

II-198 - INVESTIGAÇÃO DO TIPO E INTENSIDADE DE AGITAÇÃO SOBRE O DESEMPENHO DE DIFERENTES AGENTES COAGULANTES E FLOCULANTES NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA INDUSTRIAL

Marcela Vieira Caixeta Machado⁽¹⁾

Discente do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia. Bolsista de Iniciação Científica PROGRAD/DIREN/UFU.

Talita Ferreira de Rezende Costa

Mestranda Programa de Pós Graduação em Química/ UFU

José Pedro Thompson Jr.

Mestrando do Programa de Pós Graduação em Química/ UFU

Sheila Cristina Canobre

Professora Doutora do Instituto de Química da UFU

Fábio Augusto do Amaral

Professor Doutor do Instituto de Química da UFU

Endereço⁽¹⁾: Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia. Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K, Campus Santa Mônica, Bairro Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP: 38408-100 - Brasil - Tel: (34) 9679-7878 - e-mail: marcelavcmachado@gmail.com

RESUMO

O tratamento e a reciclagem do efluente gerado por uma lavanderia industrial é uma preocupação que se faz necessária visto o aumento significativo deste ramo de atividade. No entanto, são poucas as empresas que se preocupam em lançar seus efluentes dentro de um padrão de qualidade estabelecido pelos órgãos ambientais ou, ainda, reciclar a água no processo de lavagem. É necessário avaliar a possibilidade de reciclagem deste tipo de efluente no próprio processo de lavagem de roupas, fazendo-se uma avaliação de custos considerando as diferentes alternativas de processos. Vários são os métodos e reagentes que se utilizam atualmente para os processos de tratamento físico-químicos de coagulação e floculação. Este trabalho teve como objetivo investigar o tipo e a intensidade de agitação sobre o desempenho de agentes coagulantes e floculantes no tratamento de efluente de uma lavanderia industrial. Os testes foram realizados em um equipamento de *Jar Test* com seis ensaios simultâneos, que simulava tais etapas. Na etapa de coagulação foram investigadas três intensidades de agitação de 60, 30 e 15 RPM, e avaliado também o desempenho de dois agentes coagulantes, sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e o biodegradável tanino, classe SG. Na etapa de floculação foram investigadas duas intensidades de agitação de 30 e 15 RPM e avaliada também a influência da natureza do polieletrólito aplicado, entre catiônico e aniônico. Por fim, analisou-se também a influência do tipo de agitação nas etapas de coagulação e floculação, testando quatro tipos de agitadores em comparação com um agitador padrão. Os resultados ótimos de cada etapa foram determinados pela obtenção dos menores valores de índices de turbidez do efluente tratado quando comparado ao efluente bruto, e também pela formação de flóculos uniformes, estáveis e de baixa densidade. Na primeira etapa deste trabalho, os menores valores de índice de turbidez foram observados para o tratamento utilizando o coagulante Tanino seguido de polieletrólito de natureza catiônica, em todas as intensidades de agitação aplicadas. Na segunda etapa deste trabalho, o agitador do tipo âncora apresentou os menores valores de índice de turbidez tanto para aplicação de Tanino quanto de Sulfato de alumínio como agentes coagulantes, provavelmente pelo escoamento do tipo radial promovidos por este tipo de agitador. A aplicação do coagulante Tanino forneceu flóculos menos densos e mais estáveis em comparação com o flóculos formados pelo Sulfato de alumínio, sugerindo ser este coagulante mais indicado para o processo de flotação por ar-dissolvido, utilizado em substituição à sedimentação convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação, Floculação, Tratamento de Efluentes, Intensidade de Agitação, Tipo de Agitadores.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento socioeconômico ocorrido nas últimas décadas esteve associado ao crescimento do número de indústrias e, com elas, a quantidade de efluentes e resíduos industriais também. Geralmente, os efluentes

não são tratados adequadamente e, na maioria das vezes, os resíduos industriais têm destino final inadequado e ficam expostos ao ambiente, poluindo-o.

Essencial à sobrevivência de todos os seres terrestres, a água, além de ser um recurso limitado, tem sido contaminada indiscriminadamente. Para que não haja o comprometimento da vida em um futuro próximo, observa-se a necessidade do tratamento dessa água já contaminada. O tratamento de efluentes industriais tem o objetivo de despoluir o efluente bruto, visando reduzir a emissão de substâncias contaminantes no solo, na atmosfera ou em rios, lagos, represas e lençóis subterrâneos¹.

As lavanderias industriais são fábricas que promovem a lavagem de roupas ou tecidos, deixando-os prontos para o uso. Todas se caracterizam pela necessidade de utilização de grandes quantidades de água, corantes e produtos químicos ao longo de uma complexa cadeia produtiva². Nota-se, portanto, uma vasta possibilidade de natureza de sujidades diferentes deste tipo de efluente.

Nesse trabalho, os efluentes líquidos gerados por tais indústrias foram submetidos a um tratamento, no qual foram estudadas a influência do tipo (de escoamentos radiais, axiais ou misto) e da intensidade de agitação (combinações de agitação rápida, regular ou lenta para as etapas de coagulação e floculação, respectivamente) sobre a atuação de agentes coagulantes e floculantes no tratamento, sendo um de caráter inorgânico e outro, orgânico biodegradável.

