



II-104 - INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE E FORMATO DOS AGITADORES NAS ETAPAS DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO 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.

José Pedro Thompson Jr.

Mestrando do Programa de Pós Graduação em Química/ UFU

Talita F. R. Costa

Mestranda 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

Um importante setor de serviços na sociedade moderna que é responsável por uma parcela significativa do consumo de água no meio urbano é o ramo de lavagem de roupas. O tratamento dessas águas residuárias é uma preocupação pertinente nos dias atuais¹. 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 o estudo das velocidades de agitação e o do formato dos agitadores nas etapas de coagulação e floculação no tratamento de efluente de lavanderia industrial. O efluente proveniente da indústria apresentava elevados índices de turbidez e pH extremamente básico. Os testes foram realizados em um equipamento de *Jar Test* com seis ensaios simultâneos, que simulava tais etapas. Na etapa de coagulação foram testadas três diferentes velocidades de agitação de 60, 30 e 15 RPM, e utilizado o sulfato de alumínio como agente coagulante, e na etapa de floculação foram testadas duas velocidades de agitação de 30 e 15 RPM, e polieletrólitos de natureza aniônica e catiônica como agentes floculantes. Avaliou-se também a influência do formato dos agitadores nas etapas de coagulação e floculação, testando quatro tipos de agitadores em comparação com um agitador padrão, utilizado na primeira etapa deste trabalho. Os resultados ótimos de cada etapa foram determinados pela obtenção de menor volume de lodo e menores valores de índices de turbidez do efluente tratado quando comparado ao efluente bruto. Na primeira etapa deste trabalho, os melhores resultados foram obtidos utilizando-se o polieletrólito aniônico e velocidades 15 e 15 RPM para as etapas de coagulação e floculação, respectivamente. Na segunda etapa deste trabalho, os melhores resultados foram obtidos quando trabalhou-se com o agitador do tipo âncora e com menores quantidades de polieletrólito. Esses resultados visam atender às políticas ambientais vigentes² e a minimizar os impactos gerados por esses efluentes não tratados quando descartados na natureza.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Efluentes, Lavanderia Industrial, Velocidade de Agitação, Coagulação, Formato de Agitadores.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural continuamente contaminado, desde o desenvolvimento agrícola e industrial até a produção de vários bens de consumo atuais. Isto a torna inviável para o consumo das diversas formas de vida que necessitam dela para sobreviver. Inúmeras indústrias trazem, ao longo do processamento de suas atividades, a geração de efluentes, os quais são potencialmente contaminadores do local onde são despejados.

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 subterrâneos³.



Como citado por Menezes⁴, “o ramo de lavagem de roupas apresenta um altíssimo consumo de água (estimado em torno de 10% no meio urbano) e, no entanto, poucos trabalhos vêm sendo voltados para a pesquisa do tratamento desse tipo de efluente. Os despejos das lavanderias contêm sujeiras removidas das roupas e substâncias adicionadas na lavagem. O sabão e outros detergentes presentes na água produzem uma suspensão relativamente estável contendo resíduos de sujeira e fibras de tecidos”. Nota-se, portanto, uma vasta possibilidade de natureza de sujidades diferentes deste tipo de efluente.

Nesse trabalho, os efluentes líquidos gerados por tais indústrias são submetidos a um tratamento, o qual foram estudadas as velocidades de agitação e a influência exercida pelo formato dos agitadores nos processos de coagulação e floculação do efluente.

Os efluentes de lavanderias industriais geralmente possuem pH alcalino, são altamente coloridos, contêm significativas quantidades de sabões e detergentes sintéticos, óleos e graxas, sujidades e corantes. Possuem também uma demanda bioquímica de oxigênio, DBO, estimada de 2 a 5 vezes maior em comparação a apresentada pelos esgotos domésticos. Às vezes, o processo de lavagem desprende fibras de tecidos de tamanhos variados, sendo freqüentemente vistas somente no microscópio⁴.

No que diz respeito às etapas do tratamento físico-químico, o mais empregado para esta finalidade, 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 mantém 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 bruta⁵. O coagulante utilizado neste trabalho é o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$).

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.

