

USO DO SEDIMENTADOR LAMELADO APLICADOS AO TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE TINTAS

W. T. VIEIRA¹, R. GABRIEL¹, S. H. V. DE CARVALHO¹, J. I. SOLETTI¹

¹ Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia
E-mail para contato: jisoletti@gmail.com

RESUMO

Para o ser humano, o consumo de água potável é algo imprescindível para sua existência. Estima-se que uma indústria de tintas de grande porte gere 320 m³/mês de efluente, que às vezes são lançados em rios e mananciais sem o devido tratamento. Com isso, observa-se que há um interesse crescente por parte das empresas em reduzir os impactos ambientais gerados. Dentre os vários processos de tratamento de efluentes, destacam-se a coagulação seguida pelo processo de sedimentação. O sedimentador lamelado é um clarificador gravitacional consistindo de superfícies inclinadas, agrupadas de modo a formar canais. A floculação é um processo físico que promove a aglutinação das partículas já coaguladas. Como auxiliares da floculação foram utilizados polímeros sintéticos, que são substâncias químicas orgânicas de cadeia longa e alto peso molecular, polieletrólitos. Neste projeto a floculação foi feita utilizando sulfato de alumínio na concentração de 40g/L e como auxiliar de coagulação utilizou-se polieletrólito aniônico. Utilizando-se a metodologia de Kynch para o cálculo da velocidade de sedimentação na proveta de 2L verificou-se um aumento da concentração. Para os ensaios realizados na unidade piloto do sedimentador lamelado observou-se que a porcentagem de sólidos na base varia com a concentração e que o efluente do topo tem uma concentração consideravelmente pequena para as concentrações iniciais do efluente de 10g/L e 15g/L.

1 INTRODUÇÃO

Como a maioria das ciências, a indústria de tintas e vernizes, que tinha sofrido pequenas alterações ao longo do tempo, sentiu um tremendo impacto científico e tecnológico que emergiu no século XX. Estima-se que uma indústria de tintas de grande porte gere 320 m³/mês de efluente. Além disso, dada a constante pressão do mercado por produtos de baixo custo, algumas empresas ainda utilizam-se de pigmentos a base de metais pesados como

chumbo ou cádmio, que associam baixo custo com boas características como resistência a intempéries e solidez a luz. Muitos desses produtos podem ser tóxicos ou biodegradáveis (MANSILLA et al., 2001). Por isso é importante manter a qualidade da água que é imprescindível para o ser humano.

De acordo com a resolução CONAMA 430/2011, artigo 3º, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento. Com isso, observa-se que há um interesse crescente por parte das

empresas em reduzir os impactos ambientais gerados. Di Bernardo et al (1993), diz que dentre os vários processos de tratamento de efluentes, destacam-se um tratamento físico que é caracterizado por métodos de separação de fases: sedimentação seguida pelo processo de coagulação.

A sedimentação é uma das operações unitárias mais utilizadas na indústria química. Nela, as fases sólida e líquida são separadas devido à diferença de peso. Os sedimentadores apresentam geralmente operação contínua, apresentando uma parte cilíndrica e outra cônica, esta com a função de facilitar a retirada da corrente de fundo do equipamento. A parte superior do equipamento é dotada de um vertedouro por onde transborda a corrente de líquido clarificado. A alimentação pode ser feita no topo ou interior do mesmo.

O sedimentador lamelado é um clarificador gravitacional consistindo de superfícies inclinadas, agrupadas de modo a formar canais. A vantagem deste tipo de equipamento é a economia de espaço, uma vez que a capacidade de sedimentação por unidade de volume é bem superior aos sedimentadores gravitacionais convencionais. Isto se deve ao fato da área de sedimentação ser igual à área de cada lamela projetada horizontalmente, multiplicada pelo número de lamelas ativas. Este equipamento pode operar na configuração concorrente e contracorrente. (CARVALHO, 1998).

De acordo com Pavanelli (2001) as dispersões coloidais que são partículas que tem tamanho bastante reduzido, levariam um tempo muito longo para sedimentar, impossibilitando sua remoção somente por sedimentação. Por meio de produtos químicos, pode-se promover a união destas partículas, adicionando-se o produto químico na água bruta, e rapidamente procurando-se homogeneizar a mistura mecânica ou hidraulicamente, este processo é denominado coagulação. Após a coagulação ocorre o

processo físico chamado floculação que promove a aglutinação das partículas já coaguladas, facilitando o choque entre as mesmas devido à agitação lenta imposta ao escoamento da água. Sulfato de alumínio, cloreto férrico e cloreto de alumínio são os agentes mais habitualmente utilizados. Para isso é importante manter o controle do pH. O floco então aumenta de tamanho e precipita, levando consigo qualquer material insolúvel que tenha sido aprisionado na etapa de crescimento. Como auxiliares da floculação podem ser utilizados polímeros sintéticos, que são substâncias químicas orgânicas de cadeia longa e alto peso molecular, polieletrólitos são classificados de acordo com a carga elétrica na cadeia do polímero, os carregados positivamente são chamados de catiônicos, e os que não possuem carga elétrica são os não iônicos.

