



TRATAMENTO DE EFLUENTE DA COLAGEM DE LÂMINAS DE MADEIRA PARA FABRICAÇÃO DE PORTAS

Marcelo Hemkemeier – marceloh@upf.br

Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura.
BR 285, km 171. Bairro São José. CEP 99001-970. Passo Fundo/RS

Débora Eliza Basso – e-mail - deboraelizabasso@hotmail.com

Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura.

Fabrcio Paris – e-mail – fabricioparis@gmail.com

Universidade do Alto Vale do Rio do Peixe – Uniarp, Departamento de Engenharia

Charles Leonardo Israel – e-mail – israel@upf.br

Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura.

Mayne Francieli Gonçalves – e-mail – mayne@uniarp.edu.br

Universidade do Alto Vale do Rio do Peixe – Uniarp, Departamento de Engenharia

Resumo: *A fabricação de portas de madeira gera em sua etapa de colagem das chapas um efluente oriundo da lavagem dos equipamentos utilizados nesse processo, o qual possui alta carga orgânica podendo ser possível causador de impactos ambientais negativos ao meio ambiente. O uso de processos físico-químicos é uma alternativa para o tratamento destes efluentes gerados. O presente trabalho apresenta a avaliação da eficiência do processo físico-químico para o tratamento deste efluente utilizando diferentes coagulantes (sais Inorgânicos e a base de taninos). Além disso, realizou-se a seleção do melhor coagulante/floculante, verificando qual dos reagentes apresenta melhor eficiência para o tratamento deste tipo de efluente. O experimento testou três coagulantes, em quatro concentrações diferentes, os quais tiveram como variáveis de resposta, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Fósforo (P), Sólidos Suspensos Totais (SST) e pH. Todos os coagulantes, exceto o cloreto férrico, foram eficientes para a clarificação do efluente. A carga orgânica remanescente ainda permaneceu alta, indicando a necessidade de tratamento complementar.*

Palavras-chave: *Tratamento físico-químico, Efluente industrial, Portas de madeira.*



WASTEWATER TREATMENT OF WOOD BLADES COLLAGE FOR DOORS MANUFACTURE

Abstract: *The manufacture of wooden doors generates in your plates of bonding step one derived effluent from the washing equipment used in this process, which has high organic load may be possible to cause negative environmental impacts to the environment. The use of physical and chemical processes is an alternative for the treatment of these effluents. This paper presents the evaluation of the efficiency of the physical-chemical process for the treatment of this effluent using different coagulants (Inorganic salts and tannin base). In addition, there was the selection of the best coagulant / flocculant, checking which of the reagents provides better efficiency for the treatment of this type of effluent. The experiment tested three coagulants in four different concentrations, which had as response variables, Chemical Oxygen Demand (COD), Phosphorus (P) Total Suspended Solids (TSS) and pH. All coagulants except ferric chloride were efficient for the clarification of the effluent. The remaining organic load still remained high, indicating the need for further treatment.*

Keywords: *Physical chemical treatment, Industrial wastewater, Wooden doors.*

1. INTRODUÇÃO

A indústria madeireira além de gerar um efluente oriundo de seu processo industrial, como por exemplo, no cozimento de toras, também gera um efluente proveniente do banho de conservação de madeira serrada e no processo de limpeza dos equipamentos, principalmente os que fazem pintura e colagem das laminas, sua composição contém substâncias que requerem cuidados, pois são altamente tóxicas e não biodegradáveis. A água utilizada no banho de conservação contém cerca de 5% de fungicidas do tipo TBP 90 (usado para o tratamento preventivo contra o ataque de fungos em madeiras), sendo a substância predominante o tribromofenol e cerca de 2% de Lindano 200 (preservante de madeira), cujo composto principal é o pentaclorofenol.

O efluente gerado neste tipo de indústria não pode ser descartado na rede pública, em corpos receptores e muito menos reutilizado sem tratamento prévio. Em função da pouca eficiência e/ou alto custo dos processos convencionais biológicos e físico-químicos no tratamento deste tipo de efluente, novas tecnologias têm sido testadas nas últimas décadas.