OBJETIVOS

O presente trabalho teve como foco de pesquisa o estudo das velocidades de agitação e o formato dos agitadores nas etapas de coagulação e floculação no tratamento de efluentes de lavanderia industrial, visando o reúso da água nas diversas operações do processo. Para tal, foi necessária a otimização de variáveis e etapas de processo, para obtenção de maior eficiência na remoção de partículas contaminantes, que impedissem a reutilização dessa água.

METODOLOGIA

As amostras de efluentes foram coletadas da Unidade de Arujá - SP da lavanderia industrial ALSCO Toalheiros do Brasil Ltda. Um equipamento de *Jar Test* foi utilizado para os testes, com capacidade para seis ensaios simultâneos. 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 sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) em solução 10% que reagiu com a alcalinidade natural do efluente, formando o hidróxido de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$), que é o responsável pela formação dos coágulos.
- **Floculação:**
Os agentes floculantes utilizados aqui 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 tranqüilidade pelo tempo necessário para que as partículas sólidas mais densas que a água decantem por ação da gravidade. Nesta etapa, os agitadores foram desligados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

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. Um volume de 1300 mL de efluente bruto foi tratado em cada ensaio, como mostra a Figura 1.



Figura 1: Equipamento de *Jar Test* de bancada com efluente bruto nos seis ensaios.

PRIMEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DE AGITAÇÃO UTILIZANDO O AGITADOR PADRÃO

O aumento da intensidade de agitação melhora os fluxos de transferência de massa e, portanto, aumenta a velocidade de mistura e consumo dos reagentes e diminui o tempo de agitação no tratamento⁶.

Diferentes velocidades de agitação foram testadas nas etapas de coagulação e floculação do efluente. Na coagulação foram testadas velocidades de 60, 30 ou 15 RPM e na floculação, velocidades de 30, 15 ou 15 RPM respectivamente, e para cada ensaio a natureza dos polieletrólitos floculantes foi variada tanto para catiônica quanto para aniônica. O coagulante sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) em solução 10% foi utilizado na etapa de coagulação, e sendo adicionado ao sistema até que o pH 4 fosse atingido e a concentração de polieletrólitos adicionado na etapa de floculação foi fixada a 2,6 ppm. As Figuras 2 e 3 mostram respectivamente os valores de índice de turbidez e volume de lodo formado em duplicatas, em diferentes velocidades de agitação nas etapas de coagulação e floculação.

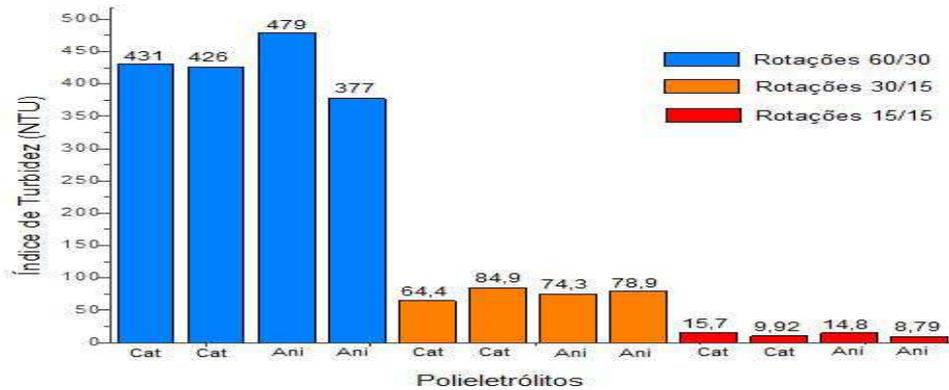


Figura 2: Valores de índice de turbidez (NTU) do efluente tratado em diferentes rotações.

