

II-172 – PROPOSTA DE MELHORIA DO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO E REDIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL

Maria Alice Moreno Marques⁽¹⁾

Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Josimara Barbosa Tonole⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Faculdades Integradas Espírito-Santenses.

Marco Aurélio de Abreu Bortolini⁽³⁾

Engenheiro Ambiental pela Faculdades Integradas Espírito-Santenses.

Endereço⁽¹⁾: Av. Dante Micheline 1947/401. Ed. Praia de Itapuan. Mata da Praia. Vitória – ES. CEP: 29066-430. Brasil. Brasil - Tel: (27) 98111 -1348 - e-mail: malicemarques@terra.com.br.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo propor melhorias no sistema de tratamento de efluente oriundo de uma lavanderia industrial, localizada no município de São Gabriel da Palha/ES. Inicialmente, foram realizados ensaios de Jar-test com o efluente para verificar a faixa ótima de dosagem de coagulante e pH de coagulação, seguido de um ensaio com descolorante para a remoção da cor. Foram utilizados os coagulantes Sulfato de Alumínio e Policloreto de Alumínio (PAC) para a realização deste estudo, onde concluiu-se que o melhor coagulante foi o PAC, com dosagens entre 200 e 275 mg.L⁻¹ e que o pH deverá ser corrigido entre 9,0 e 10,0. Além disso, realizou-se o dimensionamento dos tanques de equalização, floculação e decantação, comparando os resultados com as dimensões reais da estação de tratamento. A partir dos resultados encontrados, constatou-se que as dimensões do floculador estão fora do valor ideal definido no redimensionamento. O que justifica o alto índice de cor e turbidez no efluente final.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento físico-químico, Efluente de lavanderia, Efluente industrial, Coagulação-floculação.

INTRODUÇÃO

O crescimento industrial beneficia o desenvolvimento econômico e social. Nos últimos anos, os problemas ambientais tornaram-se mais críticos e frequentes, devido ao aumento das atividades industriais que vem acontecendo de forma gradativa e desordenada, gerando alterações na qualidade do solo, ar e água pela liberação de poluentes (COTTA, REZENDE, PIOVANI, 2006).

A indústria têxtil destaca-se entre os oito setores mais importantes da atividade industrial no Brasil. Embora as diferenças tecnológicas entre as pequenas e grandes indústrias sejam bastante significativas, todas têm em comum a particularidade de utilizar grandes quantidades de água. Devido ao baixo aproveitamento dos insumos (corantes, detergentes, amaciantes, etc.), a indústria têxtil é responsável pela geração de grandes volumes de resíduos, com alto índice de carga orgânica e forte coloração (PERALTA-ZAMORA, 2005).

Segundo o Sindicato Intermunicipal de Lavanderias do Estado de São Paulo (2015), estima-se que existam em torno de 9.500 lavanderias no Brasil. O setor de lavanderias industriais é fracionado em: jeans, hospitalares, hotel, doméstico, roupas profissionais, panos industriais e EPIs (Equipamentos de Proteção Individual). Cada setor tem sua própria característica e modo de operação.

Os processos de tratamento de efluentes são dimensionados para atender os padrões de exigência da legislação ou padrões de reuso. Diversos métodos ou etapas podem ser empregados para atingir tais padrões, sendo eles o pré-tratamento, tratamento primário, secundário e avançado (METCALF & EDDY, 2003).

O pré-tratamento do efluente têxtil, tem por objetivo remover materiais sólidos grosseiros. A cor e a turbidez provenientes dos sólidos suspensos e coloidais podem ser removidas no tratamento físico-químico com a utilização de sais metálicos, que abrange as etapas de coagulação, floculação e sedimentação. Porém, antes do tratamento físico-químico é necessário que o efluente passe pelo taque de equalização com a finalidade de regular a vazão e a mistura dos despejos dos diferentes processos de beneficiamento. Sendo uma etapa que melhora a eficiência da coagulação por uniformizar o conteúdo do material a ser tratado. (MORAES et al., 2007, METCALF & EDDY, 2003).

O teste de coagulação/floculação, também denominado Jar-test, tem por objetivo simular em escala de laboratório, o processo de tratamento físico-químico existente ou a ser implantado. São extensivamente usados para determinar as dosagens químicas ótimas no tratamento. A interpretação dos resultados envolve a observação visual e química do efluente tratado. Após este processo é necessário que ocorra a separação das partículas agregadas ao meio líquido. A sedimentação ou decantação é o processo de separação sólido-líquido geralmente empregado nos sistemas de tratamento de efluentes industriais (SOLARI, 1981).