No que diz respeito às etapas do tratamento físico-químico, a coagulação consiste na aglutinação das partículas suspensas, facilitando a remoção destas. Os coagulantes são substâncias adicionadas na água com a finalidade de reduzir as forças eletrostáticas de repulsão, que mantêm separadas as partículas em suspensão. Eles liberam espécies químicas com alta densidade de cargas elétricas de sinal contrário às manifestadas pelas partículas presentes na água bruta³.

A floculação é a etapa onde a água é agitada lentamente, visando a formação de flocos de tamanho grande que facilite a sua remoção. É um processo físico no qual as partículas coloidais são colocadas em contato umas com as outras, de modo a permitir o aumento do seu tamanho físico, alterando desta forma sua massa e acelerando a velocidade de decantação. Os agentes floculantes utilizados são os polieletrólitos de natureza catiônica ou aniônica. Os polieletrólitos são polímeros sintéticos, geralmente de pesos moleculares muito altos, que atuam como auxiliares de sedimentação.

Os coagulantes testados neste trabalho foram o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e o biodegradável Tanino Classe SG⁴. O Tanino caracteriza-se por ser um coagulante/floculante vegetal não tóxico e de alta degradabilidade, ao contrário dos tradicionais produtos utilizados para este fim. É um polímero orgânico catiônico de baixa massa molar, extraído da casca de vegetais como a Acácia Negra e atua em sistemas coloidais neutralizando cargas e formando pontos entre essas partículas, sendo este processo responsável pela formação dos flocos e consequente sedimentação. Dentre suas propriedades, o Tanino não altera o pH da água tratada, uma vez que consome a alcalinidade do meio, ao mesmo tempo em que é efetivo em uma ampla faixa de pH, de 4,5 a 8,0⁵.

OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi investigar as condições de agitação, avaliando o desempenho de agentes coagulantes e floculantes no tratamento de efluente de uma lavanderia industrial, visando o reúso da água nas diversas operações do processo. Para a execução deste trabalho, teve-se como objetivos secundários:

- Estudo do efeito da intensidade de agitação no tratamento e avaliação preliminar do efeito dos agentes coagulantes e floculantes aplicados no processo, no que diz respeito ao índice de turbidez do efluente tratado.
- Estudo da influência do tipo de agitador utilizado nas etapas de coagulação e floculação do efluente, com diferentes agentes coagulantes, avaliando o efeito destes sobre a formação de flóculos e no índice de turbidez do efluente tratado.
- Investigação da influência do tipo de coagulante utilizado sobre a formação de flóculos menos densos e mais estáveis em condições de agitação e mistura, necessários para posterior uso do processo de flotação por ar dissolvido como meio de separação.

METODOLOGIA

As amostras de efluentes foram coletadas da Unidade de Arujá - SP da lavanderia industrial ALSCO Toalheiros do Brasil Ltda. O tratamento foi realizado com o auxílio de um equipamento de *Jar Test*, com capacidade para seis ensaios simultâneos, que simulou as operações de coagulação, floculação e decantação. O tratamento de efluente ocorre por um processo físico-químico, que se baseou em:

- **Equalização:**
Consistiu no ajuste do pH utilizando-se solução de ácido sulfúrico 10% (H_2SO_4) até pH 2 e teve como finalidade o rompimento dos óleos solúveis presentes na amostra.
- **Geração de cargas negativas:**
A geração de cargas negativas foi realizada pela adição de solução de hidróxido de sódio 10% (NaOH) para tornar o sistema propício para ação do sulfato de alumínio que agiria como coagulante.
- **Coagulação:**
A coagulação ocorreu pela adição de dois tipos de coagulantes. O primeiro deles, o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) em solução 10% que reagiu com a alcalinidade natural do efluente, formando o hidróxido de alumínio ($Al(OH)_3$), responsável pela formação dos coágulos. O outro coagulante testado foi o biodegradável Tanino.
- **Floculação:**
Os agentes floculantes utilizados foram os polieletrólitos de caráter catiônico ou aniônico. A adição destes ocorreu lentamente, e durante 10 minutos, após a aplicação dos polieletrólitos, ocorreu agitação.
- **Sedimentação:**
É o processo que consiste em manter o líquido em condições tais de tranquilidade pelo tempo necessário (5 minutos após os agitadores serem desligados) para que as partículas sólidas mais densas que a água decantem por ação da gravidade..

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O conceito de melhor tratamento foi estabelecido como sendo, correspondente àquele que apresentasse o menor índice de turbidez e também a formação de um floco estável, menos denso e dimensões viáveis para o processo de flotação por ar dissolvido.

O efluente bruto oriundo da indústria apresentava características iniciais de pH básico, em torno de 9,5 devido aos surfactantes presentes, e índices de turbidez superiores a 1350 NTU.

PRIMEIRA ETAPA: ESTUDO DA INTENSIDADE DE AGITAÇÃO

Agitação refere-se ao movimento induzido de um material em forma determinada, geralmente circulatória, dentro de um recipiente, com os objetivos de promover maior transferência de massa, acelerar reações químicas, entre outros. O aumento da intensidade de agitação melhora os fluxos de transferência de massa, e, portanto, aumenta a velocidade de consumo dos reagentes⁶.

