



ENSAIO DE DOSAGEM ÓTIMA DE AGENTE FLOCULANTE PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE ORIUNDO DE GALVANOPLASTIA

Jonas Fabris¹, Lucas Melo Verli Gonçalves², Maria Gabriela Souza da Silva³, Ricardo Sanocky⁴, Ana Carolina de Moraes⁵

Resumo: A necessidade de manter os recursos naturais, aliada à conscientização e normatização de padrões de descarte de resíduos industriais, tem motivado diferentes experimentos e estudos sobre processos de tratamento de efluentes. O objetivo deste trabalho é aplicar diferentes concentrações do agente floculante, visando apresentar a concentração de floculante mais eficaz no tratamento de efluente. O trabalho foi conduzido no Centro Universitário Tupy, nos laboratórios do curso de Bacharelado em Engenharia Química, em Joinville – SC. Os resultados mostraram que entre as concentrações estudadas do agente floculante, a mais eficaz para tratar o efluente foi a concentração de 10 mg/L de cloreto férrico.

Palavras-chave: Tratamento de efluente. Galvanoplastia. Zinco. Corante têxtil. Agente floculante.

1 INTRODUÇÃO

As preocupações com a proteção ambiental e a melhoria da qualidade de vida têm promovido o desenvolvimento de métodos de tratamento de efluentes oriundos dos mais diversos tipos de aplicações industriais, buscando-se melhores custos e benefícios acerca desse processo. Isso resulta, também, em crescentes exigências dos órgãos governamentais. Basicamente, o tratamento – seja qual for – deverá gerar, ao fim, um efluente que atenda aos padrões determinados pela legislação em vigor. Esses padrões visam manter a qualidade da água e o ambiente mais saudável possível por questões de sustentabilidade (ABTS, 1995, p. 17.1).

O passo primordial para se tratar efluentes é caracterizar a solução, ou seja, conhecer principalmente sua composição química (ABTS, 1995, p. 17.1). O pH das águas de consumo está, geralmente, na faixa de 6 a 9 (RICHTER, 2009, p. 30). A temperatura para emissão do efluente tem de ser menor que 40° C e a concentração máxima de zinco de 5 mg/L. A referida caracterização deve apresentar informações como os elementos presentes, suas respectivas concentrações e forma química. Assim, pode-se determinar qual o procedimento mais eficaz a ser adotado (ABTS, 1995, p. 17.1).

Em relação à coloração final, deve-se levar em consideração o descrito no Art. 5° da resolução CONAMA nº 430 – 13/05/2011: Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final do seu enquadramento.

Para o tratamento de um efluente, as principais operações são coagulação/floculação, decantação, filtração e desinfecção, podendo ter outras etapas ou não ter uma das apresentadas. A ordem das etapas e os reagentes utilizados podem ser diferentes, de acordo com as características iniciais do efluente, como o volume e a finalidade do tratamento. (MAIA, 2003, p. 49) Em geral, a

¹ Sociedade Educacional de Santa Catarina – UniSociesc. E-mail: jonas_fabris@yahoo.com.br

² Sociedade Educacional de Santa Catarina – UniSociesc. E-mail: luucasverli@live.fr

³ Sociedade Educacional de Santa Catarina – UniSociesc. E-mail: m_gabrielasouza@hotmail.com

⁴ Sociedade Educacional de Santa Catarina – UniSociesc. E-mail: sanockyanonii@hotmail.com

⁵ Sociedade Educacional de Santa Catarina – UniSociesc. E-mail: ana.moraes@sociesc.org.br

complexidade do tratamento se torna maior de acordo com a quantidade de poluentes que se apresentam no mesmo. Isso porque, quando são precipitados como hidróxidos, os metais apresentam diferentes comportamentos (ABTS, 1995, p. 17.5).

A decantação consiste na deposição de material sólido no fundo do recipiente que contém uma mistura. No caso, trata-se de sujeira/polvente presente no efluente.

