

II-036 INVESTIGAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DO SURFACTANTE NA ÁGUA DE INJEÇÃO À DIFERENTES PRESSÕES NA FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO DO EFLUENTE DE LAVANDERIA INDUSTRIAL

Camille Nunes Leite

Graduando de Química Industrial pela Universidade Federal de Uberlândia. Aluna de Iniciação Científica pelo Laboratório de Armazenamento de Energia e Tratamento de Efluente (LAETE/UFU).

Raphael Gomes Cardoso

Graduando em Químico Industrial pela Universidade Federal de Uberlândia. Aluno de Iniciação Científica pelo Laboratório de Armazenamento de Energia e Tratamento de Efluente (LAETE/UFU).

Sheila Cristina Canobre

Professora Doutora do Instituto de Química/UFU.

Laboratório de Armazenamento de Energia e Tratamento de Efluente (LAETE/UFU)

Fábio Augusto do Amaral

Professor Doutor do Instituto de Química/UFU.

Laboratório de Armazenamento de Energia e Tratamento de Efluente (LAETE/UFU)

José Pedro Thompson Jr.

Químico Industrial e Especialista em Gestão Ambiental pela Universidade São Francisco, Mestre em Química pela Universidade Federal de Uberlândia e Professor na Universidade São Francisco.

Endereço: LAETE- Laboratório de Armazenamento de Energia e Tratamento de Efluente

Instituto de Química – Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1D, Campus Santa Mônica, Bairro Santa Mônica - Uberlândia – MG - CEP: 38408-100 – Brasil – Tel: (34) 3239-4143- R203
e-mail: fabioamaral@yahoo.com.br

RESUMO

O efluente gerado por Lavanderias Industriais representa uma classe de efluente de difícil tratamento, fazendo necessário estudo e tratamento específico para descarte adequado na via pública. O presente trabalho visou o método de separação sólido-líquido via flotação por ar dissolvido de efluente com a utilização de coagulante inorgânico ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e floculação por polieletrólito catiônico substituindo os coagulante/floculante citados por substitutos, investigando as condições de pressão na câmara de saturação no processo de Flotação por Ar Dissolvido. Os ensaios foram conduzidos em *Jar Test*, com alcalinização prévia por NaOH 10% (m/V) até pH de 9,0 com gradiente de velocidade de 250 s^{-1} , seguido por coagulação com tanino classe SL 10% (V/V) até pH 4,0 com gradiente de velocidade de 47 s^{-1} e uma alcalinização por $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 10% (m/V) até pH 9,5 com gradiente de velocidade de 47 s^{-1} e a adição de polieletrólito aniônico 10 % (m/V) a 18 s^{-1} . A separação do sólido-líquido ocorreu via Flotação por Ar Dissolvido com adição de 10, 15 e 20 ppm de surfactante (dodecil sulfato de sódio) adicionado na câmara de saturação, posteriormente pressurizada por 20 minutos em três pressões de saturação distintas (3,5; 4,0 e $4,5 \text{ kgf cm}^{-2}$). A injeção da H_2O saturada ao efluente aconteceu em três razões volumétricas (8,75; 17 e 35% água saturada/efluente). Os parâmetros avaliados foram Remoção de Turbidez, Volume de Lodo Flotado e Sedimentação após 30 minutos de repouso (RS30). As menores pressões (3,5 e $4,0 \text{ Kgf cm}^{-2}$) e menores concentrações (10 e 15 ppm) de surfactante possibilitaram maior remoção na turbidez (acima de 70%) assim como volume de lodo mais compacto (50-100 mL de lodo/L efluente), principalmente a pressão de $4,0 \text{ kgf cm}^{-2}$ na presença de 15 ppm de surfactante, o que representa vantagem à utilização de dito processo no tratamento desse efluente em escala comercial.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente de lavanderia industrial, FAD, Coagulante Tanino.