Diferentes velocidades de agitação foram investigadas sobre a atuação de agentes coagulantes e floculantes nas etapas de coagulação e floculação do efluente. Na etapa de coagulação, foram avaliadas velocidades de agitação de 60, 30 ou 15 RPM, e sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) e Tanino como agentes coagulantes. Na floculação, velocidades de 30 ou 15 RPM foram testadas, com polieletrólito catiônico ou aniônico agindo como floculante. Os coagulantes sulfato de alumínio e Tanino foram adicionados ao sistema até que o pH 4 fosse atingido⁷ e a concentração de polieletrólito adicionado na etapa de floculação foi fixada a 13 PPM.

As Figuras 1 e 2 mostram os valores de índice de turbidez obtidos para os dois tipos de agentes coagulantes e floculantes nas velocidades de agitação combinadas para coagulação e floculação, respectivamente, de 60/30, 30/15 e 15/15 RPM.

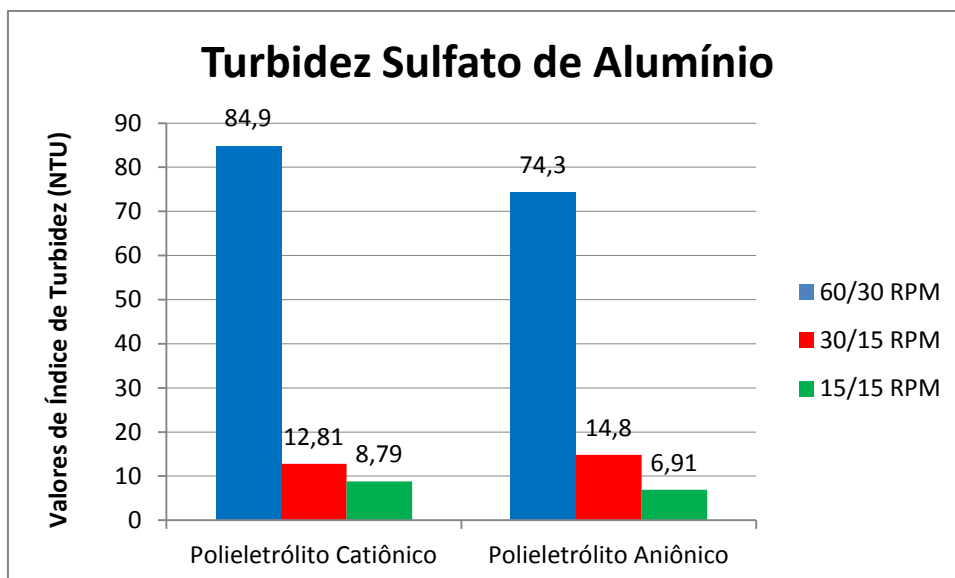


Figura 1: Índices de turbidez (NTU) do efluente tratado avaliados para o coagulante Sulfato de alumínio e para polieletrólitos de natureza catiônica ou aniônica em diferentes velocidades de agitação.

Verificam-se menores índices de turbidez (8,79 e 6,91 NTU) no efluente tratado para as menores rotações (15/15 RPM) em ambas as etapas, coagulação e floculação, indicando quebra dos flocos quando as rotações foram maiores. Este mesmo comportamento foi observado utilizando-se ambos os polieletrólitos, catiônico e aniônico.

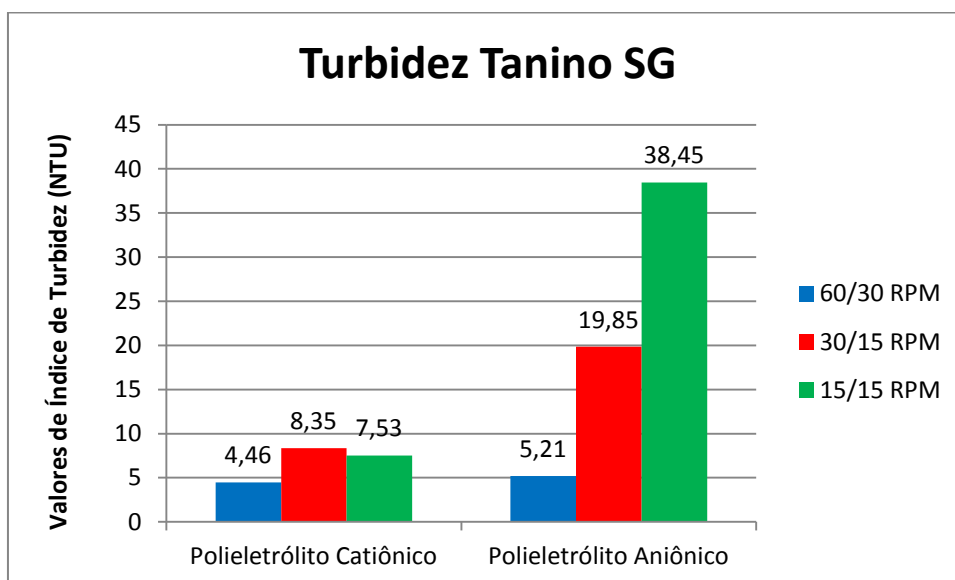


Figura 2: Valores de índices de turbidez do efluente tratado avaliados para o coagulante Tanino e para polieletrólitos de natureza catiônica e aniônica em diferentes velocidades de agitação.