Dentro desse contexto este trabalho objetivou escolher um coagulante, definir a faixa ótima de valores do par “dosagem de coagulantes x pH de coagulação” em função da eficiência na redução da turbidez remanescente e da necessidade ou não do uso de acidificante ou alcalinizante, visando o tratamento por coagulação-floculação-sedimentação em escala de bancada, do efluente proveniente de uma Lavanderia Industrial localizada no município de São Gabriel da Palha/ES. Além disso, propôs-se um redimensionamento no Sistema de Tratamento de Efluentes Industrial (STEI) já existente com vistas à melhoria processo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta das amostras

Foram coletadas quatro amostras simples, em diferentes dias na entrada do STEI e foram encaminhadas ao Laboratório Caxixe das Faculdades Integradas Espírito-Santenses (FAESA) para a execução dos ensaios de tratabilidade e da caracterização do efluente bruto e tratado, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Data e horário das Coletas

Coleta	Dia	Horário
Primeira	01/12/2014	07 horas e 00 min
Segunda	08/12/2014	07 horas e 00 min
Terceira	11/12/2014	07 horas e 00 min
Quarta	17/12/2014	07 horas e 00 min

Escolha dos coagulantes utilizados

Neste estudo foram utilizados os coagulantes: Sulfato de Alumínio Ferroso sólido e Policloreto de Alumínio líquido (PAC), dos fornecedores SUALL e FAXON, respectivamente. As principais características dos produtos testados estão apresentadas nos Tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Características do Sulfato de Alumínio

Propriedade	Descrição
Aparência	Sólido Marrom Claro
Alumínio Solúvel como Al_2O_3	14,00 a 16,00 %
Ferro Solúvel em Água como Fe_2O_3	0,00 a 2,50 %

Tabela 3: Características do PAC

Propriedade	Descrição
Aparência	Líquido Viscoso Esbranquiçado
Concentração	37,29 %
Densidade	1,302 kg.L ⁻¹

Jar-test

Para o estudo de tratabilidade, utilizou-se o Jar-test (PoliControl – FlocControl II). Foram preparadas soluções a 2% de cada coagulante, a partir das quais, foram retirados os volumes correspondentes para cada dose a ser testada.

Cada ensaio foi realizado em três etapas: coagulação, floculação e sedimentação, conforme recomendado pela CETESB (1987).

A etapa de coagulação (mistura rápida) foi realizada através de uma agitação intensa, durante dois minutos, a uma rotação de 105 RPM, com a finalidade de dispersar completamente o coagulante. A etapa de floculação ocorreu em um período de tempo de dez minutos, a 30 RPM. E a última etapa, a sedimentação ocorreu durante trinta minutos com o misturador do aparelho em repouso.

O primeiro ensaio foi realizado fixando o pH e variando as doses. No segundo ensaio fixou-se a melhor dose obtida no primeiro ensaio e variou-se o pH. A partir deste resultado foi realizado um terceiro ensaio fixando-se o pH e refinando-se as doses. Procedimento que foi repetido para cada uma das quatro coletas.

Após a realização dos ensaios, foi determinado o melhor coagulante, a melhor faixa de dose e pH.

Parâmetros de controle

Ao final de cada ensaio coletou-se amostras do efluente tratado para medição de turbidez realizado com o aparelho Turbidímetro (Policontrol - Ap 2000) e o pH com o Medidor de pH (Metter Toledo - SevenEasy).

O parâmetro utilizado na avaliação da eficiência de remoção de sólidos suspensos foi a turbidez. A turbidez é um parâmetro que mede indiretamente a quantidade de sólidos suspensos, uma vez que a turbidez de uma amostra é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la devido à presença desses sólidos. Como a análise de turbidez fornece resultados mais rápidos que a análise de sólidos suspensos, em geral ela é utilizada nos ensaios com Jar-test.

O padrão adotado foi a maior redução de turbidez. Nos casos em que a turbidez remanescente era a mesma, foi feita uma análise em termos da necessidade do uso de alcalinizante ou acidificante (com a utilização de Hidróxido de Sódio ou Ácido Clorídrico), o que acarreta em custo adicional, e da necessidade de atendimento ao padrão de lançamento em relação ao pH, determinado pela Resolução CONAMA 430/2011.

Teste com o descolorante Aquafloc NX

Ao final do terceiro ensaio observou-se que o efluente tratado apresentava um pouco de coloração azul. Com isso, foi definida a realização de uma nova coleta para execução de um novo ensaio com descolorante Aquafloc NX.

Dimensionamento do Sistema de Tratamento de Efluente Industrial

O STEI foi dimensionado para receber o efluente e conta com tanque equalizador, floculador e decantador. Foi realizado o redimensionamento para cada etapa do tratamento, pois o sistema atual não atende o padrão de lançamento de efluentes industriais.

Dimensionamento do equalizador

Para o dimensionamento do tanque de equalização foi utilizado o método de conservação de massa (NUNES, 2012).

- **Cálculo de vazão**

Utilizou-se a equação 1 para determinação da vazão.

$$Q = NUP \cdot CA$$

Equação (1)

Onde:

NUP = Número de unidade de produção (peça.dia⁻¹);

CA = Consumo de água (L.peça⁻¹);

Q = Vazão (m³.dia⁻¹).

Como o funcionamento da lavanderia é de 16 horas (dois turnos de 8 horas) por dia, adotou-se o tempo de detenção de 8 horas, para que o efluente seja coletado durante o primeiro turno e seja tratado continuamente durante o segundo turno.

- **Cálculo do volume de equalização**

Utilizou-se equação 2 para determinação do volume de equalização.

$$V_{eq} = Q \cdot t$$

Equação (2)

Onde:

Q = Vazão (m³.h⁻¹);

t = Tempo de detenção (horas);

V_{eq} = Volume de equalização (m³).

