

ESTUDO DA VELOCIDADE ÓTIMA EM FLOCULADORES MECÂNICOS NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA UNIDADE SÃO DEFENDE – CRICIÚMA/SC

Vitor da Costa Alves (1), Jaison Araújo Speck (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)vitorcostalves@gmail.com, (2) jspeck@casan.com.br

RESUMO

O principal objetivo do presente trabalho é determinar a velocidade ótima dos floculadores mecânicos da estação de tratamento de água da Unidade do São Defende da cidade Criciúma, SC. O floculador mecânico, objeto do estudo, foi analisado laboratorialmente com o auxílio de um Jar-test. Foram determinados os gradientes, sendo diferentes velocidades, aplicando os valores padrões da CASAN de concentração do PAC em seis conjuntos diferentes, para serem trabalhados nos ensaios, obtendo-se valores de turbidez para cada uma das concentrações dos seis conjuntos. Encontrou-se um valor de turbidez menor para a melhor concentração (1,2 ml) e com esta concentração foram refeitos os ensaios com diferentes gradientes de velocidade, para confrontar a dosagem ótima e o gradiente ótimo. Analisando os resultados pode-se verificar que o melhor gradiente foi o primeiro modelo definido na primeira etapa, alcançado o índice médio de turbidez de 0,49 NTU. Este valor de gradiente, em comparação ao utilizado atualmente, reduz a potência aplicada aos floculadores da companhia, diminuindo o consumo de energia em aproximadamente 733 kW, gerando uma redução de R\$ 340,00 mensais. Os valores estipulados para a realização do empreendimento demonstram-se rentáveis a partir de comparativos estabelecidos com os valores gastos em energia pela CASAN.

Palavras chave: Jar-test, turbidez, floculadores, gradiente, CLP.

1. INTRODUÇÃO

A água é a substância mais importante ao ser humano, porém conforme afirma Souza (2005):

Apesar de ser indispensável ao organismo humano, sabe-se que a água pode conter substâncias, elementos químicos ou microrganismos que precisam ser removidos ou parcialmente removidos para que sua concentração não seja prejudicial ao consumo humano.

Para Medeiros (2011), o sistema de abastecimento de água constitui-se no conjunto de obras, instalações e serviços, destinados a produzir e distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da

população, para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos.

As estações de tratamento de água (ETA) são de extrema importância nos grandes e pequenos municípios, porém cada uma delas possuem peculiaridades que as diferenciam, ou seja, seus projetos necessitam ser feito de acordo com o(s) município(s) que está atendendo, tornando mais caro sua concepção.

Basicamente, uma ETA funciona, respectivamente, de acordo com os seguintes processos: recebimento do volume de água vindo de rio ou represa, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, outros processos pertinentes e por fim, entrega da demanda de água.

A etapa de floculação consiste no agrupamento das partículas eletricamente desestabilizadas, de modo a formar outras partículas maiores denominadas flocos, suscetíveis de serem removidos por decantação, seguido de filtração. A floculação torna-se favorecida em condições onde se tem uma agitação moderada, aumentando o contato entre as partículas formando flocos. Esses flocos apresentam massa específica superior à massa específica da água. Assim sendo, nesta etapa tem-se a remoção de cor e turbidez, carga orgânica, organismos patogênicos passíveis de coagulação, eliminação de algumas substâncias que conferem sabor e odor, entre outros.

Conforme afirma Parlatore (1972), existe dificuldade em se manter uma ETA, pois pode propiciar algumas dificuldades, sendo que, entre as etapas de tratamento de água, a mistura e a floculação mecanizada são as mais afetadas.

Com o foco nas estações de tratamento de água e os inconvenientes que podem ocorrer, este trabalho tem como objetivo geral estudar a velocidade ótima nos floculadores mecânicos, através de ensaios em laboratório, ETA do São Defende na cidade de Criciúma.

Observa-se a necessidade, para atingir o objetivo geral, dos seguintes objetivos específicos: Verificar através de ensaios laboratoriais a temperatura e pH da água bruta; Determinar a melhor dosagem de floculante; Aplicar a melhor dosagem em Jar-test; Verificar aplicação de sistema automatizado através de um controlador lógico programável (CLP); Estudar de viabilidade financeira.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

2.1.1 Local de trabalho

O trabalho será realizado no laboratório da Estação de tratamento de água (ETA) da unidade do São Defende, no próprio laboratório da estação de tratamento, localizado na cidade de Criciúma – SC. A estação conta com 6 floculadores mecânicos e 1 floculador hidráulico, sendo que a vazão que chega à estação é de aproximadamente 1050L/s.