INTRODUÇÃO

As alterações significativas ocorridas ao meio ambiente, apoiadas no estilo de vida e desenvolvimento econômico atual, têm relação direta nas atividades humanas, influenciando e alterando a disponibilidade de uma série de recursos, principalmente os hídricos. A água, elemento de suma importância e que vêm despertando preocupações até então inexistentes, tem-se tornado um recurso escasso e com qualidade comprometida ao longo das crescentes agressões propiciadas pelo desenvolvimento urbano e industrial, como

resultado do contínuo desmatamento, dos processos de erosão/assoreamento dos mananciais superficiais e do lançamento de efluentes e detritos industriais e domésticos nos recursos hídricos de forma nada consciente, agravando ainda mais a problemática já existente. Em países em desenvolvimento como o Brasil, a falta de políticas públicas e fiscalização regular acarreta no comprometimento da qualidade e quantidade de abastecimento em serviço a população, resultando em um quadro de barbárie que só poderá ser reprimida com auxílio de novos métodos de tratamento que visem à utilização de componentes que não agredam o meio ambiente e que apresentem um custo menor.

Com base na geração e lançamento de efluentes e detritos industriais, este trabalho apresenta uma proposta de tratamento físico químico baseado na utilização de coagulante Tanino para o efluente gerado por uma lavanderia industrial com unidades localizadas na cidade de Arujá, interior de São Paulo e Belo Horizonte, Minas Gerais. Além da prestação de serviço à empresas, esta lavanderia também efetua lavagens de EPIs, roupas de hospitais, hotéis e gestão de uniformes profissionais, o qual à necessidade do emprego de várias etapas de lavagem, tais como: amaciamentos, desbotamentos, lavagens, estonagens e desengomagens (Menezes, 2005). A vasta quantidade de operações que está vinculada ao processo de lavagem justifica a dificuldade de se tratar tal efluente, pelo fato de uniformes de empresas, cujo tecido é mais resistente e possuem contaminantes mais agressivos, os reagentes empregados muitas vezes são diversificados, apresentando um efluente final diferente ao encerramento de cada lavagem (Melo, 2000). As operações empregadas pelas duas unidades de lavanderia industrial em estudo se baseiam nas “águas de lavagem”, nesse processo ocorre à adição de detergentes e outras substâncias dentro do cilindro de lavagem que, após o término dessa etapa emprega várias águas de lavagem para a remoção dos componentes de limpeza utilizados.

A Flotação por Ar Dissolvido é um processo no qual bolhas de ar produzidas pela pressurização de uma corrente aquosa saturada acima da pressão atmosférica são injetadas ao efluente subindo sob fluxo laminar arrastando partículas sólidas para a parte superior do recipiente. Seu emprego vem ganhando espaço na área de Saneamento Ambiental, por acarretar em: possibilidade de arraste, pelas microbolhas de gás, de parcela de substâncias voláteis porventura presentes na água, possibilidade de oxidação de íons metálicos dissolvidos na água, produção de lodo com elevado teor de sólidos na superfície do flotor e constitui um processo de alta taxa, resultando em unidades compactas e versáteis, que possibilitam bom nível de controle operacional através do monitoramento da quantidade de ar fornecido ao processo (Realli e Campos, 1993). No entanto, estudos em torno da aplicação da FAD a efluentes de diferentes classes ainda são necessários.

Alguns estudos em torno na melhoria das condições e estabilidade das microbolhas formadas na FAD tem sido estudadas (Oliveira, 2011; Rodrigues e Rubio, 2007; Bondelind *et. al.* 2013). Uma dessas vertentes de estudo é a aplicação de surfactante na água de injeção da flotação para melhoria da dinâmica de captura bolha-partícula (Martinz, 2009).

De modo geral, o aprimoramento de técnicas e metodologias de tratamento de efluente industrial de modo a reduzir os impactos ambientais e que atendam os padrões legislativos de lançamento em corpos receptores, sobretudo, a busca pelo reaproveitamento da água em ciclo constante será a condição ideal para a racionalização do consumo de água de uma lavanderia industrial, foco nesse trabalho.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos em testes de jarro (*Jar Test*) segundo o fluxograma descrito na Figura 1. O efluente em estudo provém do processo de lavagem de uma lavanderia industrial com unidades localizadas na cidade de Arujá, interior de São Paulo e Belo Horizonte, Minas Gerais. Além da prestação de serviço à empresas, esta lavanderia também efetua lavagens de EPIs, roupas de hospitais, hotéis e gestão de uniformes profissionais. As características físico-químicas gerais desse efluente foram: elevada concentração de sólidos suspensos, cor rosa opaca, pH ácido (em torno de 1,75-3,50), turbidez elevada (828-1001 NTU).