Coagulação é a adição de um agente coagulante, como sulfato de alumínio ou cloreto férrico, seguido de violenta agitação do efluente para desestabilizar eletricamente as partículas de sujeira coloidais, facilitando sua agregação (SABESP, 2013, p. 1). Nos coloides, o tamanho das partículas são maiores que as de solução e menores que as misturas heterogêneas, formando dispersões coloidais, que têm a propriedade de espalharem a luz (efeito Tyndall). O tamanho das partículas coloidais influencia na velocidade de sedimentação, impossibilitando-lhes a remoção por decantação direta. Por esse motivo, há necessidade de coagulação dos efluentes com essas características. Quando usado sulfato de alumínio ou cloreto férrico para coagulação, em pH entre 5 e 9, os cátions desses compostos geram como produtos hidróxidos gelatinosos pouco solúveis – $\text{Al}(\text{OH})_3$ e $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (MAIA, 2003, p. 50).

O cloreto férrico é eficaz quando usado em faixa de pH de 5,0 a 11,0. Porém, se adicionado em excesso, parte não participa da reação de coagulação/floculação. A presença de ferro na solução pode gerar cor amarelada e turva à água, aumentando os parâmetros de cor e turbidez, dependendo da concentração (VAZ, 2009, p. 25).

Floculação é o processo em que as impurezas se aglutinam formando flocos suficientemente grandes para serem removidos com facilidade (SABESP, 2013, p. 1). A agitação nesse processo é lenta, proporcionando condições para as partículas se aglutinarem (MAIA, 2003, p. 50). A dosagem correta de agentes coagulante e floculante são de grande importância para a etapa de clarificação do processo de tratamento de efluente (NOVAIS, 2012, p. 30). Por meio dos testes de jarra (*jar-test*), pode-se determinar, de acordo com as condições da água bruta, a dosagem ideal de coagulante e alcalinizante (MAIA, 2003, p. 50). Esse método também é chamado ensaio de floculação e tem a característica de poder-se testar com diferentes amostras com concentrações diferentes, verificando-se qual a mais eficaz (NOVAIS, 2012, p. 30). Diz-se que a etapa é delicada, pois há diferentes fatores que influenciam na eficácia do tratamento da água, como a cor e turbidez da água, o pH, a temperatura, viscosidade, grau de agitação, tipo e quantidade de coagulante usado, concentração do coagulante e das substâncias presentes, tempo de mistura e floculação (SILVA, 1999, p. 32).

Vale ressaltar que, em algumas literaturas, encontra-se a denominação de floculante para cloreto férrico e sulfato de alumínio. Assim, essa é a denominação utilizada ao longo da descrição experimental.

Na etapa de filtração, o efluente é passado por camadas sucessivas filtrantes, nas quais ficam retidos os flocos. O conjunto de etapas coagulação, floculação, decantação e filtração recebe o nome de clarificação, após a qual a água fica livre das impurezas, tornando-se límpida. No tratamento de água destinada para consumo, após a clarificação é feita a desinfecção. Para descarte, essa etapa não é exigida (SABESP, 2013, p. 1). A etapa de clarificação é delicada e muito importante para o tratamento da água, pois, dependendo da finalidade, se for falha, pode comprometer as etapas seguintes (NOVAIS, 2012, p. 27).

No filtrado fica lodo residual de tratamento que, normalmente, são descartados em aterros sanitários ou industriais, com alta concentração de poluentes, o que agrava problemas ambientais. Entretanto, dependendo das suas características, o lodo pode se tornar um excelente fertilizante orgânico, ampliando produtividade nas lavouras, reduzindo custos com fertilizantes e reduzindo impactos ambientais causados pelo descarte do lodo (NOVAIS, 2012, p. 24). Essa característica de lodo não se aplica ao efluente deste trabalho, mas sim a efluentes sanitários, por exemplo.

Para o caso do efluente tratado neste trabalho (efluente que simula o de indústria de galvanoplastia), os metais geralmente aparecem na forma de cátion. Os ânions do tipo cloreto e sulfato não são considerados poluentes, ao contrário de outros casos, como os cianetos, cromatos, fluoretos, sulfocianetos, fosfatos, devem ser eliminados antes do efluente ser lançado ao corpo

receptor. São conhecidas algumas formas de se eliminarem as substâncias poluentes e entre elas destacam-se a eletrólise, a diálise, a microfiltração e a precipitação. Dentre essas, a técnica mais prática e conveniente para as condições do referido efluente se refere à transformação das substâncias poluentes em compostos insolúveis e separá-los por decantação ou filtração (ABTS, 1995, p. 17.2-17.3).

