. (1989). *Estudo da coagulação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis*. São Carlos. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

METCALF e EDDY (1991) *Wastewater Engineering- Treatment, Disposal and Reuse*.

MUJERIEGO, R., ASANO, T. (1999) *The role advanced treatment in wastewater reclamation and reuse*. Wat. Sci. Tech., 40, n. 4-5, p.1-9.

NACE. *The corrosivity of recirculating car wash water*. NACE Publication 3N275, Materials Protection and Performance, v.14, p.9-10, june, 1975.

PANPANIT, S., VISVANATHAN, C. (2001). *The role of bentonite addition in the UF flux enhancement mechanisms for oil/water emulsion*. J. Membr. Sci., 184:59-68.

PAVANELLI, G. (2001). *Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada*. São Carlos. Tese (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PAXÉUS, N.(1996). *Vehicle washing as a source of organic pollutants in municipal wastewater*. Wat. Sci. Tech., 33: 1-8.

PRIOR, S. (2000). *Wastewater Treatment Should Cater to Carwash's Needs*. Disponível em: <<http://www.moderncarcare.com/Articles/0a1feat1.html>>, Acesso em: 3 out. 2002.

REALI, M.A.P., CAMPOS, J.R. (1986) *Emprego de Flotação por ar dissolvido na clarificação de águas para abastecimento*. Boletim nº5, Boletim de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SAWAMURA, M.Y. (1997) *Desemulsificação de águas residuárias de indústrias de refino de óleo lubrificante: estudo de caso*. São Paulo. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SAWYER, C.N., McCARTY, P.L. (1992) *Chemistry for sanitary engineers*. New York, McGraw-Hill.

SECEROV-SOKOLOVIC, R., SOKOLOVIC, S. AND GALESEV, B. (1992). *New technology for wastewater treatment*. Wat. Sci. Tech., 26:2507-2509.

SILVA, M.C.C. (2000). *Reúso de água*. Disponível em:
<<http://www.reúsodeagua.com.br>> Acesso em: 20 set. 2001.

TSELENTIS, Y., ALEXOPOULOU, S. (1996). *Effluent options in Athens metropolitan area: a case study*. Wat. Sci. Tech., v. 33, n.10-11, p.127-138.

US.EPA (1980). *Development Document for Effluent Limitations guidelines and standards for the auto and other laundries point source category*. EPA 820-B-80-100, Office of Water and Waste Management, Washington, D.C. +

US.EPA (1992). *Guidelines for Water Reuse*. EPA/625/R-92/004, US. Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio.

US.EPA (1997). *Technical Development Document for Proposed Pretreatment Standards Existing and New Sources for the Industrial Laundries Point of Source*. EPA 821-R-97-007, Washington, D.C.

US.EPA (1998). *Water Recycling and Reuse: The Environmental Benefits*. EPA 909-F-98-001, Water Division Region IX, San Francisco, California.

US.EPA (1999). *The Class V Underground Injection Control Study*. EPA/816-h-99-014d. vol4, Office of Water, Washington, D.C.

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, (ECOL). *Vehicle and Equipment Washwater Discharges: Best Management Practices*. June,1995.

WILLERS, H.C., KARAMANLIS X.N., SCHULTE, D.D. (1999). *Potential of closed water systems on dairy farms*. Wat. Sci. Tech., 39:113-119.

WORLD WATER AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING. *Cleaning up the carwash*. February,1996.

ZOUBOULIS, A. I., AVRANAS, A. (2000). *Treatment of oil-in-water emulsions by coagulation and dissolved-air flotation*. Colloids and Surfaces, vol. 172, p. 152-161.