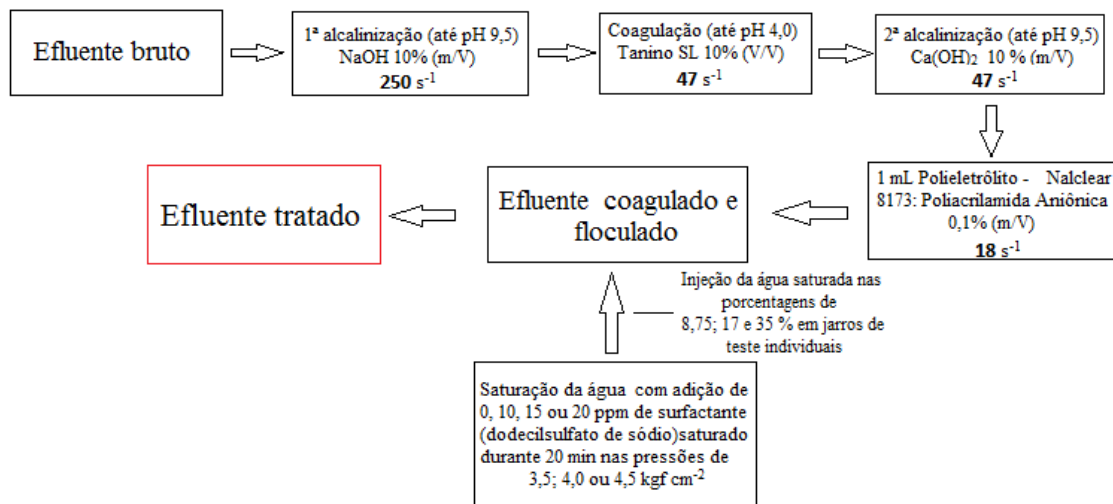
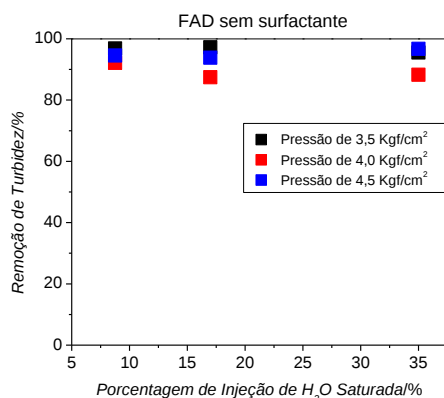


Figura 1-Fluxograma das etapas do tratamento conduzida em Jar Test com o efluente bruto originário de uma lavanderia industrial.

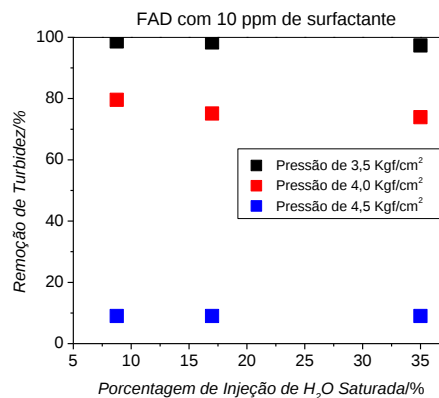
A variação desses parâmetros teve como objetivo conhecer a condição mais favorável para formação de microbolhas eficientes que resultassem: em elevada remoção de turbidez, volume compacto de lodo e estabilidade elevada do lodo flotado frente a sedimentação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de conhecer a contribuição da adição de surfactante na separação sólido-líquido via flotação por ar dissolvido aplicada a efluente industrial, foram investigadas quatro concentrações (0; 10; 15 ou 20 ppm) de surfactante dodecil sulfato de sódio, saturado juntamente com a água a ser injetada, empregando três diferentes pressões (3,5; 4,0 ou 4,5 Kgf cm⁻²) de saturação e três vazões (8,75; 17 ou 35% água saturada/L efluente) de H₂O saturada, tendo como parâmetro de análise inicial a remoção de turbidez.