Para separar os cátions metálicos dos efluentes, a forma mais simples é reagí-los de forma que se façam presentes em hidróxidos, visto que a maior parte dos metais se separa como compostos iônicos insolúveis após tratamento com substâncias alcalinas como soda cáustica. A reação de precipitação de cátion de zinco pela adição de produto alcalino é dada na equação 1 (ABTS, 1995, p. 17.3).



Em excesso de substância alcalina, alguns hidróxidos de metais podem se dissolver total ou parcialmente, como o hidróxido de zinco ou alumínio, formando complexos solúveis. Portanto, a adição de alcalinizante deve ser controlada, pelo pH do meio, e planejada previamente (ABTS, 1995, p. 17.3). Assim, o zinco precipita em pH de 8 a 9, porém com pH de 10 ou mais, se redissolve como zinco complexo. A Tabela 1 evidencia o comportamento de alguns dos metais em alguns valores de pH (ABTS, 1995, p. 17.5).

Tabela 1: Concentração do metal em solução após precipitação

pH	Ferro mg/L	Níquel mg/L	Cromo mg/L	Zinco mg/L	Cádmio mg/L	Cobre mg/L
6,5	0,8	19,2	17,8	18,5	19,2	11,0
7,0	0,4	18,9	13,7	17,8	18,4	5,8
8,0	0	10,8	7,1	9,1	15,2	2,4
8,5	0	2,3	5,0	1,6	4,8	1,7
9,0	0	0,6	3,4	1,5	0,9	1,2
10,0	0	0	0,3	8,4	0	0,4

Fonte: ABTS, 1995, 17.5

Para o tratamento de efluentes, os principais produtos utilizados são: (NOVAIS, 2012, p. 27)

- Ajustadores de pH: hidróxido de sódio, ácido clorídrico, ácido sulfúrico;
- Coagulantes: sulfato de alumínio, cloreto férrico, aluminato de sódio;
- Remoção de cor e sabor: carvão ativado, permanganato de potássio;

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este artigo é o resultado da disciplina de Projeto Integrador I na qual, pela metodologia Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL – *Problem Based Learning*), algumas etapas foram realizadas. Analisaram-se os conhecimentos pré-existent da equipe, formularam-se hipóteses, planejaram-se as questões de aprendizagem e foram definidas as etapas do projeto.

O objetivo geral do trabalho foi tratar um efluente preparado em laboratório, conforme orientações passadas, simulando efluente de indústria de galvanoplastia com adição de coloração artificial. Para tanto, era requerido buscar legislação que determinasse as características do efluente para descarte, além de realizar análises por espectroscopia de absorção atômica.

Como hipóteses, acreditava-se que seria necessária a elevação do pH para 7,5 a 8,5 com solução de cal (carbonato de cálcio), visto que o pH inicial do efluente foi 1. Esse conhecimento era pré-existente da equipe. O uso de cal foi previsto por ser teoricamente fácil de precipitar metais.

O trabalho foi conduzido nos laboratórios do curso de Bacharelado em Engenharia Química, do Centro Universitário Tupy, Sociedade Educacional de Santa Catarina, em Joinville – SC.

O experimento foi dividido em algumas etapas. Primeiramente, preparação do efluente, testes de tratamento, envolvendo etapas de elevação de pH, coagulação, filtração, utilizando diferentes concentrações de agente floculante; análise do efluente antes e depois das etapas de tratamento.

Utilizou-se efluente elaborado pela equipe, com concentração de 50 mg/L de íon zinco, 50 mg/L de corante têxtil azul, e pH $1,00 \pm 0,05$, conforme orientações passadas na descrição do problema inicialmente proposto.

Foram preparados 4 litros de amostra, utilizando-se cloreto de zinco para liberação de íon zinco, corante têxtil de cor azul e ácido clorídrico para reduzir o pH, totalizando-se aproximadamente 45 mL de HCl 1M (solução de ácido clorídrico 1 molar). O pH foi verificado utilizando-se o pHmetro, como apresentado na Figura 1.