2 METODOLOGIA

Neste trabalho foi avaliado um efluente oriundo da indústria de processamento de tintas. Devido à dificuldade de logística foi utilizado um efluente sintético formado pela mistura de água e cal da marca Hidratintas, cuja composição é dada por $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e $\text{Mg}(\text{OH})_2$, sendo o produto classificado conforme norma NBR 11702 da ABNT tipo 4.8.6.. As concentrações de efluentes estabelecidas para este projeto foram 10, 15 e 20 g/L com base em análises de estudos realizados anteriormente no LASSOP.

Seguindo a metodologia descrita por Carvalho (1998), o agente coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ com concentração de 40 g/L e, na tentativa de obter melhores resultados, foi acrescentado o polieletrólito aniônico como auxiliar de coagulação.

As proporções utilizadas de agente coagulante (sulfato de alumínio) e auxiliar de

coagulação (juntamente com a concentração do mesmo) foram determinadas através de testes de jarro ou “*Jar Test*” da marca POLICONTROL, para as diferentes concentrações do efluente.

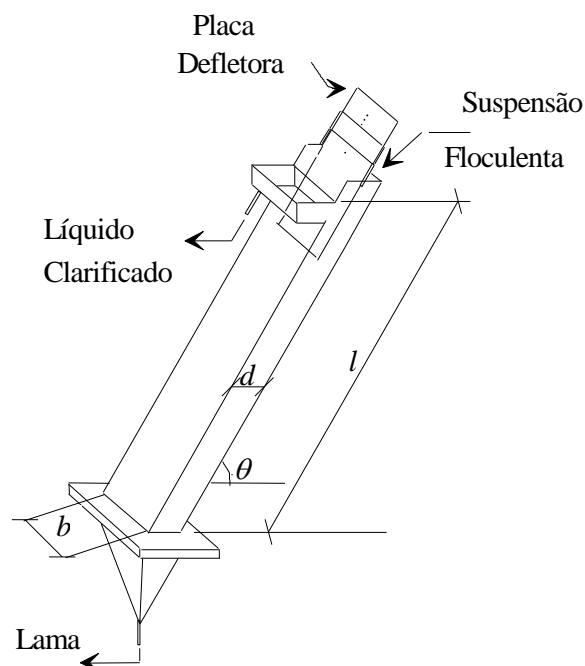
A etapa seguinte foi à realização dos ensaios de sedimentação em batelada em proveta padrão de 2L. Durante os ensaios foi registrada a variação altura (Z) da interface lama-líquido clarificado com o tempo (t).

A última etapa deste projeto tratou-se da análise da eficiência do processo de sedimentação em um sedimentador lamelado construído em acrílico constituído de duas lamelas com um canal de seção transversal retangular com dimensões 5 cm por 10 cm e 100 cm de comprimento, com um ângulo de inclinação de 40° (figura 1). A fim de simular o efluente da indústria de tintas foi utilizado um efluente sintético preparado pela adição de cal em água de modo a obter concentrações de 10 g/L, 15 g/L e 20 g/L. A planta piloto é composta de um tanque com capacidade para 80L, mas no experimento usaram-se 60L, um agitador mecânico Fisatom, modelo 723, uma bomba peristáltica de marca Coler-Parmer Instrument Company, System Model 7553-75 que tinha por função alimentar o sedimentador e um medidor de vazão, que mantinha a vazão de alimentação constante de 800 mL/min.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dos ensaios realizados no *Jar Test* verificou-se que para as análises da concentração da solução de polieletrólito a ser utilizada durante o experimento em batelada a concentração de 250 ppm apresentou maior viabilidade e eficácia do processo, frente ao aumento do tamanho da partícula bem como a velocidade de sedimentação.