a)



b)

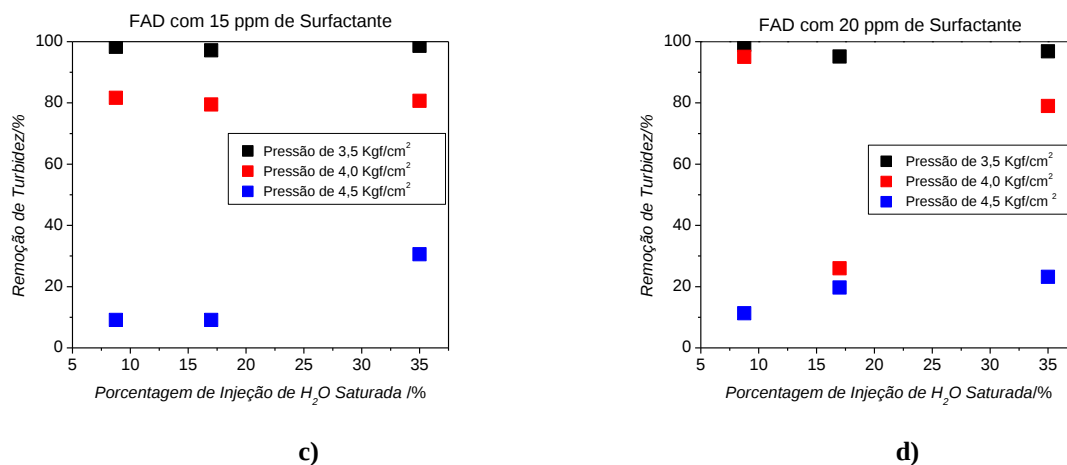


Figura 2- Variação da porcentagem de água saturada injetada ao efluente em função da variação da remoção de turbidez na FAD aplicada a diferentes pressões de saturação a) na ausência de surfactante, b) na presença de 10 ppm, c) na presença de 15 ppm e d) na presença de 20 ppm de dodecil sulfato de sódio.

De modo geral, para todas as pressões de saturação e injeção da H₂O ocorreu remoção significativa de turbidez (acima de 70 %), indicando que a formação de micro-bolhas nas condições testadas favoreceu o arraste dos flocos para a superfície superior do jarro. No entanto, para a pressurização da câmara de 3,5 Kgf cm⁻² verificou-se que, para todas as porcentagens de injeção de água em relação ao volume de efluente tratado, as remoções foram demasiadamente maiores que nos demais casos (com ou sem surfactante), seguida da pressão de 4,0 Kgf cm⁻² e por último 4,5 Kgf cm⁻², levando a concluir que ao chegar em 4,0 Kgf cm⁻² a separação via FAD atinge sua eficiência máxima, passando a decrescer os valores de remoção com o aumento da pressão de saturação. A variação da porcentagem de injeção da água saturada não apresentou diferença significativa na remoção. Logo, o uso da proporção de 8,75% de água injetada em relação ao efluente tratado é a mais recomendada em termos econômicos e ecológico.

Como descrito na literatura, a pressões superiores à atmosférica (3-6 atm ou 3,10-6,20 Kgf cm⁻²) ocorre a formação de bolhas da ordem de 30-100 µm de diâmetro (Bratby e Morais, 1977). Com menores pressões de saturação da H₂O ocorreu a formação de bolhas maiores e mais estáveis que, ao serem injetadas no efluente previamente coagulado e floculado, arrastaram um número maior da massa orgânica aglomerada. Esse maior arraste e consequente remoção, pode ter sido o resultado de uma melhor captura entre a bolha e o floco, resultando em um deslocamento deste para a superfície, baseado no fato da bolha possuir um tamanho maior e densidade menor se comparado à partícula a ela aderida, ocorrendo, portanto a formação de *aeroflocs*, agregados de matéria orgânica e bolhas de ar de elevada velocidade de ascensão. No entanto, a origem e causa da formação desses agregados ainda não são completamente explicados, embora existam algumas hipóteses de mecanismos envolvidos como, por exemplo, precipitação do polímero na interface líquido/ar, efeito *salting out* das cadeias poliméricas, fenômeno de nucleação, crescimento e coalescência de bolhas de ar aderidas e/ou aprisionadas nas estruturas dos flocos e/ou interações entre polímeros e bolhas de ar (Oliveira, Rodrigues e Rubio, 2011). Dentro desse contexto, considerou-se que estes mecanismos podem ter ocorrido nas condições de turbulência do tratamento, proporcionando a mistura completa das bolhas de ar, polímeros e partículas em suspensão. Nesse caso, a Flotação por Ar Dissolvido forneceu a turbulência necessária para a formação desses agregados.