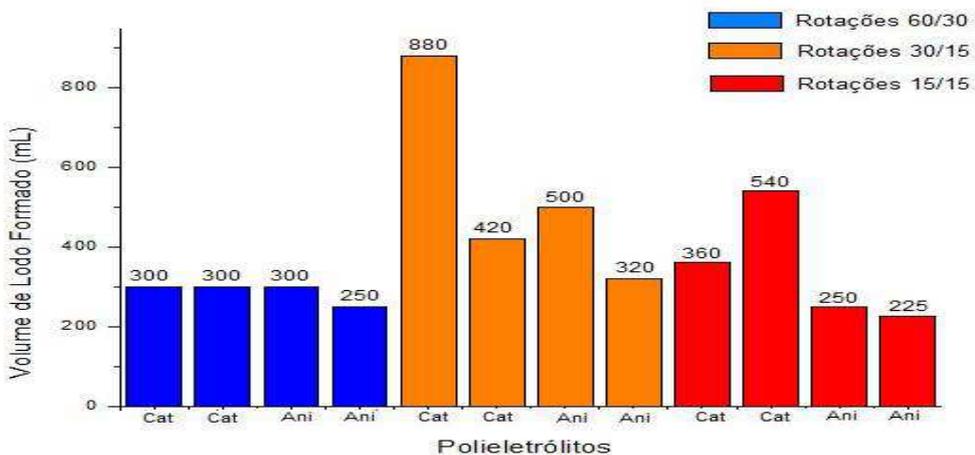


Figura 3: Valores de volume de lodo formado (mL) do efluente tratado em diferentes rotações.

Verificam-se menores índices de turbidez no efluente tratado para as menores rotações 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. Quando comparados os volumes de lodo não foi observado variação conclusiva em relação ao tipo de polieletrólito aplicado, e também quanto às rotações aplicadas, provavelmente pela grande variação nas características dos diferentes lotes recebidos.

SEGUNDA ETAPA: AVALIAÇÃO DO FORMATO DOS AGITADORES

Visto elevados índices de turbidez e grandes volumes de lodos formados, fez-se necessário uma avaliação de formatos e disposições adequadas de agitadores. Vários tipos de agitadores podem ser usados para produzir agitação ou mistura em fluidos, fornecendo energia ao sistema por meio de rotação. Os agitadores são classificados de acordo com o tipo de movimento que imprimem ao fluido⁷, podendo ser:

- Agitadores de escoamento radial: Agitadores dos tipos palhetas e turbinas provocam fluxo radial, em que o fluido se desloca perpendicularmente ao eixo do agitador, ou seja, impulsiona a massa líquida contra as paredes do tanque⁸. A Figura 4 mostra os agitadores (b) e (c) que provocam o escoamento radial.

- Agitadores de escoamento axial: Agitadores do tipo hélice provocam fluxo axial, em que o líquido percorre um caminho paralelo ao eixo do agitador, empurrando a massa líquida contra o fundo do tanque. A Figura 4 mostra estes agitadores (d) e (e).

Neste momento, quatro tipos de agitadores foram avaliados, tendo como referência o agitador padrão utilizada na primeira etapa deste tratamento, como mostra a Figura 4.

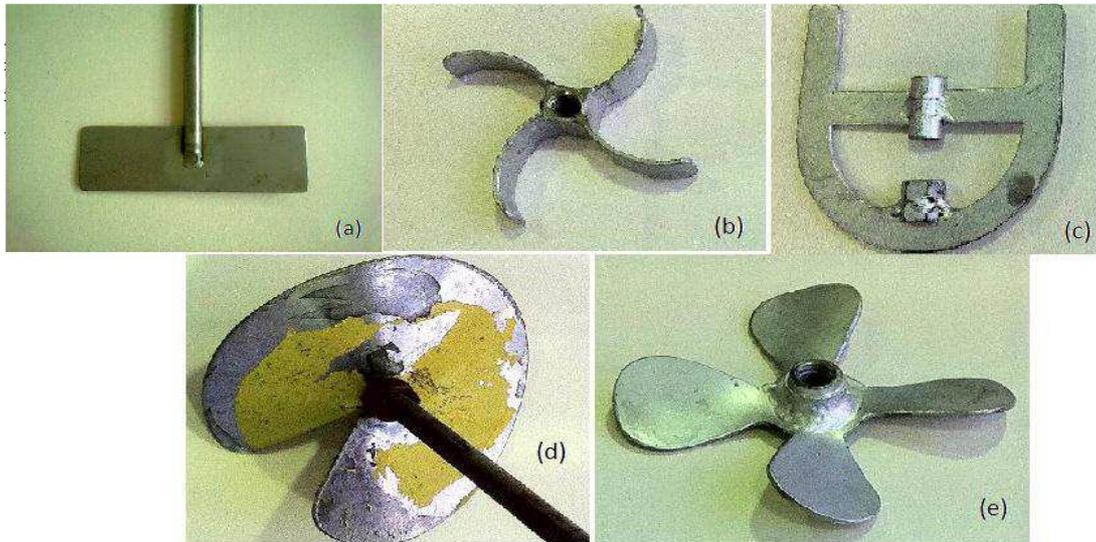


Figura 4: Agitador padrão (a), palheta inclinada (b), palheta do tipo âncora (c), impulsor de parafuso (d) e hélice (e).