Os menores valores de índice de turbidez foram observados para o coagulante tanino associado com o floculante de natureza catiônica, nas três combinações de velocidade de agitação aplicadas. Já para o polieletrólito de natureza aniônica, verificou-se altos valores de índice de turbidez nas rotações de 30/15 e 15/15.

Quando comparado os dois coagulantes, inorgânico e orgânico, a estabilidade dos flóculos obtidos pelo uso de sulfato de alumínio parece ser mais influenciada pela velocidade de agitação, sugerindo flóculos menos estáveis que os conseguidos pelo uso do coagulante tanino. Isso poderia ser um ponto favorável para o uso de taninos como coagulantes, o que permitiria maiores velocidades de agitação em ambas as etapas, coagulação e floculação, o que diminuiria o tempo de permanência do efluente na estação de tratamento.

Na Figura 3 são apresentadas fotos do efluente proveniente da lavanderia industrial, antes do tratamento (Figura 3 a) e após o tratamento, utilizando as diferentes intensidades de agitação (Figura 3 b, c e d) com o uso do coagulante sulfato de alumínio.

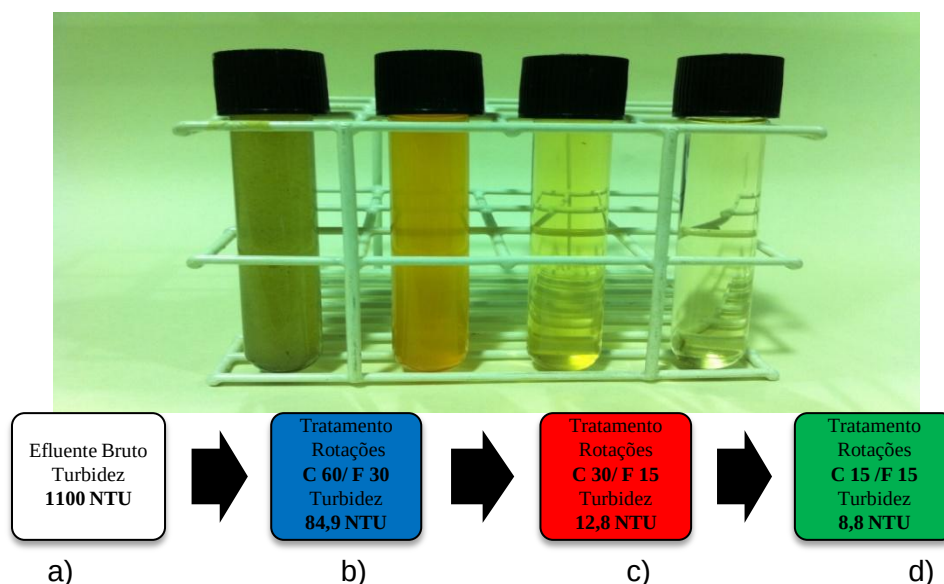


Figura 3: Fotos do efluente proveniente da lavanderia industrial em diferentes intensidades de agitações aplicadas no tratamento físico-químico utilizando sulfato de alumínio e polieletrólito aniônico.

SEGUNDA ETAPA: ESTUDO DO TIPO DE AGITAÇÃO

Os agitadores (impelidores) são escolhidos de maneira a fazer com que o líquido percorra determinados caminhos dentro do recipiente. O tipo de agitador deve permitir que as velocidades desejadas para vencer as resistências à transferência de massa sejam alcançadas com o gasto mínimo de energia⁸.

Os agitadores são classificados de acordo com o tipo de movimento que imprimem ao fluido em agitação. Assim, têm-se agitadores que provocam um escoamento axial, isto é, em que o líquido percorre um caminho paralelo ao eixo do agitador e agitadores que provocam um escoamento radial, em que o fluido se desloca perpendicularmente à direção do eixo do agitador⁹.

A Figura 4 mostra os agitadores utilizados na segunda etapa deste trabalho. Os agitadores palheta inclinada (b) e palheta do tipo âncora (c) promovem um escoamento radial no fluido, enquanto que os agitadores impelidor do tipo parafuso (d) e hélice (e) provocam escoamento do tipo axial.