A presença de surfactante tornou mais evidente as diferenças nas remoções, no entanto quando aplicada a concentração de surfactante de 20 ppm sua contribuição na remoção diminuiu, sugerindo que o aumento da concentração do surfactante promoveu uma diminuição na tensão superficial até atingir a concentração micelar crítica (CMC). Após a CMC ter sido atingida; como pode ter sido o caso da concentração de 20 ppm, as micelas ficaram dispersas em toda a solução, não apresentando efeito aparente na tensão superficial da água e desfavorecendo a remoção da turbidez (Menezes, 2005).

VOLUME DE LODO FLOTADO

Com intuito de analisar o efeito da adição de surfactante como auxiliar na flotação por ar dissolvido, os volumes de lodo flotado por litro de efluente tratado (mL de lodo/L de efluente) foram mensurados, tendo como variantes do tratamento a porcentagem de injeção de H₂O saturada nos valores de 8,75; 17,5 e 35 % com as concentrações de surfactante (0, 10, 15 ou 20 ppm) adicionado e saturado juntamente com a água posteriormente adicionada.

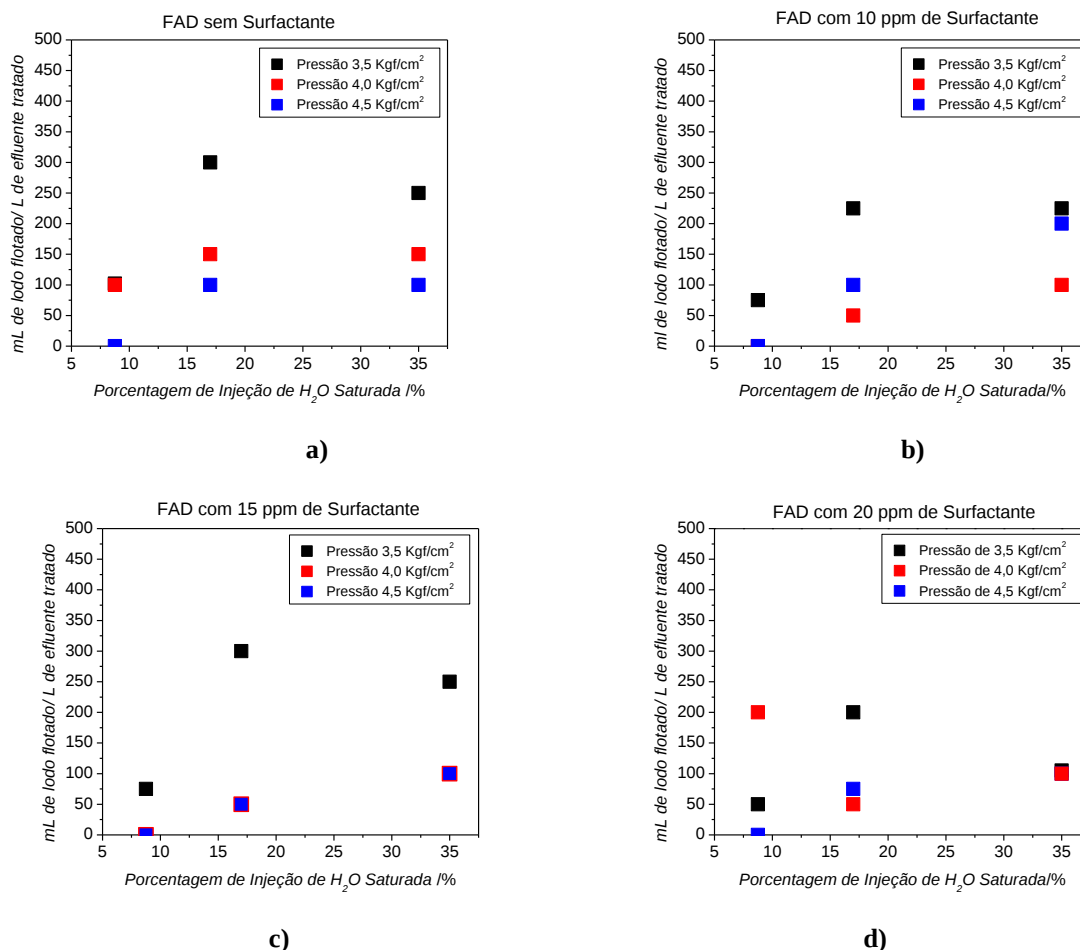


Figura 3- Variação da porcentagem de água saturada injetada ao efluente em função da variação de lodo flotado por litro de efluente tratado depois de aplicada a FAD em diferentes pressões de saturação e a) na ausência de surfactante, b) na presença de 10 ppm, c) na presença de 15 ppm e d) na presença de 20 ppm de dodecil sulfato de sódio.