- **Dimensões do tanque de equalização**

Considerando que o tanque deve ser prismático de base quadrada, utilizou-se a equação 3 e encontrou-se a largura do tanque.

$$V_{eq} = L^2 \cdot h$$

Equação (3)

Onde:

L = Lado da seção quadrada (m);

h = Altura adotada 3,00 (m).

- **Volume total útil do tanque de equalização**

Com a equação 4, encontrou-se o volume total útil do tanque de equalização.

$$V_t = V_{eq} + V_{min}$$

Equação (4)

Onde:

V_{min} = Volume mínimo cuja profundidade é adotada em 1,0 m (m³);

V_t = Volume total útil do tanque (m³).

- **Potência do Agitador**

Para o cálculo da potência do agitador, utilizou-se a equação 5.

$$P = \frac{D_p \cdot V_t}{745}$$

Equação (5)

Onde:

D_p = Densidade de potência, adotada $10 \text{ (w.m}^{-3}\text{)}$;

P = Potência do agitador (HP).

Considerando uma folga de operação, multiplicou-se o valor da potência encontrada por 1,5 e dividiu-se por 0,8, para considerar que o equipamento não vai trabalhar na potência máxima.

Dimensionamento do Floculador Hidráulico e Mecânico

A floculação poderá ser mecânica ou hidráulica. Na floculação mecânica, utilizam-se agitadores eletromecânicos e na floculação hidráulica, a energia de agitação é conseguida com uso de chicanas, em que o líquido efetua movimento e fluxo do tipo pistão, sinuoso horizontal ou vertical (NUNES, 2012).

Dimensionamento do Floculador Hidráulico Horizontal

- **Cálculo de vazão**

Para o cálculo da vazão, utilizou-se a equação 6.

$$Q = \frac{V}{T} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

V = volume a ser tratado (m^3);

T = tempo de duração do tratamento (horas);

Q = vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$).

- **Cálculo da seção de escoamento**

Para o cálculo da seção de escoamento, utilizou-se a equação 7.

$$S = \frac{Q}{v} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

v = velocidade de escoamento (m.s^{-1});

S = seção de escoamento (m^2).

- **Profundidade do tanque**

Para o cálculo da profundidade, utilizou-se a equação 8.

$$h = \frac{S}{e} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

e = espaçamento entre chicanas (m);

h = profundidade (m).

- **Volume do tanque**

Para o cálculo do volume do tanque, utilizou-se a equação 09.

$$V = Q \cdot t \quad \text{Equação (9)}$$

Onde:

Q = vazão ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$);

t = tempo de detenção (horas);
V = volume do tanque (m³).

- **Quantidade de compartimentos**

Para o cálculo do número de compartimentos, utilizou-se a equação 10.

$$m = \frac{V}{e \cdot b \cdot h} \quad \text{Equação (10)}$$

Onde:

V = volume do tanque (m³);
b = largura do tanque (m);
m = número de compartimentos.

- **Comprimento do tanque**

Para o cálculo do comprimento do tanque, utilizou-se a equação 11.

$$L = m \cdot e \quad \text{Equação (11)}$$

Onde:

L = comprimento do tanque (m).

- **Quantidade de chicanas**

Para o cálculo do número de chicanas, utilizou-se a equação 12.

$$n = m - 1 \quad \text{Equação (12)}$$

Onde:

n = número de chicanas.

- **Perda de carga**

Para o cálculo da perda e carga, utilizou-se a equação 13.

$$hf = n \cdot k \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{Equação (13)}$$

Onde:

k = constante referente às perdas de cargas localizadas e é igual a 2,5;
v = velocidade de escoamento (m.s⁻¹);
g = aceleração da gravidade, adotado 9,8 (m.s⁻²);
hf = perda de carga (m).

- **Verificação do Gradiente de Velocidade**

Para verificação do gradiente de velocidade, utilizou-se a equação 14.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \cdot hf}{\mu \cdot t}} \quad \text{Equação (14)}$$

Onde:

γ = peso específico do líquido, adotado $1000 \text{ (kg.m}^{-3}\text{)}$;
 μ = viscosidade absoluta do líquido, adotado $1,029.10^{-4} \text{ (kgf.s.m}^{-2}\text{)}$;
 t = tempo de detenção (s);
 G = gradiente de velocidade (s^{-1}), deve estar entre 20 e 80 s^{-1} (NUNES, 2012).

- **Verificação do Número de Camp**

Para o cálculo do número de camp, utilizou-se a equação 15.

$$N_c = G \cdot t \quad \text{Equação (15)}$$

Onde:

N_c = número de camp, deve estar entre 30.000 e 150.000.

Dimensionamento do Floculador Mecânico

- **Cálculo da vazão**

Para o cálculo da vazão, utilizou-se a equação 06.

- **Cálculo do volume do tanque**

Para o cálculo do Volume do tanque, utilizou-se a equação 09.

- **Dimensões do tanque**

Para o cálculo das dimensões do tanque, utilizou-se a equação 16.

$$V = L^2 \cdot H \quad \text{Equação (16)}$$

Onde:

L = largura e comprimento (m);

H = altura, fazendo $H=1,2L$ (m);

V = volume do tanque (m^3).