Figura 1: Foto da montagem de pHmetro durante processo de preparação do efluente



Fonte: Dos Autores, 2013

Com o efluente preparado, iniciou-se o processo de tratamento. A elevação do pH foi feita com o carbonato de cálcio e, também, hidróxido de sódio. Foram utilizados para a medição do pH tanto a fita quanto o pHmetro, que apresenta os valores mais exatos. A correção foi feita utilizando agitação rápida e de maneira controlada.

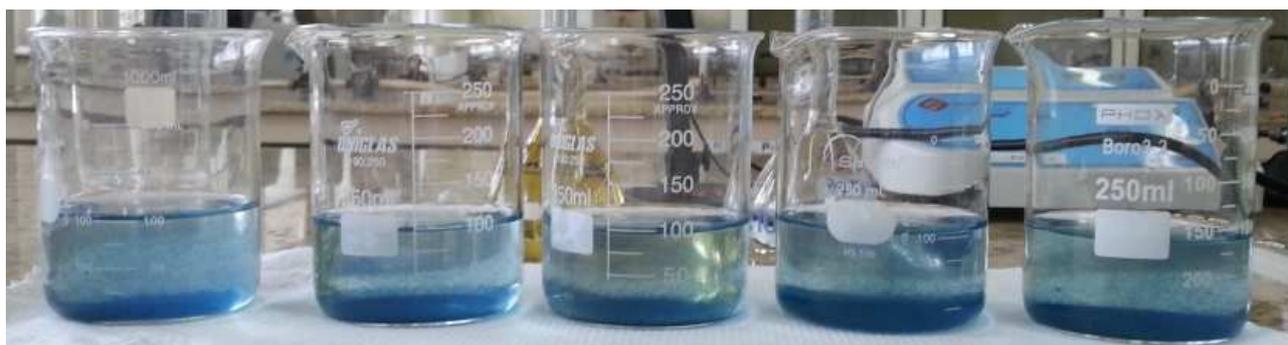
A equipe caracterizou nove amostras, que foram separadas em frascos. Na Tabela 2, indica-se o processo a que cada solução foi submetida. Pode-se observar como foi feita a correção do pH, o pH final (visto que todas estavam com pH inicial igual a 1), se foi adicionado ou não e a quantidade de agente floculante, coloração final e observações gerais do processo feito.

Tabela 2: Características de cada amostra e agente floculante utilizado

Amostra	Correção pH	pH Inicial	Agente floculante	Concentração do agente floculante (mg/L)	Observações
Amostra 01	---	1,0	Nenhum	---	Efluente Bruto
Amostra 02	NaOH 1M	8,8	PAC	16	pH chegou a 12
Amostra 03	CaCO ₃ 30%	8,9	FeCl ₃	16	+ 4mL NaOH 1M
Amostra 04	NaOH 1M	11,61	Nenhum	---	Solução final rosada
Amostra 05	NaOH 5M	8,72	Nenhum	---	
Amostra 06	NaOH 5M	8,72	FeCl ₃	10	pH chegou a ≈ 10
Amostra 07	NaOH 5M	8,72	FeCl ₃	13	pH chegou a ≈ 10
Amostra 08	NaOH 5M	8,72	FeCl ₃	16	pH chegou a ≈ 10
Amostra 09	NaOH 5M	8,72	FeCl ₃	20	pH chegou a ≈ 10

Fonte: Dos autores, 2013

Após a correção do pH de cada solução, foi adicionado ou não o agente floculante, visto que, em algumas amostras, apenas com a adição do alcalinizante ocorreu a precipitação do corante têxtil. Foi utilizado cloreto férrico ou poli cloreto de alumínio (PAC). Para adicioná-los, foi utilizada agitação média. Então as amostras 02, 03 e 04 foram deixadas em processo de decantação. Já as amostras 05, 06, 07, 08 e 09 foram filtradas com papel filtro faixa preta, após decantação apresentada na Figura 2.