Para o trabalho em questão, foram utilizados os seguintes materiais: PAC (policloreto de alumínio), um CLP (controlador lógico programável), turbidímetro, Jar-test, floculadores e a água para tratamento. A tarefa consiste em determinar a velocidade ideal das pás do floculador mecânico, uma vez que este será utilizado para testes. Com a determinação da velocidade de ensaios através do Jar-test, será utilizado um CLP que facilitará a aplicação no floculador da estação de tratamento.

2.1.2 Água de tratamento

A água que chega à unidade coletora é de excelente qualidade, baseado nos controles diários da ETA para água bruta, porém necessita passar pelo processo de tratamento. Inicia-se um conjunto de procedimentos físicos e químicos que são aplicados à água para que esta fique em condições adequadas de consumo humano, ou seja, torne-se potável.

2.1.3 Floculadores

O processo de floculação se dá através de floculador mecânico (figura 1), sendo este o objeto de estudo, ou floculador hidráulico. O floculador mecânico ocorre quando pás motorizadas promovem o giro da água, de forma lenta e gradual, fazendo com que as partículas se unam, formando flocos maiores. Esses flocos tornam-se mais densos que os efluentes, facilitando assim sua decantação.

Figura 1 - Pás mecânicas do floculador.



Fonte: SPECK, Jaison (2017).

2.1.4 Controlador Lógico Programável (CLP)

Com o intuito de estudar e determinar a velocidade ótima das pás do floculador mecânico, será instalado um CLP (controlador lógico programável) para controlar a velocidade ideal e obter os resultados.

CLP é um computador especializado, baseado em um microprocessador, que desempenha funções de controle através de softwares desenvolvidos pelo usuário (cada CLP tem seu próprio software). Portanto, os CLP's têm a capacidade de executar tarefas previamente programadas e controlar sequências de operações.

2.1.5 Policloreto De Alumínio (PAC)

PAC (Policloreto de alumínio) é um coagulante/floculante inorgânico polimerizado, apresenta-se na forma líquida de cor âmbar e aparência viscosa. É eficiente na floculação em uma ampla faixa de pH e temperatura, devido ao grande volume e à estrutura polimérica dos flóculos produzidos.

Tabela 1 - Características do Policloreto de Alumínio.

Concentração (AL ₂ O ₃)	17,00-18,50 %
Peso Molecular	74,45 g/mol
Densidade	1,330 – 1,400 g/cm ³
Solubilidade da Água	Completa

Fonte: Dipa Química (2014).

O PAC substitui com grande desempenho o Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico, pois aumenta a eficiência na decantação primária, melhora as características de filtrabilidade e reduz a carga enviada ao tratamento biológico. Além disso, auxilia no processo de espessamento de lodo por centrífuga, filtro prensa ou de esteira.

2.1.6 Turbidímetro

O Turbidímetro, conforme a figura 02, realiza medições na escala de 0 a 100 NTU Unidades Nefelométricas de Turbidez (*"Nephelometric Turbidity Unit"*). Seu sistema óptico é baseado em um detector foto diodo e uma fonte de luz tipo LED de 850nm e tem o seu circuito micro processado, o que permite uma medição precisa.

Figura 2 – Turbidímetro ETA



Fonte: do autor (2017).

2.1.7 Jar-test

O aparelho Jar-test é um equipamento de laboratório utilizado no ensaio de determinação do percentual de floculante utilizado na etapa de floculação, processo utilizado nas ETAs que com adição de floculante faz as partículas finas argila e silte presentes na água se aglutinarem, formando partículas maiores, facilitando sua sedimentação dos sólidos e a redução da turbidez da água.

Figura 3 – Jar-test da ETA



Fonte: Do autor, 2017.

A finalidade do ensaio de floculação, feito pelo Jar-test, é determinar as dosagens ótimas dos reagentes de PAC, além de determinar velocidades ideais para estudos práticos.