- **Potência do floculador**

Para o cálculo da potência do floculador, utilizou-se a equação 17.

$$P = \frac{\mu \cdot V \cdot G^2}{76} \quad \text{Equação (17)}$$

Considerando uma folga de operação, multiplicou-se o valor da potência encontrada por 1,5 e dividiu-se por 0,8, para considerar que o equipamento não vai trabalhar na potência máxima.

Dimensionamento do Decantador

O decantador é dimensionado em função da taxa de escoamento superficial, conforme o tipo e as características do efluente. As taxas utilizadas para efluentes industriais são bem menores que as empregadas em tratamento de água para abastecimento público. Os sólidos sedimentam no fundo do decantador de onde são removidos como lodo, enquanto o efluente clarificado decanta numa calha coletora no final do decantador (NUNES, 2012).

Visando aproveitar o decantador existente, realizaram-se cálculos para conferir se atende às normas.

- **Cálculo da área superficial**

Para o cálculo da área superficial, utilizou-se a equação 18.

$$A_s = B \cdot L \quad \text{Equação (18)}$$

Onde:

B = largura do decantador (m);

L = Comprimento do decantador (m);

A_s = área superficial (m²).

- **Verificação da taxa de escoamento superficial**

Para a verificação da taxa de escoamento superficial, utilizou-se a equação 19.

$$q = \frac{Q}{A} \quad \text{Equação (19)}$$

Onde:

q = taxa de escoamento superficial (m³.m⁻².dia⁻¹).

- **Volume do decantador**

Para o cálculo do volume do decantador, excluindo o volume reservado para o lodo, utilizou-se a equação 20.

$$V = L \cdot B \cdot H \quad \text{Equação (20)}$$

Onde:

H = altura do decantador (m).

- **Verificação do tempo de detenção**

Para a verificação do tempo de detenção, utilizou-se a equação 21.

$$t = \frac{V}{Q} \quad \text{Equação (21)}$$

Onde:

Q = vazão (m³.h⁻¹);

t = tempo de detenção (h).

RESULTADOS

Primeira Coleta

O efluente bruto apresentou turbidez de 131 UNT e pH igual a 5,2 (Figura 1).



Figura 1: Efluente bruto - Fonte: Arquivo pessoal

Foram executados três ensaios com cada coagulante. Inicialmente, no primeiro ensaio, manteve-se o pH do efluente bruto e fixou-se as dosagens em 100, 200, 250, 300, 350 e 400 mg.L⁻¹. Os resultados encontram-se na tabela 4.

Tabela 4: Resultados obtidos nos ensaios 1, 2 e 3 da primeira coleta

Ensaio	PAC				Sulfato de Alumínio			
	Dose/ mg.L ⁻¹	Turbidez/ UNT	pH inicial	pH de Coagulação	Dose/ mg.L ⁻¹	Turbidez/ UNT	pH inicial	pH de Coagulação
1	100	1,29	5,2	4,54	100	3,85	5,2	4,35
	200	0,02	5,2	4,45	200	3,08	5,2	4,17
	250	0,02	5,2	4,43	250	1,94	5,2	4,13
	300	0,02	5,2	4,46	300	0,72	5,2	4,07
	350	0,02	5,2	4,41	350	0,78	5,2	4,03
	400	0,02	5,2	4,39	400	1,90	5,2	4,01
2	100	0,84	3,0	3,24	300	0,87	4,0	3,73
		0,67	4,0	3,94		1,53	5,0	3,92
		0,49	5,0	4,48		1,43	6,0	4,12
		0,59	6,0	4,67		1,27	7,0	4,31
		0,60	7,0	5,15		1,79	8,0	4,37
		0,98	8,0	5,57		1,73	9,0	4,41
3	50	2,98	5,0	4,96	225	1,86	5,2	4,21
	100	0,79	5,0	4,46	250	1,88	5,2	4,17
	150	0,42	5,0	4,40	275	0,26	5,2	4,13
	175	0,45	5,0	4,39	300	1,36	5,2	4,14
	200	0,36	5,0	4,39	325	0,75	5,2	4,10
	225	0,55	5,0	4,38	350	1,00	5,2	4,06

No primeiro ensaio com PAC a faixa de dosagem ideal ficou entre 100 e 200, fixou-se a dose em 100 mg.L⁻¹ para a realização do segundo ensaio e variou-se o pH de 3,0 a 8,0. O melhor resultado foi obtido em pH de coagulação 4,48 (inicialmente fixado em 5,0) que corresponde ao pH do efluente após adição do coagulante, pois o mesmo reduz o pH do meio. Este ensaio foi repetido variando-se novamente as dosagens e fixando o pH em 5,0.

Para o PAC, observou-se que a dose de 200 mg.L⁻¹ com pH de coagulação entre 4,39 e 4,45 levou ao melhor resultado, com turbidez entre 0,02 e 0,36 UNT (Figura 2).

No primeiro ensaio com sulfato de alumínio o melhor resultado foi obtido com 300 mg.L⁻¹. Dessa forma, no segundo ensaio fixou-se a dose em 300 mg.L⁻¹ e variou-se o pH de 4,0 a 9,0. Os resultados da turbidez final no segundo ensaio ficaram muito próximos em todas as faixas de pH testadas (variou entre 0,87 e 1,73 UNT). Visando economizar na correção do pH fez-se o terceiro ensaio sem correção de pH, apenas refinado as doses. O melhor resultado foi obtido com a dose de 275 mg.L⁻¹ (turbidez igual a 0,26 UNT e pH igual a 4,13), conforme figura 3.