As velocidades de agitação das etapas de coagulação e floculação foram fixadas em 30 e 15 RPM, respectivamente, e o polieletrólito aniônico, por ter se apresentado mais eficiente na etapa anterior no que se diz respeito aos menores índices de turbidez obtidos e aos menores volumes de lodo formado, foi utilizado em concentrações de 2,6 ppm, 1,95 ppm ou 1,3 ppm.

Os valores de índice de turbidez e os volumes de lodo formado para as respectivas quantidades de polieletrólito estão representadas pela Figura 5 e 6.

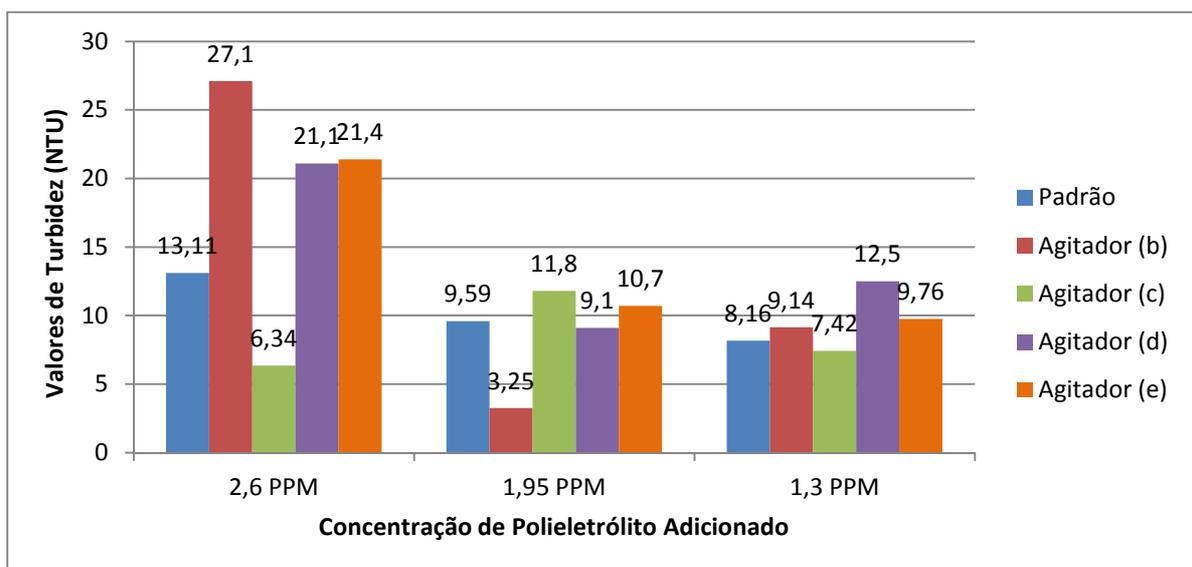


Figura 5: Valores de índices de turbidez (em NTU) para diferentes agitadores e concentrações de 2,6 ppm, 1,95 ppm ou 1,3 ppm de polieletrólito aniônico adicionado.