A determinação das dosagens ótimas é realizada por tentativa e comparação. O aparelho Jar-test possui número de até 6 provas simultâneas, com volume de 2 litros de água cada. Além disso, este modelo de equipamento possibilita, durante a realização dos ensaios, um controle digital de velocidade, gerando diferentes gradientes em cada velocidade previamente programada.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Ensaio prático

Para facilitar o estudo com relação à velocidade ótima dos floculadores e a dosagem de floculante (PAC) aplicada à água, este trabalho foi dividido em duas etapas principais. A primeira etapa consistiu em determinar os gradientes de velocidade, através do método de Jar-test verificar qual a melhor dosagem a ser adotada. A segunda etapa por sua vez, com o resultado da melhor dosagem verificada, refazer o ensaios de Jar-test e definir qual o melhor gradiente a ser utilizado para a estação de tratamento em estudo, a fim de quantificar reduções no consumo de energia através da diminuição de potência.

2.2.2 Determinação do Gradiente de velocidade

A Norma 12216/92 determina que na ausência de ensaios de floculação o gradiente de velocidade esteja compreendido entre 70 e 10s⁻¹, respectivamente para o primeiro e último compartimento.

A determinação da potência e do gradiente ficam conforme as equações 01 e 02 abaixo:

Equação 01 – Potência útil para cálculo de gradiente

$$P = (1,465 \cdot 10^{-5}) C_d \cdot \gamma \cdot b \cdot [(1 - k) \cdot N]^3 \cdot \sum_{j=1}^n (R_{ej}^4 - R_{ij}^4) \cdot B$$

Onde:

C_d = Coeficiente de arraste

γ = peso específico da água = 1000 kfg /m³;

b = número de braços;

N = rotação (rpm);

k = relação entra a velocidade da água e a velocidade da paleta;

B = comprimento da paleta (m);

R_{ej} = distância entre o eixo e o lado externo da paleta i (m);

R_{ij} = distância entre o eixo e o lado interno da paleta i (m);

Fonte: Parlatore (1972).

Equação 02 – Cálculo de gradiente em função da potência.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

Onde:

P = potência útil (N.m/s);

μ = Viscosidade absoluta da água (N.s/m²);

V = Volume do floclador (m³).

Fonte: Parlatore (1972).

A redução do gradiente de velocidade ao longo do tempo é fundamental na etapa de floculação, sendo necessária inicialmente agitação mais intensa para aumentar o contato entre as partículas desestabilizadas, de modo a formarem flocos. Com

posterior redução da agitação, gradativamente, para evitar a quebra dos flocos formados.

A tabela 2 determina os gradientes adotados seguindo critérios com base na ETA em estudo e experiência profissional da equipe técnica da mesma.

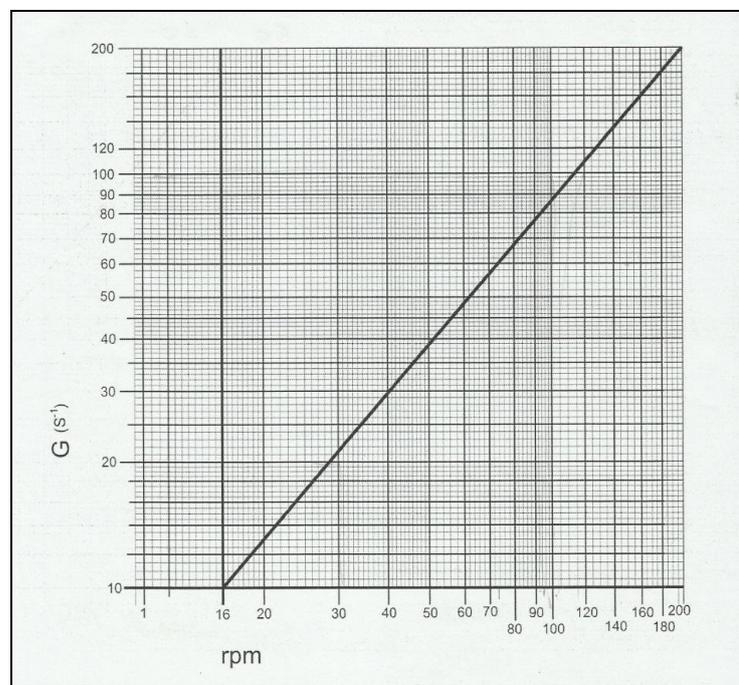
Tabela 2 - Gradiente de velocidade s^{-1}

Tempo	1º	2º	3º	4º	5º	6º
3 min	100	80	80	60	60	40
3 min	80	70	60	60	60	40
3 min	60	60	60	50	40	30
3 min	50	50	40	50	40	30
3 min	40	40	40	40	20	20
3 min	30	30	30	40	20	20

Fonte: Do autor, 2017.