Figura 2: Amostras 5 a 9, da esquerda para a direita, com material decantado, antes da filtração

Fonte: Dos autores, 2013

É importante ressaltar que a amostra 1 foi o efluente bruto, as amostras 02 a 04 foram apenas pré-testes envolvendo diferentes alcalinizantes e floculantes, optando-se, após, por fazer testes apenas com NaOH, por gerar menor quantidade de lodo após filtração. Os testes com relação ao problema inicialmente proposto – qual a concentração mais eficaz de agente floculante, na faixa de 10 a 20 mg/L – foram realizados na sequência de amostras 06 a 09, sendo feita a amostra 05 para comparação.

Então, foram separados, aproximadamente, 20mL de cada amostra, diluídas e acidificadas com o pH entre 1 e 2 para a análise por espectrometria de absorção atômica. O procedimento foi realizado em duplicata para assegurar maior precisão nos resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta amostras do efluente após as diferentes etapas realizadas ao longo deste trabalho.

Figura 3: Foto de amostras do efluente. Da esquerda para a direita, amostra: 1) efluente bruto, com pH 1,0; 2) após elevação de pH para 8,8 com hidróxido de sódio; 4) pH final 11,61; 5) amostra sem floculante; 6) 10 mg/L de agente floculante; 7) 13 mg/L de agente floculante; 8) 16 mg/L de agente floculante; 9) 20 mg/L de agente floculante; 3) amostra com pH elevado através de carbonato de cálcio a 30%



Fonte: Dos autores, 2013

Após a análise por espectrometria de absorção atômica, chegou-se aos seguintes resultados, observados na Tabela 3:

Tabela 3: Resultados finais das amostras

Amostra	Correção pH	pH Final	Coloração Final	Agente Floculante	Concentração Final de Zinco
Amostra 01	---	1,0	Azul	---	50 mg/L
Amostra 02	NaOH 1M	8,8	Azul	16 mg/L	4,9 mg/L
Amostra 03	CaCO ₃ 30%	8,9	Incolor	16 mg/L	1,05 mg/L
Amostra 04	NaOH 1M	11,61	Incolor	---	1,21 mg/L
Amostra 05	NaOH 5M	8,72	Incolor	---	1,36 mg/L
Amostra 06	NaOH 5M	8,40	Incolor	10 mg/L	1,56 mg/L
Amostra 07	NaOH 5M	8,25	Incolor	13 mg/L	2,5 mg/L
Amostra 08	NaOH 5M	8,00	Incolor	16 mg/L	3,4 mg/L
Amostra 09	NaOH 5M	7,92	Incolor	20 mg/L	3,1 mg/L

Fonte: Dos autores, 2013

Pode-se observar, na Tabela 3, a comparação dos resultados finais em relação à coloração final e concentração final de zinco na solução.

3.1 Relativo ao pH final

Segundo a resolução CONAMA nº 430 – 13/05/2011 e conforme já referenciado no trabalho, o pH final para o descarte no corpo receptor deve ser entre 5 e 9. Todas as amostras tiveram o pH final entre essa faixa, permitindo o descarte sem prejuízo ao meio ambiente. Conforme citado na introdução, o pH para descarte deve estar na faixa de 6 a 9.

3.2 Relativo à coloração final

Conforme a Tabela 3, a única amostra em que não houve remoção de cor ou remoção quase total de cor foi a amostra 02, que teve elevação do pH com hidróxido de sódio, pH final igual a 8,8 e não teve adição de agente floculante.

Já as amostras de 03 a 09, todas tiveram remoção total ou quase total da cor inicial. Dentro do padrão de cor, somente essas poderiam ser descartadas no corpo receptor, visto que condizem com a resolução CONAMA nº 430 – 13/05/2011, sendo que não conferem coloração diferente do corpo receptor.

Vale ressaltar que a amostra 02, à qual não se adicionou agente floculante, o pH final foi igual a 11,61. Mesmo apresentando esse teor, foi analisada, a título de curiosidade, pois a equipe percebeu sua coloração rosada quando o pH fica muito alcalino. Quando a amostra foi acidificada para a análise de espectrometria de absorção atômica, a coloração rosa se tornou totalmente incolor.