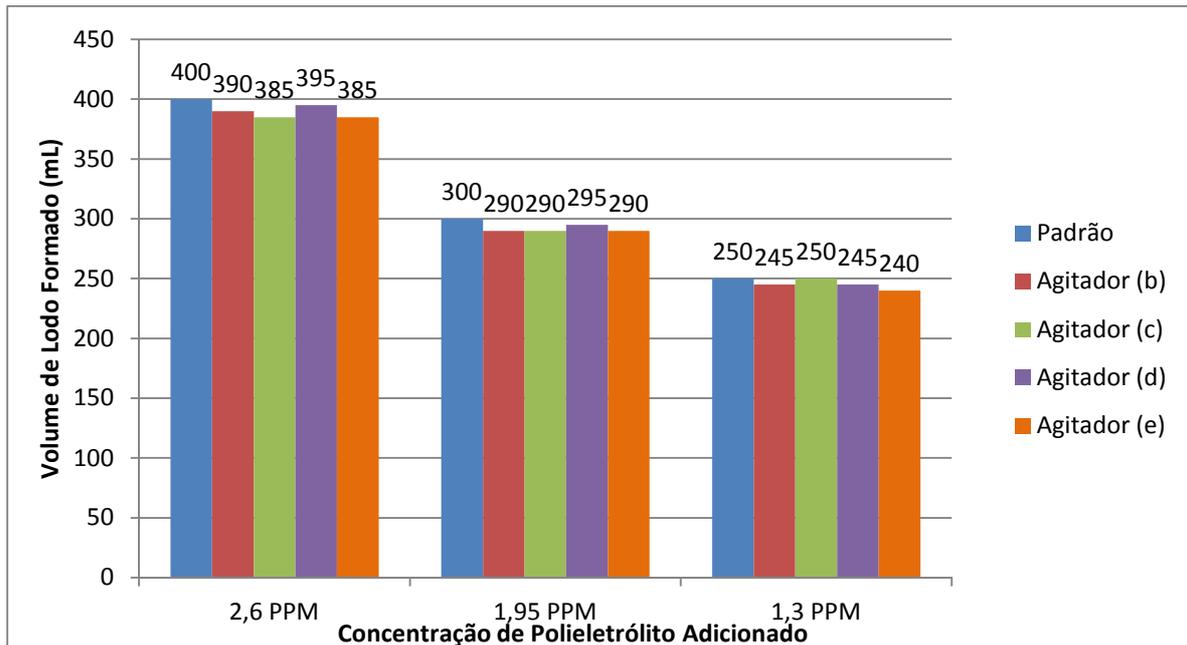


Figura 6: Valores de volume de lodo formado (em mL) para diferentes agitadores e concentrações de 2,6 ppm, 1,95 ppm e 1,3 ppm de polieletrólito aniônico adicionado.

Verifica-se que os menores valores de índices de turbidez ocorrem com a palheta do tipo âncora (agitador (c)), para concentrações de 2,6 ppm, 1,95 ppm e 1,3 ppm de polieletrólito adicionado. Isso indica que este agitador trabalha de forma mais branda e não quebra os flóculos tão facilmente. No geral, os menores índices de turbidez ocorrem para as concentrações de 1,95 ppm e 1,3 ppm de polieletrólito adicionado, o que indica que essas quantidades levam a um mesmo resultado. Os maiores valores de índice de turbidez são observados para a quantidade de 2,0 mL de polieletrólito adicionado, o que sugere que há excesso de polieletrólito.

Nota-se também que a quantidade de volume de lodo formado não sofre influência do formato do agitador, mas sim da quantidade de agente floculante adicionado. As menores quantidades de volume de lodo formado ocorrem também para as menores concentrações de polieletrólito adicionado, 1,95 ppm e 1,3 ppm.

As Figuras 7, 8, 9 e 10 mostram os flóculos formados durante o tratamento para os cinco tipos de agitadores e para a concentração de polieletrólito adicionado de 1,95 ppm.

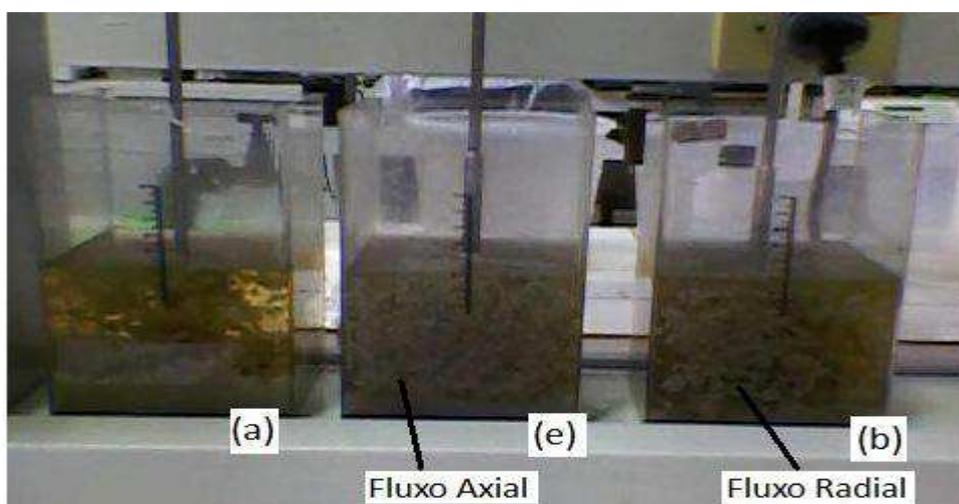


Figura 7: Flóculos formados durante o tratamento com os agitadores padrão (a), hélice (e) e palheta inclinada (b).