A figura 04 representa o gráfico do Jar-test em estudo e transcreve o gradiente de velocidade em s^{-1} para rpm (rotações por minuto).

Figura 4 - Tabela de conversão do gradiente de velocidade do Jar-test utilizado.



Fonte: Empresa que fornece o Jar-test.

A tabela 3 indica o gradiente de velocidade em RPM (rotações por minuto) que foi obtido com auxílio do gráfico da figura 04.

Tabela 3 - Gradiente de Velocidade (rpm)

Tempo	1º	2º	3º	4º	5º	6º
3 min	115	95	95	74	74	52
3 min	95	83	74	74	74	52
3 min	74	74	74	63	52	40
3 min	63	63	52	63	52	40
3 min	52	52	52	52	29	29
3 min	40	40	40	52	29	29

Fonte: Do autor, 2017.

2.2.3 Ensaio Jar-test

A amostra de água utilizada, chamada de água bruta, deve ser recolhida na caixa de chegada após a pré-cloração e antes do ponto de aplicação dos reagentes floculantes.

Foi elaborada a tabela 04 com valores de dosagens do PAC, estabelecidas de acordo com o histórico de qualidade da água que chega à unidade de tratamento, bem como com o conhecimento técnico da equipe operacional da ETA.

Tabela 4 - Dosagem do PAC em mililitros.

Prova	1º	2º	3º	4º	5º	6º
Dosagem (ml)	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6

Fonte: do autor (2017).

Para a aplicação da dosagem de floculante é retirada uma amostra de 50 ml de água bruta e mistura-se com 2 ml de PAC com auxílio de uma pipeta graduada. Feito a solução, são retirados os valores dosados conforme a tabela 2.

Executada a dosagem, a amostra é homogeneizada com rotação inicial de 150 RPM, durante 30 segundos. Posteriormente, aplicam-se todos os gradientes com tempo de rotação de 3 minutos para cada valor de velocidade, totalizando 18 minutos de ensaio. Após o término dos gradientes de velocidade aplicados às amostras, as mesmas ficam em repouso durante 15 minutos para a simulação de decantação, posteriormente realizam-se os ensaios laboratoriais.

2.2.4 Determinação da turbidez

Após o ensaio Jar-test concluído, é retirada uma amostra com cerca de 10 ml de cada prova (totalizando seis amostras). O ensaio funciona da seguinte forma: o Turbidímetro transmite um feixe de luz infravermelha que atravessa o frasco que contém o líquido a ser testado pelo medidor e em seguida atinge o sensor tipo foto diodo. O Turbidímetro define a turbidez do líquido de acordo com a redução da intensidade do feixe de luz ao atravessar a amostra. Essa redução é causada pelo espelhamento ou absorção do feixe de luz, pois as partículas que provocam a turbidez no líquido são maiores que o comprimento da onda de luz. Sendo assim, quanto maior o valor NTU, maior o grau de turvação do líquido.

2.2.5 Temperatura e pH

Para medir o pH e a temperatura da água foi utilizado um pHmetro conforme figura 05. O pHmetro é constituído basicamente por um eletrodo e um circuito potenciométrico. O aparelho é calibrado usando soluções cujo pH são conhecidos. Para que se conclua o ajuste é então calibrado em dois ou mais pontos. Uma vez calibrado, estará pronto para uso. A leitura do aparelho é feita em função da leitura da tensão que o eletrodo gera quando submerso na amostra. A intensidade da tensão medida é convertida para uma escala de pH.

Figura 5 – pHmetro da unidade de tratamento



Fonte: do autor (2017).

O aparelho faz essa conversão, tendo como escala usual pH de 0 a 14, sendo que pH menores que 7 são classificados como soluções ácidas, pH iguais a 7 como soluções neutras e pH maiores que 7 como soluções básicas ou alcalinas.

Estes ensaios são para controle da água durante o processo, porém sabe-se por literaturas que estes não são influenciadores dos valores de turbidez.

Tabela 5 - Controle de Temperatura e pH.

Teste	Ph Bruta	Temp. (°C)
1º	7,34	17,0
2º	7,54	17,3
3º	7,26	17,1
4º	6,95	16,8
5º	7,31	16,4
6º	7,08	16,4

Fonte: do autor (2017).