Figura 1 - Sedimentador Lamelado



Para a concentração de 10 g/L, a quantidade ótima encontrada da solução de coagulante (sulfato de alumínio) foi de 50 mL, enquanto a quantidade ótima de polieletrólito foi de 15 mL. Sendo assim, a proporção de volume de agente coagulante em relação ao volume do efluente utilizado nos experimentos foi de 1:20, e a de polieletrólito 3:200. Para a concentração de 15 g/L o volume ótimo de coagulante foi de 75 mL e para a concentração de 20 g/L o volume foi de 100 mL. A Tabela 1 apresenta as quantidades encontradas nos testes e as proporções calculadas para serem utilizadas nos experimentos.

Tabela 1: Resultados dos testes de jarro.

C (g/L)	V.C (mL)	V.P. (mL)
10	50	15
15	75	15
20	100	15

Onde:

C - Concentração do efluente;

V.C. -Volume de Coagulante (sulfato de alumínio);

V.P. -Volume de Polieletrólito.

O polieletrólito apresentou a mesma quantidade ótima para as três concentrações avaliadas. Foi observado de forma qualitativa durante os testes que adicionando-se qualquer volume acima de 15 mL, não ocorria alteração significativa no meio, sendo o volume de partículas decantadas praticamente constante.

É importante esclarecer que os ensaios realizados no *Jar test* são em batelada e forneceram apenas um indicativo do quantitativo de coagulante a ser utilizado para cada concentração, bem como as condições de tempo e agitação, conforme procedimento padrão. Na unidade piloto provavelmente outras variáveis influenciarão no processo, sendo necessário fazer alguns ajustes de dosagem.

A densidade da cal hidrotintas varia de 2,3 – 2,8 g/cm³, segundo o relatório de segurança da empresa HIDROTINTAS COMERCIO E INDÚSTRIA Ltda, portanto mais densa que a água. Numa mistura de cal e água, devido à diferença de densidade somada à ação da gravidade, a cal tende a decantar ou sedimentar de forma natural uma vez que se apresenta como elemento mais denso, no entanto, esse processo é demorado sendo pouco eficiente do ponto de vista industrial. Uma forma de acelerar o processo de coagulação é a utilização de agentes coagulantes. Esse resultado foi comprovado utilizando-se sulfato de alumínio o qual apresentou um sobrenadante de aspecto turvo e maior tempo de decantação. O uso do coagulante em conjunto com o polieletrólito resultou em uma decantação rápida, um maior volume de partículas depositadas no fundo do jarro e um meio clarificado mais límpido.

Segundo o Grupo Votorantim (2009) o pH da cal em solução aquosa à temperatura ambiente é aproximadamente 12,4. Foi

verificado nos experimentos que o pH do efluente variava entre 12 e 13. Nos testes de jarro observou-se que houve coagulação da suspensão ainda que a mesma se encontrasse fora da faixa ótima de atuação do agente coagulante, que de acordo com Silva et al, (2009) está entre o pH 5 e 8. Portanto, não foi necessário o ajuste do pH da suspensão com utilização de ácido.

Após as definições de volume de coagulante feito no *Jar Test* foi realizado o teste padrão em batelada na proveta de 2L.

A Tabela 1 apresenta os valores de altura da interface lama-líquido clarificado com a altura para um ensaio de sedimentação em batelada.

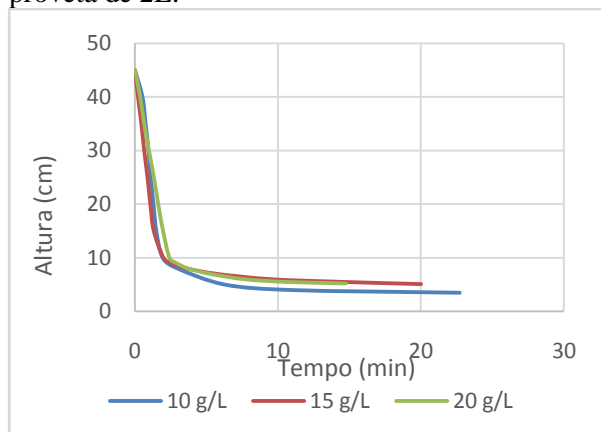
Tabela 1 - Variação da altura da interface com tempo no ensaio de sedimentação em batelada.