O processo de fabricação das portas tem início no tratamento das toras de madeira e segue por processos básicos de corte, moldagem, lixamento, entre outras etapas. Contudo, estes processos acarretam na geração de resíduos sólidos os quais são dispostos conforme exigido na legislação para tal.

Por outro lado, a geração do efluente, o qual esta estação de tratamento visa tratar, é gerado em dois momentos durante o processo de fabricação. Primeiramente uma pequena quantidade de efluente é gerada nos processos de tratamento da tora. Processo no qual visa à proteção da madeira contra agentes deterioradores da mesma (fungos e insetos), sendo que neste processo são empregados diferentes produtos químicos. Além disso, a geração da maior parte do efluente deve-se a limpeza dos equipamentos utilizados para os processos de confecção das portas.



2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de estudo

A indústria estudada localiza-se na região Central do Estado de Santa Catarina e produz laminados e portas para a construção civil.

A empresa em estudo foi visitada e o processo produtivo, assim como os resíduos gerados, foram identificados *in loco*.

2.2. Coleta e caracterização do efluente

O efluente utilizado em todos os experimentos foi da fabricação de portas, mais precisamente da lavagem dos equipamentos do processo de colagem. A coleta foi realizada no mês de Setembro/2014, em período de operação da fábrica, seguindo instruções de preservação e amostragem, conforme a NBR 9898/87, formando uma amostra composta de 5 litros. A amostra foi acondicionada em recipientes de polietileno e em condições que não alterem suas características, sendo posteriormente encaminhada ao laboratório de Ensino do Curso de Engenharia Ambiental, da UPF e LACE (Laboratório de Controle de Efluentes), para a realização das análises.

2.3. Tratamento físico-químico

Foram utilizados dois coagulantes inorgânicos (Cloreto Férrico e Policloreto de Alumínio – PAC) e um coagulante orgânico (a base de taninos) para o tratamento físico-químico. Segundo Cavalcanti (2012), o policloreto de alumínio é completamente solúvel em água, são amplamente utilizados em todo o mundo como agente coagulante e a coagulação é geralmente efetiva na faixa de pH entre 6 e 7. O cloreto férrico é aplicado na floculação de despejos industriais, com o objetivo de remover materiais coloidais e em suspensão e a coagulação é geralmente efetiva na faixa de pH entre 5 e 11. Na Tabela 1 são apresentadas as principais características dos coagulantes estudados.

Tabela 1: Características dos coagulante utilizados nos ensaios do tratamento físico-químico de efluente de fabricação de portas.

| Reagente | Concentração do produto | Concentração da solução |
|--|---|--|
| (A) Cloreto Férrico [FeCl ₃] | 195 g.L ⁻¹ (Fe ³⁺) | 19,5 g.L ⁻¹ (Fe ³⁺) |
| (B) Policloreto de Alumínio- PAC | 23,25% (Al ₂ O ₃) | 18% (Al ₂ O ₃) |
| (C) Taninos | - | 1000mg/mL |

Fonte: Kemira (2013); BWE (2013)

O tratamento físico-químico foi realizado em mini Jar Test, que consistiu de bécker de 250mL (Reator), agitador magnético (controle do gradiente de velocidade) e bureta para adição dos coagulantes/floculantes. O agitador magnético foi ajustado com uma velocidade inicial de 120 rpm em um tempo de 7 a 13 minutos. Nesta etapa foram adicionados os coagulantes (3mL, 6mL, 12mL e 15mL). Após este tempo, uma segunda velocidade de 20 rpm para um tempo de 3 a 6 minutos, foi utilizada a fim de ocorrer o processo de floculação e uma solução a 0,5% de polímero neutro foi adicionada para melhorar o processo de floculação. Durante este processo, o pH foi monitorado e ajustado para 7,0 com solução de NaOH, enquanto que o potencial Zeta foi monitorado e ajustado para



zero com as diferentes concentrações dos coagulantes. O pH e o potencial zeta foram monitorados com potenciômetro de bancada.