3.3 Relativo à concentração de zinco

Conforme a resolução CONAMA nº 430 – 13/05/2011, a concentração total de zinco em mg/L que pode ser descartado é de, no máximo, 5,0 mg/L. Segundo a Tabela 2, feita pela equipe, todas as amostras poderiam ser descartadas no corpo receptor, pois todas possuem concentração final de zinco após o tratamento inferior a 5,0 mg/L.

Deve-se observar a concentração de zinco da amostra 02 (sem adição de agente floculante), que obteve resultado final de zinco total igual a 4,9 mg/L, um valor muito próximo do permitido e que poderia ser recusado dependendo da precisão das análises feitas.

A que teve a maior remoção de zinco foi a amostra 03, que teve a elevação do pH com carbonato de cálcio a 30% e adição de 16 mg/L de agente floculante, com zinco total igual a 1,05 mg/L. Dentre as amostras que tiveram elevação do pH com hidróxido de sódio, a que obteve melhor resultado foi a amostra 06, com adição de apenas 10 mg/L de agente floculante, com zinco total igual a 1,56 mg/L.

As amostras 04 e 05, que não tiveram acréscimo de agente floculante, também tiveram uma ótima remoção de zinco, com zinco total igual a 1,21 mg/L e 1,36 mg/l, respectivamente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, quase todas as amostras poderiam ser descartadas no corpo receptor sem infringir as normas impostas pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente. As que tiveram melhor desempenho, avaliadas pela coloração final e total de zinco final, foram as amostras 03 e 06.

A equipe utilizou muito carbonato de cálcio para a elevação do pH da amostra 03, gerando muito lodo, o que necessitaria tratamento posterior. Desse modo a equipe decidiu utilizar somente o hidróxido de sódio, pela facilidade de uso e pela velocidade na qual o processo se deu, fazendo com

que as amostras 05 a 09 tivessem o pH elevados com a base. Isso fez com que somente as amostras 05 a 09 fossem avaliadas para o resultado final.

Com tudo isso, a amostra que teve a melhor remoção de zinco com a adição de agente floculante foi a amostra 06, que recebeu menor concentração de agente floculante, apenas 10 mg/L. Esse resultado também é positivo com relação à redução de custos, visto que a elevação de pH com hidróxido de sódio gera menos lodo residual e quanto menor concentração de agente floculante/coagulante, menor o custo gerado pelo uso desse produto.

REFERÊNCIAS

ABTS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE. **Curso de galvanoplastia**. São Paulo: [s.n.], 9. ed., 1995.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 430**. 13 de maio de 2011. Complementação da Resolução nº 357/2005.

MAIA, Alessandra de Souza; OLIVEIRA, Wanda de; OSÓRIO, Victória Klara Lakatos. Da água turva à água clara: o papel do coagulante. **Revista Química nova na escola**, [S.l., s.d.], n.18, p.49-51, nov. 2003.

NOVAIS, Elisângela da Silva. **Utilização de polímeros catiônicos e aniônicos no tratamento de efluentes**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Tecnologia em Polímeros – Produção em Plásticos) – Tecnologia em Polímeros, Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba, 2012.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009.

SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Tratamento de água. **Sabesp**, [S.l., s.d.]. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/Tratamento_Agua_Impressao.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2013.

SILVA, Telma Salesa Santana da. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Programa de Pós-Graduação de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999.

VAZ, Luiz Gustavo de Lima. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.

TEST OF STRENGTH OPTIMUM FLOCCULANT AGENT FOR TREATMENT OF WASTEWATER FROM ARISING GALVANOPLASTIA

Abstract: *The need to preserve natural resources, coupled with the awareness and the standardizations of patterns about industrial waste disposal, has motivated different experiments and studies on wastewater treatment processes. The aim of this study was to apply different concentrations of flocculating agent, in order to ascertain which flocculant concentration is the most effective in wastewater treatment. The work was conducted at the University Center Tupy, in the course of Bachelor of Chemical Engineering laboratories in Joinville - SC. The results showed that among the studied flocculating agent concentrations, the most effective concentration for treating the effluent was 10 mg/L of ferric chloride.*

Key words: *Wastewater treatment. Electroplating. Zinc. Textile dye. Flocculating agent.*