Concentração do efluente sintético - 10 g/L		Concentração do efluente sintético - 15 g/L		Concentração do efluente sintético - 20 g/L	
Altura (cm)	Tempo (min)	Altura (cm)	Tempo (min)	Altura (cm)	Tempo (min)
45	0	45	0	45	0,00
40	0,53	40	0,22	40	0,37
35	0,75	35	0,45	35	0,65
30	0,95	30	0,65	30	0,98
25	1,25	25	0,88	25	1,33
20	-	20	1,08	20	1,63
15	1,50	15	1,32	15	1,97
10	1,95	10	2,00	10	2,42
5	6,33	9	2,55	9	2,90
4	10,50	8	3,67	8	3,72
3,5	22,72	7	5,75	7	5,25
-	-	6	9,58	6	7,63
-	-	5,5	14,68	5,5	10,50
-	-	5,1	20,00	5,2	14,75

Fonte: Autor (2013)

A Figura 3 mostra graficamente o comportamento da curva de sedimentação no teste padrão na proveta de 2L.

Figura 3 – Representação gráfica da relação entre a altura da interface e o tempo para cada concentração do efluente na proveta de 2L.



Fonte: Autor (2013)

Para o cálculo da área mínima do sedimentador é comum ser utilizada a metodologia descrita por Kynch (1952), onde, a partir da curva Z por t, são traçadas tangentes no ponto de inflexão da curva para determinar a altura Zi representada pelo ponto onde a tangente toca o eixo da altura. Utilizou-se a Equação 1 para o cálculo da velocidade de sedimentação (v_s) e compararam-se as três concentrações estudadas. Na Equação 1, t representa o instante de tempo na altura Z do ponto de inflexão da curva.

$$v_s = \frac{Z_i - Z}{t} \quad (1)$$

É possível observar através da Tabela 2 que as velocidades de sedimentação são relativamente próximas, no entanto, observa-se que há uma leve tendência de crescimento da velocidade de sedimentação quando aumenta-se a concentração do efluente. Pode-se dizer então que a concentração influencia diretamente na velocidade de sedimentação mas também a velocidade obtida pelo método de Kynch é função das dimensões da proveta utilizada no ensaio de sedimentação em batelada sendo assim a velocidade de

sedimentação pode sofrer alteração quando trata-se de um processo contínuo, é preferível utilizar uma unidade piloto para que sejam obtidos dados mais confiáveis futuramente.

Tabela 2 - Valores obtidos da velocidade de sedimentação para cada concentração do efluente.

Conc. do efluente (g/L)	Zi (cm)	Z (cm)	t (min)	Velocidade de sedimentação (cm/min)
10	17	8	3,00	3,00
15	16,5	10	2,00	3,25
20	18,5	9	2,90	3,27

Fonte: Autor (2013)

De posse desses dados foram feitas as corridas experimentais numa unidade piloto de um sedimentador lamelado para verificar a eficiência do processo num sedimentador lamelado. Foram feitas três corridas experimentais para cada concentração totalizando 9 corridas, conforme a Figura 3.

Figura 4 – Unidade piloto de um sedimentador lamelado.

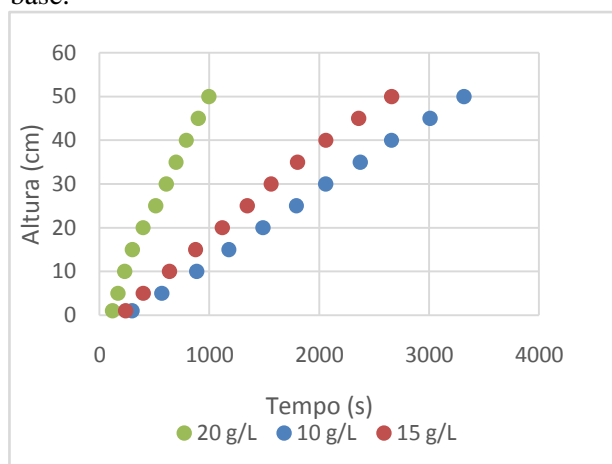


Fonte: Autor (2013)

Foi observado a aderência de flocos na superfície do sedimentador sendo estes arrastados em tempos irregulares causando alterações na concentração da lama. A causa desta aderência deve-se principalmente ao tamanho dos flocos formados e este está intimamente ligado à quantidade de floculante utilizado. Portanto os volumes de polieletrólito utilizado em 60L de efluente

foram 250 mL para a concentração do efluente de 10 g/L, 350 mL para a concentração de 15g/L e 450 mL para a concentração de 20g/L. Para tais volumes os flocos formados tinham tamanhos medianos e as alturas de sedimentação apresentaram valores constantes como mostra a Figura 5.

Figura 5—Altura da interface da lama em função do tempo no sedimentador lamelado sem retirada de base.



Notou-se que durante a sedimentação o tanque permaneceu sob agitação constante de 240 rpm para manter os flocos em suspensão, mas com os passar dos minutos esses flocos eram visivelmente quebrados. Tal fato não influenciou no tempo de sedimentação, mas o líquido clarificado apresentava uma leve turbidez.