Ao final do processo de floculação, as amostras permaneceram em descanso, com o intuito de ocorrer a sedimentação do material coloidal e, posteriormente, avaliar a remoção dos parâmetros pré-estabelecidos. A avaliação da formação dos flocos foi qualitativa através da observação visual dos mini Jar Test.

Após a obtenção dos resultados foi realizada uma avaliação estatística através de teste de Tukey, disponível no software Statistica, com o objetivo de analisar a variância e comparação múltipla entre médias de experimentos para o tratamento físico-químico realizado, para assim selecionar o experimento com melhor eficiência.

2.4. Determinações analíticas

As amostras de efluente tratado foram analisadas quanto aos parâmetros de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Fósforo (P), pH e Sólidos Suspensos Totais (SST). Estas análises foram realizadas conforme metodologias descritas por APHA (2005). A análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), foi realizada, apenas para o efluente bruto, pelo Laboratório de Controle de Efluentes (LACE) da Universidade de Passo Fundo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características do efluente bruto

Os resultados das análises de caracterização do efluente bruto da produção de portas de madeira são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Características do efluente bruto da fabricação de portas de madeira.

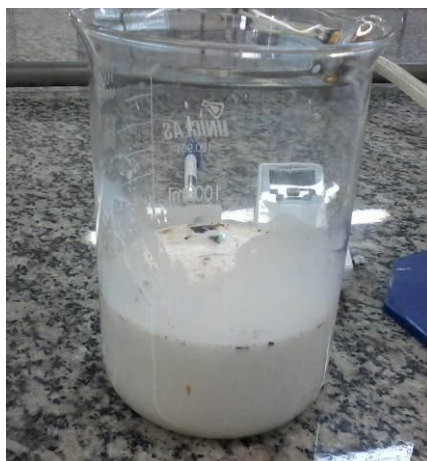
| Parâmetro | Resultado |
|---------------------------------|-----------|
| DQO (mg/l) | 22902 |
| DBO (mg/l) | 590 |
| Relação DBO/DQO | 0,026 |
| Fósforo total (mg/l) | 0,99 |
| Sólidos Suspensos Totais (mg/l) | 59,135 |
| pH | 3,6 |

O efluente apresentou alta carga orgânica, bem como elevados índices de sólidos totais. Na formulação das colas utilizadas no processo de colagem das portas tem amido e diferentes aditivos orgânicos, justificando tais resultados. Segundo Beteta et al (2009), o efluente de produção de portas possui como principal característica alta carga orgânica.

A Relação DBO/DQO ficou próxima de zero, indicando um efluente com características tóxicas e com dificuldade de ser tratado por processos biológicos.

A Figura 1 apresenta as características visuais do efluente bruto utilizado nos experimentos. A coloração esbranquiçada está associada a presença de cola proveniente do processo de limpeza das máquinas que aplicam este componente. Este é o principal efluente gerado no processo de fabricação de portas de madeira.

Figura 1: Característica visual do efluente bruto da produção de portas de madeira.



3.2. Testes preliminares

A Figura 2 apresenta a comparação visual entre os diferentes coagulantes e concentrações testados. Após obtidos os resultados de DQO, verificou-se que para o coagulante cloreto férrico, em todas as concentrações testadas, a remoção de matéria orgânica foi pouco significativa (<13%), sendo este descartado das demais análises posteriores.

A análise visual demonstrou claramente a diferença de eficiência e formação dos flocos para os diferentes coagulantes. Para o PAC, escolheu-se as concentrações de 1800mg/L (12mL) e 2250mg/L (15mL) e para o tanino 540mg/L (9mL) e 725mg/L (12mL).

Figura 2: Testes preliminares com coagulantes.



3.3. Tratamento físico-químico

Os volumes de reagentes usados no mini Jar Test, a fim de realizar a coagulação, floculação e ajuste do pH, estão descritos na Tabela 3, bem como as respectivas concentrações.