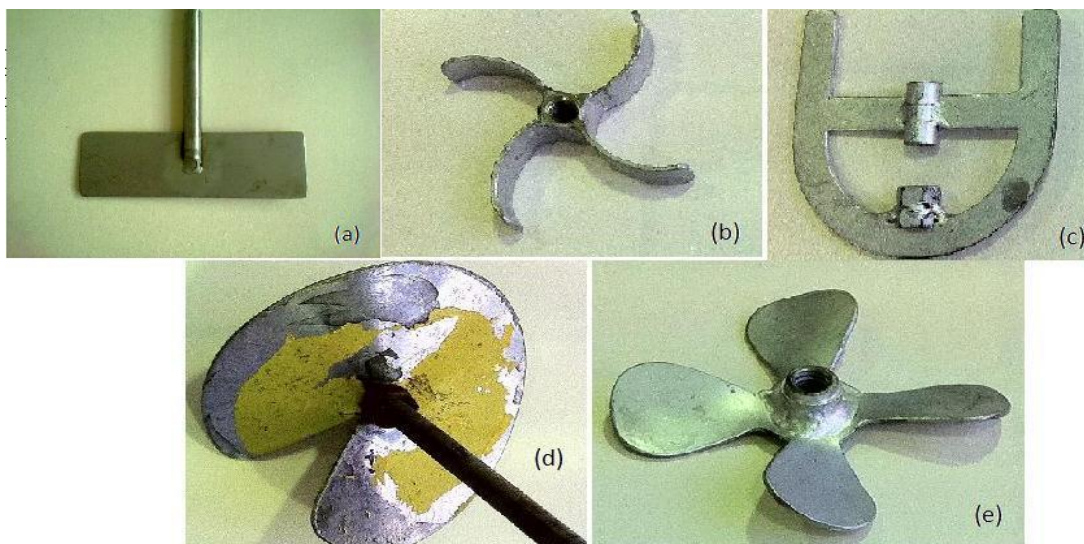


Figura 4: Agitador padrão (a), palheta inclinada (b), palheta do tipo âncora (c), impulsor de parafuso (d) e hélice (e).

Nesta etapa do trabalho, a velocidade agitação foi fixada a 30/15 RPM para as etapas de coagulação e floculação, respectivamente e a concentração de floculante utilizada foi de 13 PPM, tanto para o polieletrólito de natureza catiônica, quanto para o polieletrólito de natureza aniônica.

A *performance* dos quatro tipos de agitadores, tendo como referência o agitador padrão de um equipamento convencional de *Jar Test*, e a utilização do coagulante sulfato de alumínio foram avaliadas com o polieletrólito de natureza aniônica agindo como floculante. Os valores de índices de turbidez para os cinco agitadores, seguindo a metodologia com uso dos agentes coagulante e floculante, estão representados pela Figura 5.

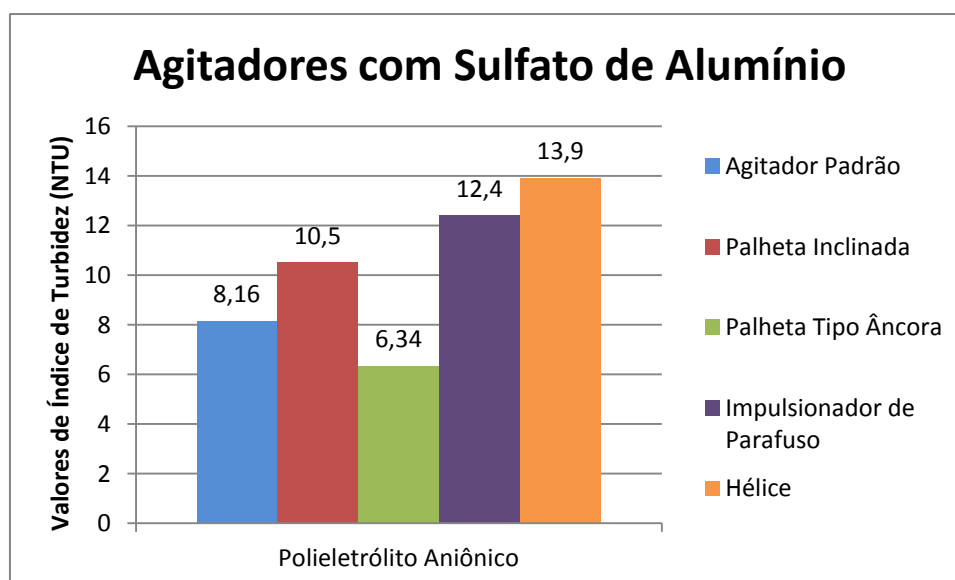


Figura 5: Valores de índice de turbidez do efluente tratado para cinco tipos de agitadores utilizando o sulfato de alumínio como agente coagulante e o polieletrólito aniônico como agente floculante.

Com o coagulante Tanino, novamente o desempenho dos quatro tipos de agitadores foi avaliado utilizando como agente floculante o polieletrólito de natureza catiônica, como mostra a Figura 6. Por ter apresentado os menores valores de índice de turbidez em comparação com o polieletrólito de natureza aniônica, este foi escolhido para ser utilizado na etapa de floculação.

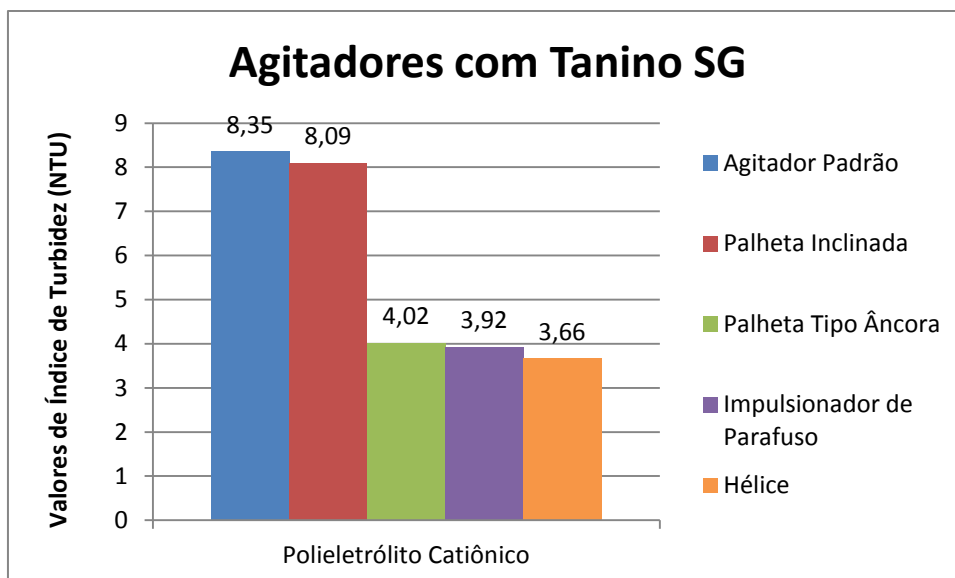


Figura 6: Valores de índice de turbidez do efluente tratado para cinco tipos de agitadores utilizando o Tanino como agente coagulante e o polieletrólito catiônico como agente floculante.