Na tabela 05 temos os valores de temperatura e pH para água bruta da ETA do estudo. Nota-se que os valores do pH ficam em torno de 6,95-7,54, que indicam pH neutro, com relação a temperatura, a média foi de aproximadamente 16,80 °C. Estes valores são considerados padrões quando comparados aos controles diários da ETA, que são pH de 7,00 e temperatura de 17,00 °C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 PRIMEIRA ETAPA

Com a primeira etapa que consistiu em aplicar todos os modelos de gradientes escolhidos anteriormente no Jar-test, variando a dosagem do PAC para determinar a dosagem ideal, podemos analisar conforme a tabela 5 abaixo. Nota-se que gradientes menores tendem a melhorar a floculação, como por exemplo, os modelos 5 e 6 que obtiveram valores médios de turbidez de 0,85 e 0,71 NTU. Isso se deve ao fato de que gradientes inferiores facilitam o processo de floculação, dando tempo para formação do floco, reduzindo assim os valores de turbidez.

Em cada valor na tabela 06 foram realizadas três amostras, sendo retirada uma média e desvio padrão encontrado foi de aproximadamente 0,40.

Tabela 6 - Resultados dos ensaios da primeira etapa em NTU.

Dosagens	Gradientes de Velocidade					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
0,6 ml	1,74	1,63	1,22	1,89	0,83	0,94
0,8 ml	1,44	1,32	0,98	1,16	1,07	0,76
1,0 ml	1,11	0,95	0,82	1,32	0,90	0,57
1,2 ml	0,55	0,91	0,95	1,15	0,72	0,70
1,4 ml	0,90	0,79	0,72	1,45	0,56	0,71
1,6 ml	1,57	0,86	0,76	2,17	1,03	0,56
Média	1,22	1,08	0,95	1,53	0,85	0,71

Fonte: Do autor, 2017.

Em oposição as provas 5 e 6, nos modelos 1, 2, 3 e 4, que foram aplicados os maiores gradientes de velocidade de acordo com a tabela 4, a média dos valores foram superiores a 0,90 NTU. Segundo Parlatore, isso pode ser explicado, pois as velocidades mais rápidas geram gradientes maiores e como consequência, provoca dificuldade para a floculação. Uma maior rotação gera “turbulência”, que resulta na dispersão das partículas de impurezas aumentando os valores de turbidez das análises.

Quando analisados apenas por valores unitários, podemos notar que o menor valor para a dosagem de 1,2 ml foi o primeiro modelo de gradiente, com valor de turbidez de 0,55 NTU (em destaque na tabela 6). A explicação se dá pelo fato da água de tratamento já possuir uma baixa turbidez, sendo necessária uma maior agitação inicial para que o PAC possa “encontrar” as partículas para formação dos flocos, melhorando a decantação e conseqüentemente a turbidez.

3.2 SEGUNDA ETAPA

Com o valor da melhor dosagem, de 1,2ml, definido pela primeira etapa, pode-se notar na tabela 7 que os resultados se mantiveram. A média da turbidez de 0,49 NTU foi encontrada no primeiro modelo de gradiente, confirmando a teoria de que a maior agitação inicial favorece o alcance do floculante e com a redução gradativa da velocidade de rotação formam-se os flocos mais densos, melhorando o processo de

decantação e diminuindo o valor de turbidez. Em cada valor na tabela 07 foram realizadas três amostras, sendo retirada uma média e desvio padrão encontrado foi de aproximadamente 0,15.

Tabela 07 - Resultados dos modelos adotados para dosagem de 1,2 ml.

Gradientes	1º	2º	3º	4º	5º	6º
Turbidez (NTU)	0,52	0,44	0,45	0,61	0,71	0,88
Turbidez (NTU)	0,47	0,56	0,86	0,77	0,49	0,88
Turbidez (NTU)	0,47	0,57	0,68	0,54	0,56	0,78
Média Turbidez	0,49	0,52	0,66	0,64	0,59	0,85
Tempo médio para Floculação	6 min	7 min				

Fonte: Do autor, 2017.

Analisando os modelos de gradiente como um todo, para a dosagem de 1,2 ml de floculante, pode-se concluir que todos os modelos são aplicáveis dentro da estação de tratamento, pois alcançaram valores de turbidez inferiores a 1,00 NTU.

4. ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

Atualmente o consumo dos floculadores na unidade de tratamento do São Defende é de 4320 kW/mês, gerando um custo mensal de R\$ 1991,52. Com base nos cálculos de potência para motores de floculadores, podemos dizer que houve uma redução em cada floculador de 122,16 kW/mês, gerando uma redução de R\$ 340,00 mensais na estação de tratamento.