Para todas as pressões de saturação da H₂O corresponderam volumes significativos de lodo flotado (300 mL) característico de efluente com elevada concentração de sólidos suspensos, no entanto quando aplicada a pressão de saturação de 3,5 Kgf cm⁻² esses volumes foram bem maiores que as outras duas pressões (4,0 e 4,5 Kgf cm⁻²). A injeção de porcentagens menores de H₂O saturada gerou volumes menores de lodo em todas as situações testadas, o que levando em conta o espaço físico de uma estação de tratamento remete a vantagens na aplicação da metodologia de separação sólido-líquido via FAD, uma vez que o mesmo não exige tanques de sedimentação.

A adição de surfactante promoveu uma **formação mais compacta de lodo** em todas as condições de pressão e injeção testadas, justificando os volumes menores observados, sugerindo que o processo de formação de micro bolhas aliadas ao surfactante levou a maior aderência destas aos flocos. O surfactante pode ter então contribuído para reduzir o trabalho necessário no arraste das moléculas até a superfície do jarro, favorecendo a separação sólido-líquido (Maniasso, 2001). Além disso, esse lodo mais compacto torna viável a aplicação da

FAD em efluentes com elevada concentração de sólidos suspensos; como é o caso do efluente de lavanderia industrial; apresentando vantagens em torno de ganho de espaço físico e agilidade na realização do tratamento.

SEDIMENTAÇÃO APÓS 30 MINUTOS DE REPOUSO (RS30)

Com objetivo de estudar a estabilidade das bolhas geradas na flotação frente a sedimentação, foram realizados testes de razão de sedimentabilidade em um período de tempo de 30 minutos em cone Inhoff[®], tendo como variantes do tratamento a porcentagem de injeção de H₂O saturada nos valores de 8,75; 17 e 35 % com as concentrações de surfactante (0, 10, 15 e 20 ppm) adicionado e saturado juntamente com a água posteriormente adicionada.