Como notado na primeira etapa deste trabalho, os menores valores de índice de turbidez foram novamente observados quando aplicou-se Tanino como coagulante e polieletrólito catiônico como agente floculante. A palheta tipo âncora (c) apresentou o menor valor de índice de turbidez (6,34 NTU) quando foi utilizado sulfato de alumínio como agente coagulante e polieletrólito aniônico como floculante. Já para o coagulante Tanino e polieletrólito catiônico, três tipos de agitadores (palheta do tipo âncora (c), impulsionador de parafuso (d) e hélice (e)) apresentaram baixos índices de turbidez. O agitador padrão forneceu os maiores valores de índice de turbidez, para ambos os coagulantes aplicados, indicando a quebra dos flóculos com maior facilidade.

As Figuras 7 e 8 mostram os flóculos formados durante o tratamento para os cinco tipos de agitadores e para o coagulante sulfato de alumínio e polieletrólito aniônico aplicados.

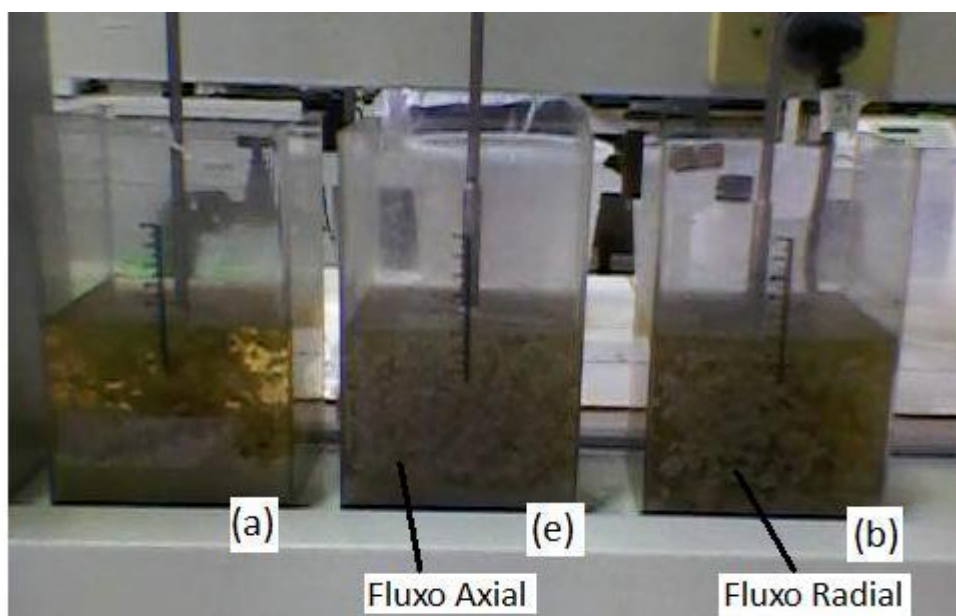


Figura 7: Flóculos formados durante o tratamento com os agitadores padrão (a), hélice (e) e palheta inclinada (b).

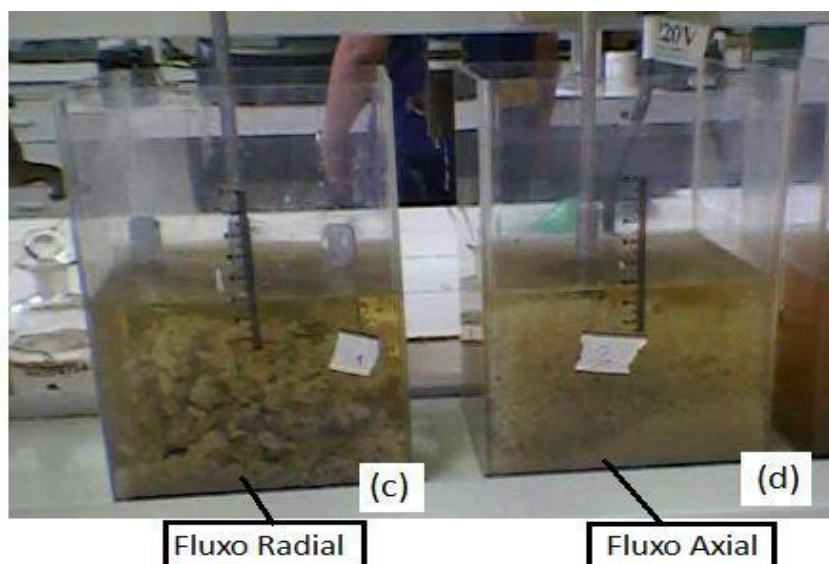


Figura 8: Flóculos formados durante o tratamento com os agitadores palheta do tipo âncora (c) e impulsor de parafuso (d).