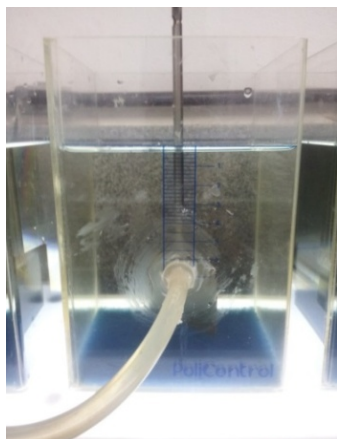


Figura 2: Efluente tratado com PAC - Fonte: Arquivo pessoal

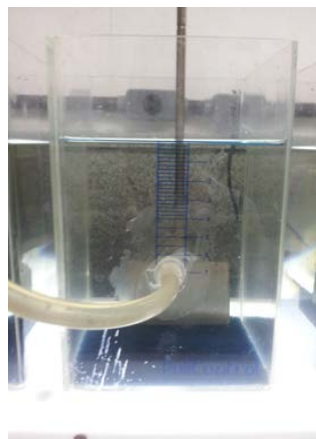


Figura 3: Efluente tratado com Sulfato de Alumínio - Fonte: Arquivo pessoal

Segunda Coleta

O efluente bruto apresentou turbidez de 192 UNT e pH igual a 6,4. Foram realizados três ensaios com PAC e dois com sulfato de alumínio. Os resultados encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados obtidos nos ensaios 1, 2 e 3 da segunda coleta

PAC					Sulfato de Alumínio			
Ensaio	Dose/ mg.L ⁻¹	Turbidez/ UNT	pH inicial	pH de Coagulação	Dose/ mg.L ⁻¹	Turbidez/ UNT	pH inicial	pH de Coagulação
1	100	51,5	6,4	6,12	100	17,9	6,4	5,91
	200	2,03	6,4	5,89	200	4,79	6,4	5,24
	250	0,80	6,4	5,76	250	4,96	6,4	4,94
	300	0,56	6,4	5,61	300	4,97	6,4	4,73
	350	1,12	6,4	5,49	350	5,02	6,4	4,61
	400	0,39	6,4	5,34	400	5,20	6,4	4,51
2	400	0,35	5,0	4,52	200	8,95	5,0	4,50
		0,29	6,0	4,94		3,87	6,0	4,86
		1,07	7,0	5,74		5,71	7,0	5,70
		0,45	8,0	5,89		5,69	8,0	5,92
		0,02	9,0	6,16		5,17	9,0	6,20
		20,8	10,0	7,00		12,0	10,0	7,14
3	250	85,8	9,0	6,60	Não foi realizado o 3º ensaio, já que os valores de turbidez encontrados estavam altos (dose baixa).			
	300	0,13	9,0	6,45				
	325	0,02	9,0	6,33				
	350	0,02	9,0	6,27				
	375	0,02	9,0	6,14				
	400	0,02	9,0	6,07				

Diferentemente do primeiro ensaio da primeira coleta a faixa de dosagem ideal para o PAC ficou mais alta, entre 300 e 400 mg.L⁻¹, já que a turbidez inicial estava mais alta. Fixou-se a dose em 400 mg.L⁻¹ para a realização do segundo ensaio e optou-se por testar valores de pH maiores. Assim variou-se o pH de 5,0 a 10,0.

O melhor resultado obtido no segundo ensaio foi em pH 6,16 (fixado inicialmente em 9,0). Obteve-se uma turbidez abaixo do limite de detecção do equipamento, 0,02 UNT. Este ensaio foi repetido refinando as dosagens entre 250 e 400 mg.L⁻¹ e fixando o pH em 9,0. Com a dose de 300 mg.L⁻¹ obteve-se uma turbidez de 0,13 UNT, o que traz um melhor resultado em termos de custo-benefício.

Com o sulfato de alumínio, o melhor resultado foi obtido na dose de 200 mg.L⁻¹ com pH de coagulação de 5,24 e turbidez de 4,79 UNT. No segundo ensaio, fixou-se a dose em 200 mg.L⁻¹ variando o pH entre 5,0 e 10,0. O melhor resultado obtido foi em pH 4,86 atingindo uma turbidez de 3,87 UNT.

Terceira Coleta

O efluente bruto apresentou turbidez de 167 UNT e pH igual a 5,11. Foram realizados três ensaios com o PAC, conforme a tabela 6.