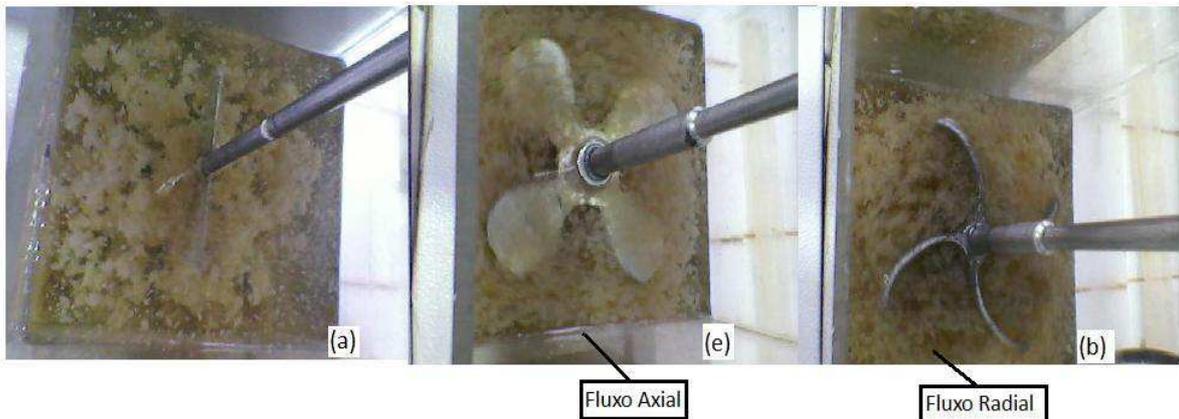


Figura 8: Flóculos formado durante o tratamento com os agitadores padrão (a), hélice (e) e palheta inclinada (b) vistos de cima.

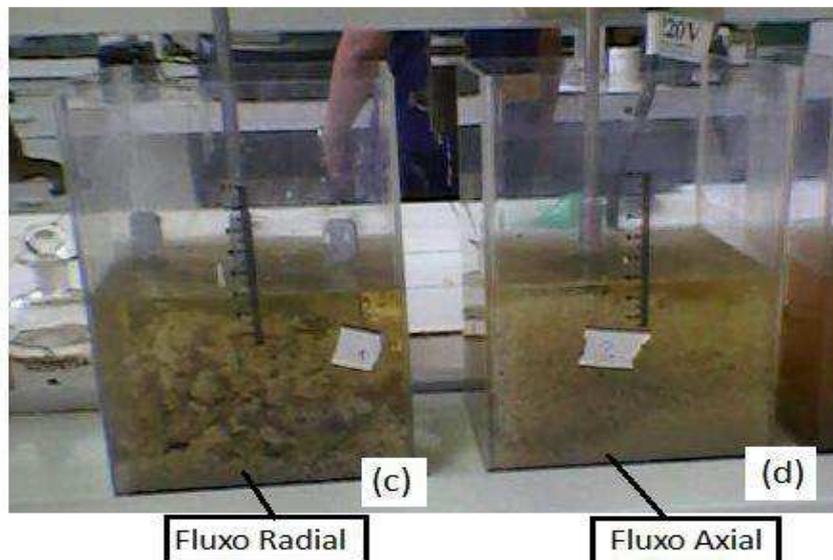


Figura 9: Flóculos formados durante o tratamento com os agitadores palheta do tipo âncora (c) e impulsor de parafuso (d).