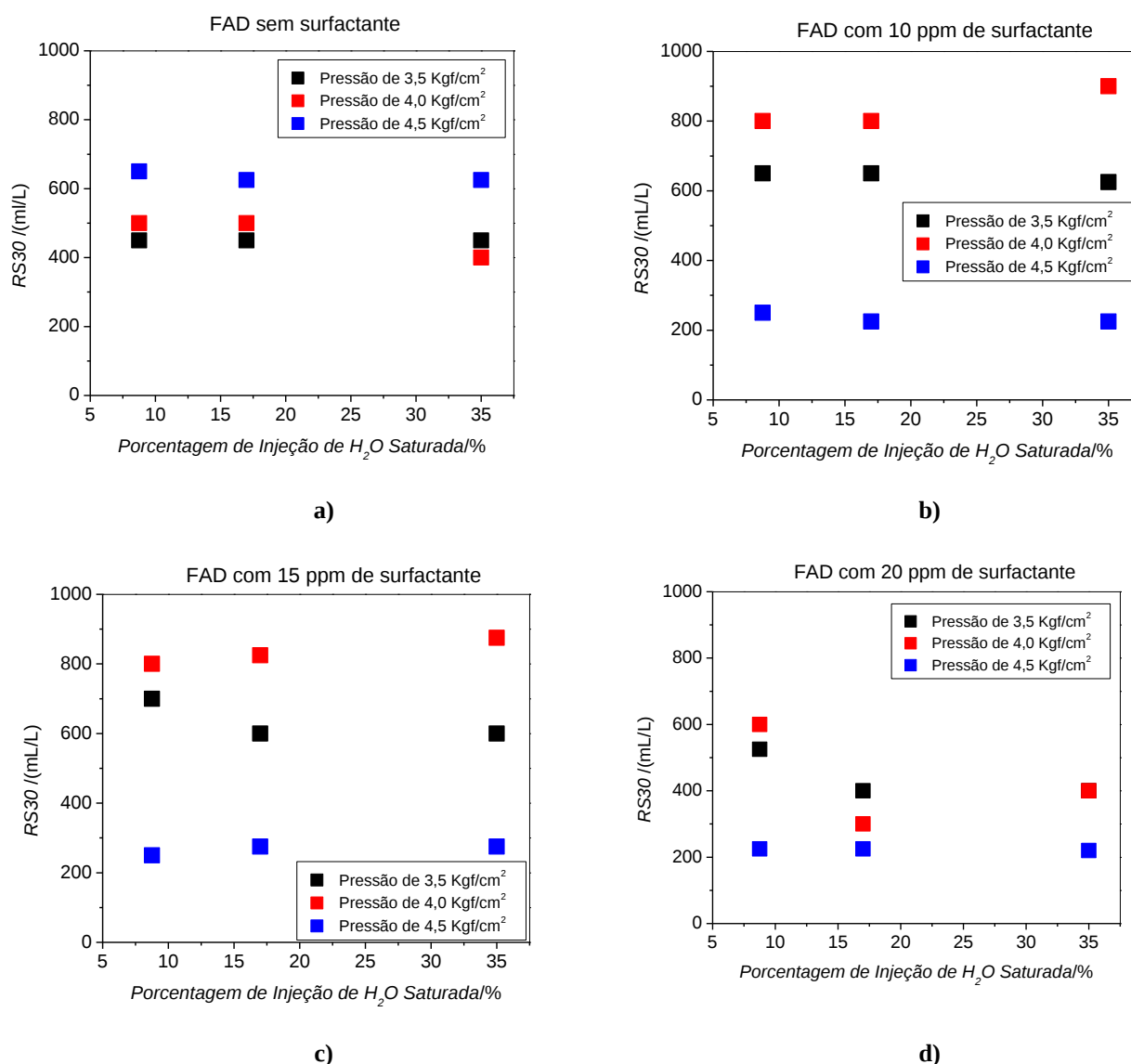


Figura 4- Variação da proporção de água saturada injetada ao efluente em função da variação de lodo sedimentado após 30 minutos por litro de efluente tratado depois de aplicada a FAD em diferentes pressões de saturação e a) sem, b) com 10 ppm, c) com 15 ppm e d) com 20 ppm de surfactante .

Em vias gerais, as pressões de saturação menores investigadas neste trabalho (3,5 e 4,0 Kg/cm²) apresentaram os maiores volumes de lodo sedimentado (450-650 mL de lodo/L de efluente), sugerindo que a estabilidade

das bolhas nessas condições não foram favoráveis. Quanto à variação de injeção da H_2O , quase não ocorreu diferença considerável no volume. Logo, em termo de custos, optar por volumes menores no tratamento são possíveis e indicados.

Conforme a adição de surfactante foi realizada, os tratamentos aos quais ocorreu o emprego de pressões maiores ($4,0$ e $4,5 \text{ Kg f cm}^{-2}$) apresentaram volume de lodo menor frente a sedimentação, indicando a maior estabilidade da captura bolha-partícula nessas condições. Quanto a concentração de surfactante, a adição de 20 ppm de dodecil sulfato de sódio gerou os menores volumes de lodo sedimentado ($200\text{-}600 \text{ mL/L}$), sugerindo que concentrações maiores ocorre o aumento da estabilidade no complexo bolha-partícula diminuindo o volume e a ocorrência de sedimentação.