Tabela 6: Resultados obtidos nos ensaios 1, 2 e 3 da terceira coleta utilizando PAC

PAC				
Ensaio	Dose/mg.L ⁻¹	Turbidez/ UNT	pH inicial	pH de Coagulação
1	100	8,53	5,11	4,75
	200	4,53	5,11	4,57
	250	1,86	5,11	4,52
	300	0,95	5,11	4,50
	350	0,89	5,11	4,46
	400	0,35	5,11	4,43
2	400	0,91	5,0	4,46
		0,76	6,0	4,55
		0,68	7,0	4,66
		0,42	8,0	4,67
		0,45	9,0	4,76
		0,13	10,0	5,32
3	250	1,12	10,0	6,07
	275	0,63	10,0	5,81
	300	0,41	10,0	5,61
	350	0,58	10,0	5,24
	375	0,91	10,0	5,07
	400	0,48	10,0	5,02

No primeiro ensaio variou-se as doses entre 100, 200, 250, 300, 350 e 400 mg.L⁻¹ e obteve-se melhor resultado com a dose de 400 mg.L⁻¹, que foi fixada para o segundo ensaio. No segundo ensaio variou-se o pH de 5,0 a 10,0. No terceiro ensaio fixou-se o pH em 10 (menor turbidez obtida no segundo ensaio) e variou-se novamente as doses, fazendo um refinamento.

Foi realizado um ensaio com sulfato de alumínio ferroso, com pH fixado em 10 e variando as doses. A Tabela 7 apresenta o resultado do ensaio com sulfato de alumínio ferroso.

Tabela 7: Resultados obtidos com sulfato de alumínio ferroso

Sulfato de alumínio ferroso			
Dose/mg.L ⁻¹	Turbidez / UNT	pH inicial	pH de Coagulação
100	16,4	10,0	4,43
200	14,1	10,0	4,26
250	12,8	10,0	4,20
300	13,2	10,0	4,16
350	13,0	10,0	4,12
400	12,1	10,0	4,10

A Figura 4 apresenta o efluente tratado com PAC (dose de 275 mg.L⁻¹, pH 5,81 e turbidez 0,63 UNT) – 3º ensaio e a figura 5 apresenta o efluente tratado com Sulfato de alumínio (dose de 400 mg.L⁻¹, pH 4,10 e turbidez 12,1 UNT) – 1º ensaio.

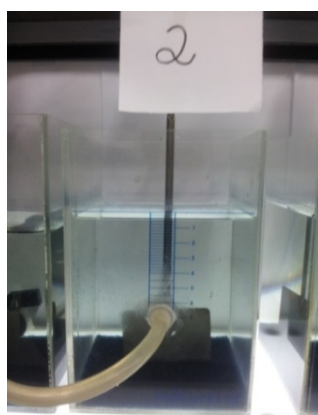


Figura 4: Efluente tratado com PAC - Fonte: Arquivo Pessoal



Figura 5: Efluente tratado com Sulfato de alumínio - Fonte: Arquivo Pessoal

Quarta coleta

Observou-se que os coagulantes usados removiam bem a turbidez, porém um pouco de cor azul ainda permanecia. Dessa forma optou-se por realizar um teste inicial com o descolorante Aquafloc NX (Faxon Química Ltda). O efluente foi tratado com sulfato de alumínio na dose de 275 mg.L⁻¹ e pH inicial 10,0 e, depois, foi adicionado o descolorante em doses variando entre 50 e 800 ppm (figura 6 e 7). Os resultados encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados obtidos com adição do descolorante após tratamento com sulfato de alumínio 275 mg.L⁻¹ e pH igual a 10,0

Descolorante Aquafloc NX				
Ensaio	Dose/ppm	Turbidez / UNT	pH inicial	pH de Coagulação
1	50	4,27	10,0	5,58
	100	3,59	10,0	5,58
	200	2,14	10,0	5,56
	400	4,39	10,0	5,53
	600	12,06	10,0	5,50
	800	47,0	10,0	5,48



Figura 6: Comparação do Efluente Bruto X tratado com Sulfato de Alumínio X tratado com descolorante X controle (água destilada) - Fonte: Arquivo Pessoal

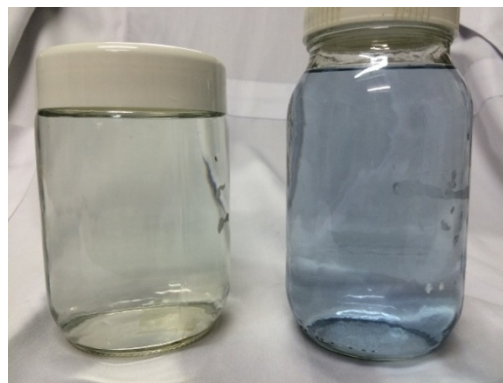


Figura 7: Comparação num volume maior - Fonte: Arquivo Pessoal

RESULTADO DO DIMENSIONAMENTO

Equalizador

Os parâmetros adotados e o resultado obtido no dimensionamento do tanque de equalização encontram-se na tabela 9.

Tabela 9: Dimensionamento do tanque de equalização

Parâmetro	Unidade	Valor	Referência
Número de unidade de produção	Peça.dia ⁻¹	2500	Dado obtido no processo de licenciamento
Consumo de água	L.peça ⁻¹	100	Dado obtido no processo de licenciamento
Vazão	m ³ .dia ⁻¹	250	Equação 1
Tempo de detenção	Horas	8	Adotado
Volume de equalização	m ³	125	Equação 2
Altura	m	3	Adotado
Lado da seção quadrada	m	6,45	Equação 3
Volume total útil	m ³	166,60	Equação 4
Potência do Agitador	HP	4,20	Equação 5

O volume total do tanque de equalização deverá ser de 166,60 m³ com as dimensões de 6,45 m x 6,45 m x 4,00 m e potência do agitador de 4,20 HP.