Tabela 3 – Dados dos reagentes utilizados nos ensaios de coagulação/floculação e ajuste de pH.

| Experimento | NaOH (mL) | Volume de Coagulante (mL) | Concentração de coagulante (mg/L) | Floculante (polímero) (mL) |
|-------------|-----------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| B1 | 4,5 | 12 | 1800 | 7 |
| B2 | 5,0 | 15 | 2250 | 8,5 |
| C1 | 2,0 | 9 | 540 | 1,5 |
| C2 | 2,1 | 12 | 725 | 1,5 |

A Figura 3 demonstra visualmente a etapa de repouso das amostras após o processo de floculação e a formação de lodo denso com densidade maior do que o clarificado, estando qualitativamente separado deste.

Figura 3: Aspecto visual dos experimentos em processo de decantação do lodo



Para ambos os coagulantes e volumes utilizadas ocorreu boa coagulação/floculação, no entanto, foi observado que para o coagulante orgânico, a decantação ocorreu em menor tempo do que para o coagulante PAC.

A Tabela 4 apresenta as concentrações médias dos parâmetros físico-químicos analisados das amostras dos efluentes tratados, bem como seu desvio padrão (σ).

A DQO e o fósforo foram os parâmetros que apresentaram as maiores diferenças entre os coagulantes e suas concentrações. O aumento do volume de coagulante adicionado para o tratamento, nem sempre indicou o aumento da remoção do parâmetro. Para DQO e para o fósforo, em especial, o aumento da dosagem de coagulante diminuiu a remoção, indicando que a dosagem utilizada está otimizada.

Tabela 4 - Concentrações médias dos parâmetros físico-químicos analisados no efluente tratado e desvio padrão

| Parâmetro | B1 | B2 | C1 | C2 |
|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| DQO (mg/l) | 10039±947 ^a | 11043±652 ^b | 10918±947 ^b | 13302±753 ^c |
| Fósforo (mg/l) | 0,46±0,10 ^a | 0,95±0,06 ^b | 0,44±0,11 ^a | 0,97±0,06 ^b |
| Sól. Suspensos Totais (mg/l) | 6,21±0,02 ^a | 6,66±0,00 ^b | 5,65±0,01 ^c | 5,66±0,05 ^c |
| pH | 7,1 | 6,9 | 7,2 | 7,0 |

(B1) PAC (1800mg/L); (B2) PAC (2250mg/L); (C1) Tanino (540mg/L); (C2) Tanino (725mg/L)

*Letras iguais na mesma linha representam que não há diferença significativa entre as médias.

A carga orgânica remanescente no efluente tratado ainda permaneceu alta, indicando presença de material solúvel no efluente e a necessidade de tratamento complementar. Os baixos valores de sólidos suspensos indica a clarificação do efluente após o tratamento físico-químico.

A Tabela 5 apresenta as remoções para os parâmetros analisados. O tratamento físico-químico demonstrou uma eficiência de remoção maior que 40% em quase todos os parâmetros analisados, exceto para alguns casos do parâmetro fósforo, no entanto a maior eficiência na remoção de DQO, foi constada com o coagulante PAC (12 mL), de 56,16%.

Tabela 5 - Eficiências de remoção dos parâmetros analisados

| Parâmetro | Eficiência (%) | | | |
|---------------|----------------|-------|-------|-------|
| | B1 | B2 | C1 | C2 |
| DQO | 56,16 | 51,78 | 52,33 | 41,92 |
| Fósforo Total | 53,46 | 4,92 | 55,36 | 2,04 |
| SST | 89,49 | 88,72 | 90,44 | 90,42 |

(B1) PAC (12 mL); (B2) PAC (15mL); (C1) Veta Organic (9 ml); (C2) Veta Organic (12 mL)

O Quadro 1 apresenta uma análise comparativa entre os diferentes coagulantes a eficiência de cada parâmetro analisado após o tratamento físico-químico.