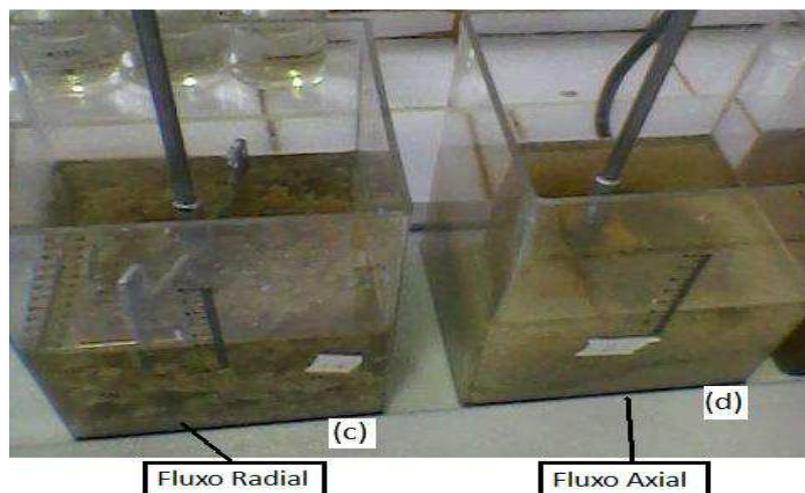


Figura 10: Flóculos formados durante o tratamento com os agitadores palheta do tipo âncora (c) e impulsor de parafuso (d) vistos de cima.



A partir das Figuras 7, 8 9, e 10, 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, tanto para a concentração de 1,95 ppm de polieletrólito adicionado, quanto para as concentrações de 2,6 ppm e 1,3 ppm, representadas na Figura 5.

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.

Notou-se que os flóculos formados pelos agitadores impulsor em parafuso e hélice foram menores e mais leves, e ficaram submersos na água por mais tempo até se decantarem por completo. Esses agitadores imprimem ao fluido um escoamento axial, que é menos agressivo para a mistura. Isso explica os maiores valores de índices de turbidez apresentados quando se utiliza esses agitadores.

CONCLUSÕES

O tratamento de efluentes se mostra eficiente e cria condições de despejo a corpos hídricos sem alteração de sua qualidade e também o reuso da água dentro da própria indústria. Os reagentes e métodos utilizados neste tratamento influenciaram na qualidade final do efluente, e foram estudados considerando a viabilidade técnica e econômica.

As velocidades de agitação foram avaliadas na primeira etapa deste trabalho e percebeu-se que as menores velocidades (15 RPM para coagulação e 15 RPM para floculação), combinadas com o polieletrólito aniônico, forneceram os melhores resultados, no que diz respeito aos menores índices de turbidez e menor volume de lodo formado.

Na segunda etapa deste trabalho, a influência de cinco diferentes formatos de agitadores foram avaliados sobre o tratamento, e observou-se que os agitadores padrão e do tipo âncora se mostraram mais eficientes, pois forneceram os menores valores de índices de turbidez. Além disso, os agitadores impulsor de parafuso e hélice apresentaram os maiores valores de índices de turbidez, demonstrando que não são indicados para este tipo tratamento e de efluente. Notou-se também que as menores concentrações de polieletrólito adicionadas forneceram os menores valores de índice de turbidez.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹JOHNS, M. R. "Developments in wastewater treatment in the meat processing industry: a review, *Bioresource Technology* 54,203-216, 1995.

²CETESB; Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Nova técnica sobre tecnologia de controle – Indústria Têxtil – NT -22. São Paulo, 1992, 31p.

³BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. Manual de Tratamento de Águas Residuária, São Paulo: CETESB, p-764, 1993.

⁴MENEZES, J. C. S. S.; Tratamento e Reciclagem de um efluente de lavanderia industrial Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRS, Porto Alegre, 2005

⁵SPERLING, M. V.; Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 3ª Edição. <http://pt.scribd.com/doc/52580053/TRATAMENTO-E-CONTROLE-DE-EFLUENTES-INDUSTRIAIS>, acessado em 06.01.12, 10h.

⁶LEME, F.P.; Engenharia do saneamento ambiental. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1984

⁷<http://pt.scribd.com/doc/61163899/Agitacao-e-Mistura-de-Fluidos>, acessado em 20.01.12, 17h.

⁸BATTAGLINI, N. M. P. Avaliação do Comportamento de Impelidores Especiais em Misturas de Fluidos. Botucatu. 1998. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agrônomicas – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".