Floculador

Os parâmetros adotados e os resultados obtidos no dimensionamento do tanque de floculação hidráulica encontram-se na tabela 10.

Tabela 10: Dimensionamento do tanque de floculação hidráulica,

Parâmetro	Unidade	Valor	Referência
Volume diário	m ³	250	Equação 06
Tempo de duração do tratamento	Horas	8	Adotado
Vazão	m ³ .h ⁻¹	31,25	Equação 06
Vazão	m ³ .s ⁻¹	0,0087	Conversão
Velocidade	m.s ⁻¹	0,15	NUNES (2012)
Seção de escoamento	m ²	0,059	Equação 07
Espaçamento entre chicanas	m	0,12	Adotado
Profundidade	m	0,5	Equação 08
Tempo de detenção	Horas	0,5	NUNES (2012)
Volume	m ³	15,63	Equação 09
Largura do tanque	m	3	Adotado
Número de compartimento	-	87	Equação 10
Comprimento do tanque	m	10,44	Equação 11
Número de chicanas	-	86	Equação 12
Perda de carga	m	0,25	Equação 13
Gradiente de velocidade	s ⁻¹	36,7	Equação 14
Número de Camp.	-	66060	Equação 15

O volume total do floculador hidráulico deverá ser de 15,63 m³ com as dimensões de 10,44 m x 3,00 m x 0,50 m.

Os parâmetros adotados e os resultados obtidos no dimensionamento do tanque de floculação mecânico encontram-se na tabela 11.

Tabela 11: Dimensionamento do tanque de floculação mecânico

Parâmetro	Unidade	Valor	Referência
Vazão	m ³ .h ⁻¹	31,25	Equação 06
Velocidade	m.s ⁻¹	0,15	NUNES (2012)
Volume	m ³	15,63	Equação 09
Largura e comprimento	m	2,35	Equação 16
Altura	m	2,82	Equação 16
Gradiente de velocidade máximo	s ⁻¹	80	NUNES (2012)
Gradiente de velocidade mínimo	s ⁻¹	20	NUNES (2012)
Potência máxima	HP	0,23	Equação 17
Potência mínima	HP	0,016	Equação 17

O volume total do floculador mecânico deverá ser de 15,63 m³ com as dimensões de 2,35 m x 2,35 m x 2,82 m e potência do agitador podendo variar entre 0,016 e 0,23 HP.

Decantador

Visando utilizar o tanque de decantação existente, retiramos os dados de dimensionamento do processo de licenciamento ambiental da lavanderia industrial em estudo, com comprimento de 6,00 metros, largura de 3,45 metros e uma profundidade total de 4,62 metros sendo 2,15 m para o decantador e 2,47 m para o descarte do lodo.

Os parâmetros adotados e os resultados obtidos na verificação do dimensionamento do tanque de decantação encontram-se na tabela 12.

Tabela 12: Dimensionamento tanque de decantação

Parâmetro	Unidade	Valor	Referência
Vazão	m ³ .h ⁻¹	31,25	Equação 06
Área superficial	m ²	20,70	Equação 18
Taxa de escoamento superficial	m ³ .m ⁻² .h ⁻¹	1,5	Equação 19
Volume	m ³	44,50	Equação 20
Tempo de detenção	Horas	1,42	Equação 21

Justificativa do redimensionamento

De acordo com os responsáveis pela operação da Estação de Tratamento de Efluente Industrial, ocorre um acúmulo de lodo floculado na saída do floculador, isso se deve a baixa velocidade do efluente em função do espaçamento entre as chicanas. Os dados obtidos do dimensionamento do floculador foram retirados do processo de licenciamento ambiental da lavanderia com um comprimento de 7 metros sendo 4,5 m com espaçamento entre chicanas de 0,25 m e 2,5 m com espaçamento de 0,5 m, conforme podemos demonstrar na tabela 13.

Tabela 13: Medidas reais do floculador

Parâmetro	Unidade	Resultado		Referência
		e = 0,25	e = 0,50	
Vazão	m ³ .s ⁻¹	0,01	0,01	Dado obtido no processo de licenciamento
Velocidade	m.s ⁻¹	0,04	0,02	Equação 07
Número de espaçamento	-	18	5	Equação 10
Número de chicanas	-	17	4	Equação 12
Perda de Carga	m	3,46.10 ⁻³	2,04.10 ⁻⁴	Equação 13
Gradiente de velocidade	s ⁻¹	5,29	1,81	Equação 14
Número de Camp.	-	6348	1086	Equação 15

Na tabela 14, observam-se as medidas reais e as dimensionadas do tanque de equalização.

Tabela 14: Medidas reais e dimensionadas do equalizador

Parâmetro	Unidade	Medidas Dimensionadas	Referência	Medidas Reais	Referência
Comprimento	m	6,45	Valores obtidos na tabela 6	9,00	Processo de licenciamento da lavanderia industrial
Largura	m	6,45		4,00	
Altura	m	4,00		2,00	
Volume	m ³	166,4		72,00	

As diferenças dos valores é notória devido ao redimensionamento sugerir que o tratamento do efluente seja realizado uma vez ao dia e o dimensionamento da lavanderia industrial propõe mais de uma vez ao dia.