Quadro 1 - Avaliação dos resultados dos experimentos quanto à concentração final dos parâmetros nos efluentes tratados.

| Experimento | DQO | Fósforo | pH | Sólidos Totais | Sólidos Suspensos |
|-------------|-----|---------|----|----------------|-------------------|
| B1 | X | X | X | | |
| B2 | | | X | | |
| C1 | X | X | X | X | X |
| C2 | | | X | X | X |

(B1) PAC (12 mL); (B2) PAC (15mL); (C1) Tanino (9 mL); (C2) Tanino (12 mL)



Com base nas avaliações realizadas (Quadro 1), pode-se perceber que o coagulante que demonstrou melhor desempenho no tratamento do efluente proveniente do processo de colagem de portas de madeira, foi o PAC (12mL), pois removeu maior valor de DQO, mesmo não tendo atingido os menores valores de fósforo e sólidos totais. O coagulante a base de tanino (C1) também poderia ser utilizado, sendo o que mais parâmetros removeu de forma satisfatória.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os coagulantes utilizados foram eficientes para clarificar o efluente de fabricação de portas, exceto o cloreto férrico. Porém, o efluente tratado ainda apresenta alta carga orgânica solúvel no clarificado resultante do tratamento, sendo necessário a aplicação de um tratamento complementar.

Agradecimentos

Agradecemos a FAPESC (Convênio nº: 2013TR3664) pelo apoio financeiro concedido para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Anuário Estatístico De Base Florestal para o Estado de Santa Catarina 2014, Lages/SC 27 de Fevereiro de 2014. Disponível em: <<http://engenhariaflorestal.curitibanos.ufsc.br/files/2014/08/Anu%C3%A1rio-sobre-Santa-Catarina-2014-20140613104756.pdf>>. Acesso em 5 Set. 2014.

Anuário Estatístico ABRAF 2013, Brasília 2013. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3910?show=full>>. Acesso em 6 Set. 2014.

BETETA ET AL, Treatment of door-manufacturing factories wastewaters using CDEO and other AOPs, A comparison. **Journal of Hazardous Materials**, 168 (2009) 358–363.

CAVALCANTI, J. E. W. de A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 2º ed. São Paulo, 2012.

CETESB. **Alterações físico químicas**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 10 Ago. 2014.

COTTA, Jussara A. O.; SALAMI, Fernanda H.; MARQUES, Almir R.; REZENDE, Maria O. O.; LANDGRAF, Maria D. **Validação do método para determinação de Nitrogênio Kjeldahl Total**. Revista Analytica, 2006. Disponível em: <http://www.revistaanalytica.com.br/ed_anteriores/26/art06.pdf>. Acesso em: 19 Ago. 2014.

Di Bernardo e Di Bernardo, **Uso de amido de mandioca catiônico como auxiliar de floculação**. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/ii-025.pdf>>. Acesso em 12 de Set. 2014.

FABRETI, A. A. Pós-tratamento de efluente de lagoa de estabilização através de processo físico-químico. 2006. 179f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.



FERREIRA FILHO, S.S. **Otimização do processo de coagulação e floculação visando a minimização de resíduos sólidos em estações de tratamento de água.** 2006. Projeto de Pesquisa - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FILHO, José Carlos Trindade, Produção de Amostras de Amido Catiônico e Realização de Testes de Floculação. Disponível em: <http://www.fecilcam.br/nupem/anais_iv_epct/PDF/engenharias/02_TRINDADE_ASSAD.pdf>. Acesso em 10 Set. 2014.

METCALF & EDDY, INC. Wastewater Engineering – **Treatment, Disposal and Reuse**, 4rd ed., McGraw-Hill, 2003.

MELO, R. S. S. **Estudo da cadeia de suprimento de portas prontas de madeira**, Fortaleza, Ceará, 2010.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**, 6º ed. Aracaju-Sergipe, 2012.

SANTOS, H. R. **Coagulação/precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leito expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação.** 2006. 331 f. Tese (Programa de Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 2006.

PHILIPPI, A. J.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de gestão ambiental**. 2. reimp. Barueri: Manole, 2007. 1045 p.

SOUZA, T. P. **O processo de sustentabilidade: um estudo em uma madeireira em Campo Belo MG**, Campo Belo/MG, Dezembro, 2009.

VANACÔR, Romualdo Nunes. **Avaliação do coagulante orgânico Veta Organic utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento público.** 2005. 188 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.