A partir das Figuras 7 e 8, observou-se que os flóculos maiores e mais densos foram formados pelos agitadores padrão (a) e pelo agitador do tipo âncora (c) e, conseqüentemente, estes apresentaram os menores valores índices de turbidez. O agitador do tipo âncora provoca escoamento radial, que gera linhas de fluxo perpendicular ao eixo do agitador. Este tipo de fluxo gerado é mais agressivo no que diz respeito à mistura, e permite maior homogeneização do polieletrólito com os coágulos e formação de flóculos maiores.

As Figuras 9 e 10 mostram os flóculos formados durante o tratamento para os cinco tipos de agitadores e para o coagulante Tanino e polieletrólito catiônico aplicados.

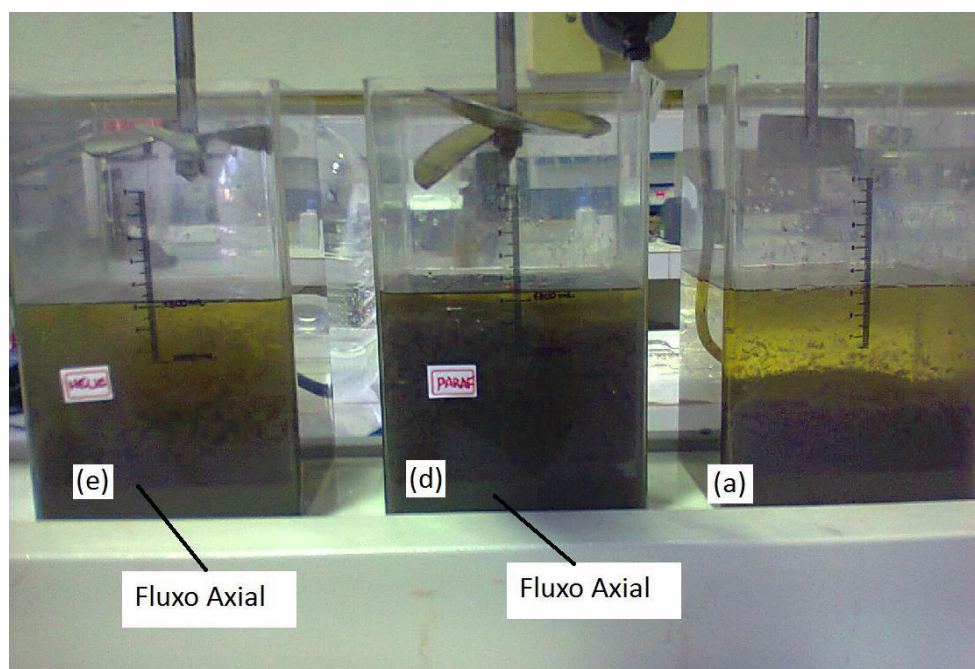


Figura 9: Flóculos formados durante o tratamento com os agitadores hélice (e), impulsor de parafuso (d) e o agitador padrão.

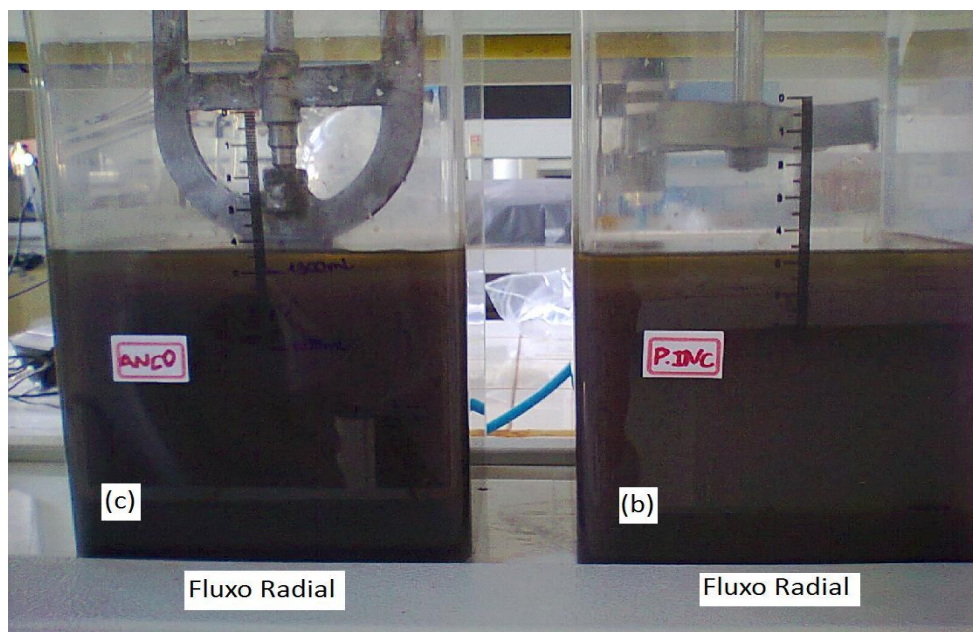


Figura 10: Flóculos formados durante o tratamento com os agitadores palheta do tipo âncora (c) e palheta inclinada (b).