A presença de surfactante em concentrações mais elevadas embora não tenha favorecido a remoção de turbidez como apresentado por Thompson (2013) (contribuindo na qualidade das microbolhas produzidas), favoreceu o empacotamento do lodo final como indicado pelo mesmo, o que em vias gerais é extremamente favorável para aplicação em larga escala.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Com as diversas situações testadas para aplicação da FAD, pressões menores de saturação apresentaram maior remoção de Turbidez, principalmente a pressão de $3,5 \text{ Kg f cm}^{-2}$ com a presença ou não de surfactante. Concentrações da ordem de 10 e 15 ppm de surfactante favoreceram o processo de separação sólido-líquido via FAD na redução do trabalho necessário no arraste dos flocos. O volume de lodo flotado e decantado confirmaram essa contribuição do surfactante, apresentando volume mais compacto de lodo sedimentado (na presença de 20 ppm) que o esperado (em torno de 500 mL). Quanto à porcentagem de injeção da água saturada, diferenças significativas não foram observadas. Logo, o uso de volumes menores (nesse caso $8,75\%$ ou 17%) de água saturada são os mais indicados.

De modo geral, a aplicação da Flotação por Ar Dissolvido com adição de surfactante se mostrou eficiente para separação sólido-líquido do lodo formado no tratamento do efluente gerado por uma Lavanderia Industrial em suas duas unidades analisadas. Efluente este, que devido as suas propriedades físico-químicas remete ao tratamento convencional (sedimentação) e que no presente trabalho foi objetivada uma nova via de tratamento pouco difundida para essa classe de efluente, a flotação por ar dissolvido.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG pelo financiamento do projeto-EXA039 e do projeto APQ 2279, ao laboratório FECiv-UFU; pela utilização do espaço físico; e a Universidade Federal de Uberlândia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONDELING, M.; SASIC, S. & BERGDAHL, L. **A model to estimate the size of aggregates formed in a Dissolved Air Flotation unit**. Elsevier Science BV, 2013.

BRATBY, J., MARAIS, G.V.R., **Solid/Liquid Separation Equipment Scale-Up**. Flotation. In: Purchas, D.B. (Ed.), Upland Press, 1977. pp. 155–168.

MANIASSO, N. **Ambientes Micelares em Química Analítica**. Química Nova, V. 24, N. 1, 2001. p 87-93.

MARTINS, A. L. S. **Remoção de Chumbo e Bário de um efluente aquoso via flotação por ar dissolvido**. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.

MENEZES, J. C. S. **Tratamento e Reciclagem do Efluente de uma Lavanderia Industrial**. Tese: Especialização em Tecnologia Mineral e Metalurgia Extrativa. Porto Alegre, RS. 2005. pp 20.

OLIVEIRA, C; RODRIGUES, J. R; RUBIO, J. **Processo de floculação-flotação: desenvolvimento de técnicas de flocos aerados e sistemas multifásicos (CFA)**. XXIV ENTMME-2011, Salvador/Bahia. pp 4.

REALI, M.A.P.; CAMPOS, J.R. (1993). **Proposição e avaliação de um sistema compacto para tratamentode água utilizando o processo de flotação por ar dissolvido e filtração com taxa declinante**.



XII SIBESA
XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental
2014



17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19 a 23 de setembro de 1993, Natal - RN. Anais, Rio de Janeiro: ABES, 1993 - V. 2 - T. II, pp. 243-264.

RODRIGUES, R. T.; RUBIO, J. **DAF-dissolved air flotation: Potencial applications in the mining and processing industry**. Elsevier, International Journal of Mineral Processing, v 82, 1-13, 2007.

THOMPSON JUNIOR, P.; AMARAL, F. A.; CANOBRE, S. C. **Investigação da Flotação por Ar Dissolvido no Tratamento de Efluente de Lavanderia Industrial Utilizando Coagulante de Fonte Renovável Tanino**, Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2013.