As medidas reais do tanque de floculação hidráulica e dimensionadas encontram-se na tabela 15.

Tabela 15: Medidas reais e dimensionadas do floculador hidráulico

Parâmetro	Unidade	Medidas Dimensionadas	Referência	Medidas Reais	Referência
Comprimento	m	10,44	Valores obtidos na tabela 7	7,00	Processo de licenciamento da lavanderia industrial
Largura	m	3,00		1,00	
Altura	m	0,50		1,00	
Volume	m ³	15,63		7,00	

A diferença no dimensionamento deve-se a baixa velocidade de escoamento do efluente no floculador existente. Isso implica na diferença entre as medidas reais e dimensionadas visto que, dependem diretamente da velocidade de escoamento para serem dimensionados.

A tabela 16 apresenta as dimensões propostas para o tanque de floculação mecânica.

Tabela 16: Medidas dimensionadas do tanque de floculação mecânica

Parâmetro	Unidade	Medidas Dimensionadas	Referência
Comprimento	m	2,35	Valores obtidos na tabela 8
Largura	m	2,35	
Altura	m	2,84	
Volume	m ³	15,74	

Foi proposto um floculador mecânico caso não haja área suficiente para a implantação do floculador hidráulico.

Poderá ser utilizado o mesmo tanque de decantação existente no STEI da lavanderia industrial, visto que atende a taxa de escoamento superficial da NBR 12.209/1992 e o tempo de detenção fica próximo ao estabelecido por NUNES (2012).

CONCLUSÃO E PROPOSTAS DE MELHORIAS

Os principais parâmetros indicativos de poluição no efluente gerado na lavanderia são a cor e os sólidos suspensos (turbidez).

Os ensaios realizados permitiram concluir que ocorreu uma pequena variabilidade nos resultados obtidos em função da qualidade do efluente a ser tratado. O tratamento do efluente pelo processo de coagulação-floculação pode ser realizado com dosagens entre 200 e 275 mg.L⁻¹ com o PAC, obtendo uma turbidez menor que 1 UNT e com o sulfato de alumínio na mesma dosagem, não atingindo o mesmo padrão. Com isso, ao adicionar o coagulante o pH deve ser corrigido entre a faixa de 9,0 e 10,0.

A utilização do descolorante melhora a qualidade do efluente, reduzindo a cor e turbidez. Entretanto, recomenda-se a realização de um estudo no tratamento físico-químico para que sejam avaliadas as doses do descolorante utilizado e a forma de aplicação, uma vez que foi realizado apenas um ensaio inicial para verificar a viabilidade do uso do mesmo.

Com base nos resultados do dimensionamento realizado na Estação de Tratamento de Efluentes Industriais e comparando com as medidas reais da estação observa-se uma necessidade de adaptação das instalações para um aumento na eficiência do tratamento. Abaixo estão listadas as melhorias propostas para a ETEI:

- Aumentar o volume do tanque de equalização para que o efluente seja tratado uma vez ao dia, possibilitando assim uma melhor uniformização do material a ser tratado e uma regularização da vazão para o floculador.
- Aumentar a velocidade do efluente no floculador fazendo com que o gradiente de velocidade e o número de Campfiquem de acordo com a referência utilizada. Atualmente, a velocidade está abaixo do ideal provocando um acúmulo de lodo floculado na saída do floculador, sendo necessário realizar alterações nas instalações para adequação destes parâmetros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209: Elaboração de Projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro, 2011.
2. CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água**. Vol. 2, São Paulo, 1987.



3. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE: **Resolução Nº 430: Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Nº 357 de março de 2005.** De 13 de Maio de 2011.
4. COTA, J. A.; REZENE, M. O. O.; PIOVANI, M. R., **Avaliação do teor de metais sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR.** Química nova. V.29, 2006.
5. METCALF & EDDY, Inc. **Constituents in wastewater. In: Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4. Ed., rev. G. Tchobanoglous, F. L. Burton, H. D. Stensel. New York: McGraw-Hill, 2003.
6. METCALF & EDDY, Inc. **Constituents in wastewater. In: Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4. Ed., rev. G. Tchobanoglous, F. L. Burton, H. D. Stensel. New York: McGraw-Hill, 2003.
7. MORAES, L. C. K.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C.R.G; BONGIOVANI, M. C.; HENNIG, D. **Avaliação da eficiência de remoção de cor e turbidez, utilizando como coagulantes os taninos vegetais, com a finalidade de obtenção de água tratada.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007. Belo Horizonte, Anais. CD-rom (I-178), 2007.
8. NUNES, José Alves. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais.** Sergipe: J. Andrade, 2012.
9. SINDICATO INTERMUNICIPAL DE LAVANDERIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – SINDILAV, **Panorama do Mercado de Lavanderias.** Disponível em: <<http://www.sindilav.com.br/mercado-panorama.php>>. Acessado em 09 set. 2015.
10. SOLARI, J. A. **Avanços recentes no tratamento de efluentes por flotação a ar dissolvido.** Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro: v.20, n.3, 1981.
11. PERALTA-ZAMORA, P.; SOUZA, L. R. C. **Degradação de corantes reativos pelo sistema ferro metálico/peróxido de hidrogênio.** Química Nova, 2005.