O custo para implantação do CLP é de R\$ 750,00 por floculador, totalizando R\$ 4500,00 de custo por parte da companhia. Analisando os custos para aplicação e considerando os aumentos dos valores para taxa da companhia de energia, aumento no custo de implantação do CLP e o custo de manutenção, o tempo para amortização do investimento é de 20 meses.

5. CONCLUSÕES

Atualmente a água bruta que chega à ETA (valores de turbidez médios de 2,60 NTU, conforme controles diários da CASAN) atende conforme Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 que diz que o valor de qualquer amostra deve ser no máximo 5,0 NTU (apenas valores de turbidez). Esta constatação indica que o trabalho para redução dessa turbidez deve ser minucioso e preciso, tendo em vista a qualidade da água bruta.

Os ensaios realizados neste trabalho demonstraram que a melhor dosagem a ser aplicada, com base nos gradientes adotados, na água bruta e na estação de tratamento da unidade do São Defende, para o Policloreto de Alumínio (PAC) é de 1,2 ml. Uma dosagem muito elevada pode impedir a boa formação dos flocos, dificultar a retirada de floculante, além de ser um gasto demasiado. Por outro lado uma dosagem pequena diminui a qualidade dos flocos formados, conseqüentemente aumenta a turbidez.

A dificuldade de floculação é um fator importante a ser analisado, pois como a água de tratamento chega com ótima qualidade (com relação à turbidez), é necessária uma alta agitação inicial, garantida pelo gradiente de velocidade. Essa agitação deve ser reduzida gradativamente a fim de se garantir a formação de flocos densos e que mantenham seu formato até a etapa de decantação.

O gradiente que se mostrou mais eficaz foi o primeiro ensaiado, alcançando um valor de turbidez de 0,55 NTU para a dosagem de 1,2 ml de PAC. Esse gradiente se caracteriza por ter a maior rotação inicial e redução de forma gradual e contínua, favorecendo o processo de floculação e melhores valores de turbidez. Do mesmo modo, na segunda etapa pode-se constatar que os resultados esperados se concretizaram, encontrando um valor médio de turbidez de 0,49 NTU, confirmando que o melhor gradiente a ser aplicado para a dosagem ótima é o primeiro modelo.

A aplicação do sistema através da utilização de CLPs traria ótimos benefícios ao resultado final do processo de tratamento, ou seja, melhoraria a qualidade da água tratada distribuída, bem como atenderia a nova Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, que estabelece valores de turbidez menores que 0,5 NTU após o processo de decantação. Ainda como benefício, acarretaria numa redução de

R\$340,00 mensais (cálculo para o tempo presente) para a ETA em estudo, em um tempo de amortização relativamente baixo, aproximadamente 20 meses.

Como o trabalho foi realizado em laboratório, necessita de aplicação prática, através da instalação de CLPs nos motores dos floculadores mecânicos para comprovação dos resultados realizados. Por se tratar de uma empresa pública, a mesma executou uma licitação ao longo do trabalho para a compra dos CLPs. Sendo assim, fica como sugestão para trabalhos posteriores a aplicação do modelo ótimo de gradiente de velocidade determinado pelo estudo desenvolvido e comprovação do método.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Parlatore, Antônio Carlos. **Misturadores e floculadores mecanizados: padronização e dimensionamento**. Revista Dae. P 61-92. 1972.

Medeiros, M. A. C. Abastecimento de água. Disponível em: < http://www.ceset.unicamp.br/~mariaacm/ST514/mansan02_33_51.pdf > Acesso em 27 de março de 2017.

SOUZA, Gustavo Bauermann. **Sistema computacional de pré-dimensionamento das unidades de tratamento de água: floculador, decantador e filtro**. 2011. 103f. Trabalho de conclusão de curso (Engenheiro Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.

CESTARI, Jesus Leonardo. **Estudo Hidrodinâmico de Floculadores Mecanizados Aplicados ao Tratamento de Água**. 2001, 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". Unesp, Ilha Solteira, 2001.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: Rima. v. 1 e 2. 2005.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; PÁDUA, V.L. **Redução do tempo de floculação em função do escalonamento do gradiente de velocidade**. ANAIS. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. p.1-10, 2001.

PAVANELI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**.

2001, 233 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216-92 - Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro, p. 18. 1992.

BRASIL. Portaria n. Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.