A partir das Figuras 9 e 10, pode-se observar que os flóculos maiores e mais densos foram formados quando utilizou-se o agitador padrão (a) e a hélice (e). No entanto, o agitador padrão apresentou o maior valor de índice de turbidez e a hélice apresentou o menor valor de índice de turbidez nessa etapa do tratamento. Isso indica que, para o tratamento com tanino, a aparência e forma dos flóculos não possuem uma relação significativa com os valores de índice de turbidez observados, ao contrário do que aconteceu no tratamento com o coagulante sulfato de alumínio.

Cabe ressaltar que em todos os tratamentos deste trabalho, mesmo os valores mais altos de índice de turbidez observados, apresentaram uma redução maior que 95% em relação à turbidez inicial do efluente bruto (1350 NTU).

Em todos os aspectos avaliados, a utilização do coagulante tanino forneceu flóculos menos densos e mais estáveis, o que indica que este coagulante é mais propício para ser utilizado nos testes de flotação por ar dissolvido, em substituição ao processo de sedimentação convencional.

CONCLUSÕES

Na primeira etapa deste trabalho, pôde-se concluir que o efeito da intensidade de agitação depende do tipo de agentes coagulantes e floculantes aplicados ao tratamento. As velocidades mais brandas (15 RPM para coagulação e 15 RPM para floculação) forneceram os menores valores de índice de turbidez para o coagulante sulfato de alumínio aplicado com os dois tipos de polieletrólito testados, o aniônico e o catiônico. Já para a aplicação do Tanino como agente coagulante, observou-se baixos valores de índice de turbidez nas três combinações de agitação aplicadas, mas somente para o polieletrólito de natureza catiônica.

A influência dos cinco tipos de agitadores foi avaliada sobre o desempenho de agentes coagulantes e floculantes, e observou-se que a palheta do tipo âncora se mostrou bastante eficiente no tratamento, já que esta apresentou menores valores de índice de turbidez para ambos os coagulantes, indicando maior estabilidade dos flóculos, mesmo em velocidades de agitação maiores. De um modo geral, conclui-se que, assim como a intensidade de agitação, a eficiência de cada agitador na obtenção de valores baixos de índice de turbidez e na formação de flóculos depende do tipo de tratamento físico-químico aplicado ao efluente.

O uso do coagulante tanino, quando comparado ao uso do sulfato de alumínio, permitiu formação de flóculos mais estáveis que suportaram maiores velocidades de agitação nas etapas de coagulação e floculação. Os valores de índices de turbidez obtidos pelo tratamento com tanino foram sempre menores que os obtidos pelo tratamento com sulfato de alumínio, e os flóculos formados pelo tratamento com tanino foram menos densos e

mais estáveis. Isso se deve ao fato de o tanino apresentar fortes características de densificação de coágulos, não observando-se a formação de hidróxidos insolúveis como no caso do sulfato de alumínio e, conseqüentemente favorecendo o efeito de complexação, característico do mecanismo comum aos taninos¹⁰. Isto indica que a utilização do coagulante tanino é favorável para utilização da flotação por ar dissolvido como etapa futura do trabalho.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desse trabalho contou com apoio da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG processo APQ 2279-10), ao Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia (FECIV/UFU), à TANAC e à empresa AlSCO Toalheiros do Brasil (fornecedora do efluente de sua planta instalada em Arujá, SP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-
- ¹BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. Manual de Tratamento de Águas Residuária, São Paulo: CETESB, p-764, 1993.
- ²SANIN, L. B. B., A Indústria Têxtil e o Meio Ambiente. Química Têxtil, p.13-34, Março, 1997.
- ³SPERLING, M. V.; Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 3ª Edição.
- ⁴Ficha Fabricante Tanino SG. http://www.tanac.com.br/PT/upload/produtos/CT_TANFLOC_SG_PT.pdf acesso em 19.04.2012, 20h.
- ⁵MARTINEZ, F. et al. Resinas de taninos vegetais para a Remoção de metais. Universidade de Havana, Cuba, 1997.
- ⁶ANGENENT, L.T.; DAGUE, R.R. (1995). A Laboratory-Scale Comparison of the UASB and ASBR processes. In: 50th Purdue Industrial Wastewater Conference Proceedings, Ann Arbor Press, Chelsea, pp. 365-377.
- ⁷COSTA, T. F. R. *et al.* Diagramas de coagulação de classes de taninos usados como coagulantes no tratamento de efluente de uma lavanderia industrial. Apresentado no XV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental SILUBESA – 2012, Belo Horizonte – MG.
- ⁸BRUNELLO, G.; CONCONE, B.R.V. (1986). Agitação e Aeração em Fermentadores. In: Borzani, W.; Lima, U.A.; Aquarone, E. Engenharia Bioquímica. 1a ed., v.3. São Paulo, Edgard Blucher. P. 137 – 167.
- ⁹<http://pt.scribd.com/doc/52580053/TRATAMENTO-E-CONTROLE-DE-EFLUENTES-INDUSTRIAIS>, acessado em 20.04.12, 10 h.
- ¹⁰PAVANELLI, G. Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes na Coagulação, Flocculação e Sedimentação de Água com Cor e Turbidez Elevada. Dissertação de Mestrado EESC-USP, São Carlos, Brasil, 2001.