Para fechar o balanço de sólidos foram feitas coletas na alimentação, na base e no topo do sedimentador nas alturas de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 cm e para as concentrações do efluente de 10g/L e 15 g/L. As amostras foram pesadas antes e depois de passar pela estufa. Foi calculada a porcentagem de cal em cada amostra. As coletas para todas as corridas foram feitas quando a interface lama-líquido clarificado estavam em equilíbrio, o que indicando um possível estado estacionário, conforme mostrado nas Figuras 6 e 7.

Figura 6- Corrida experimental do efluente de tinta para a concentração de 10 g/L.

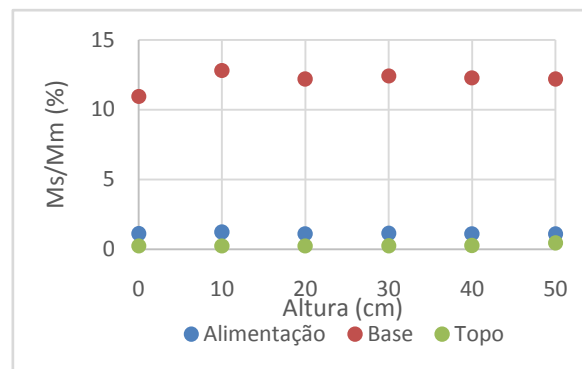
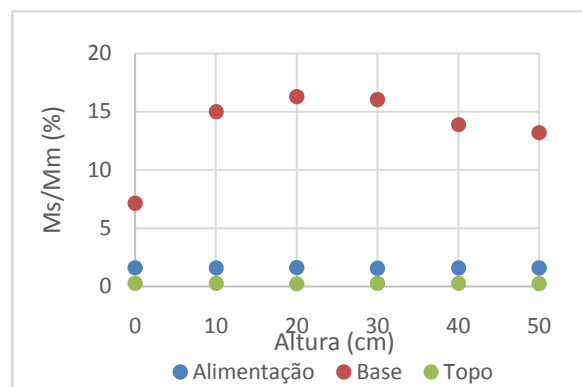


Figura 7- Corrida experimental do efluente de tinta para a concentração de 15g/L.



Onde:

Ms = massa seca (g)

Mm = massa úmida (g)

Avaliando-se as Figuras 5 e 6 observou-se que a quantidade de sólidos na base aumenta conforme aumentou-se a concentração do efluente no tanque de sedimentação, sendo a porcentagem de sólidos no topo inferior a 1%, o que significa que houve uma diminuição da quantidade de sólidos em suspensão se comparado com a porcentagem de sólidos na alimentação.

4 CONCLUSÃO

O processo de coagulação utilizando um agente coagulante como o sulfato de alumínio em conjunto com o polieletrólito aniônico apresentou resultados satisfatórios já que quanto melhor a coagulação mais positiva é a sedimentação.

Os resultados apresentados nos ensaios em batelada na unidade piloto mostraram a viabilidade do processo de sedimentação num sedimentador lamelado com base nas análises das corridas experimentais em diferentes concentrações.

Com estes dados será possível desenvolver um modelo matemático que possibilite o cálculo do dimensionamento de unidades de sedimentação em bateladas. Estudos nesta linha serão continuados nos grupos de pesquisa do LASSOP (Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos).

5 REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETO, J. M. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água**. Vol 2. 2ª ed. rev. São Paulo: CETESB, 1976.

CARVALHO, S.H.V. **Projeto e análise do desempenho de um sedimentador lamelado piloto para suspensões floculentas**. 1998. 78p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - PEQ/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.

CONAMA, 2011. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

DI BERNARDO, L; DANTAS, A. B.; VOLTAN, P. E. N. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de**

Água, 1ª ed. Editora: LDibe, São Carlos. 2011.

MANSILLA, H. D.; LIZAMA, C.; GUTARRA, A.; RODRIGUEZ, J.; BLESSA, M. A. **Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogênea**. Argentina: Cyted, 2001.

NUNES, J. F. **Estudo da Sedimentação Gravitacional de Suspensões Floculentas**. 2008. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 102p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Faculdade de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Alagoas, UFAL, instituição responsável pela minha formação. Ao CNPq pelo financeiro e incentivo para o andamento do projeto e ao Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos, LASSOP, pelo acompanhamento e aprendizado adquirido ao longo do desenvolvimento do projeto de pesquisa.