II-216 - DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE VOLUMÉTRICO (PADRÃO DILUÍDO) COMO CONTROLE PARA O ESTABELESCIMENTO DO PROCESSO DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA INDUSTRIAL

Ariane Silveira Sbrice Pinto[(1)]
Discente do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia.
José Pedro Thompson Jr.
Mestrando do Programa de Pós Graduação em Química/ UFU
Talita Ferreira de Rezende Costa
Mestranda do curso 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: **ariane_sbrice@hotmail.com.**

RESUMO

A partir do desenvolvimento industrial surgiu a cultura de massa, ou seja, a produção e o consumo em larga escala. Em consequência, a exploração exacerbada dos recursos naturais e a poluição do meio ambiente se agravaram. A lavanderia industrial é uma parcela significativa das empresas que se preocupam com o tratamento de seus efluentes a fim de minimizar a poluição ambiental. O maior obstáculo enfrentado por essas indústrias é a falta de espaço físico para ampliar as suas instalações de tratamento, visto que estas estão instaladas em grandes centros urbanos. Este projeto foi desenvolvido para verificar a viabilidade da substituição do processo de decantação pela flotação por ar dissolvido, visto que este possui uma planta de instalação mais compacta. A caracterização inicial do efluente foi realizada a partir da análise do pH e índice de turbidez do efluente bruto. O tratamento da água residuária foi escolhido baseado em experimentos prévios e realizado em testes de jarro (*Jar Test*) com seis ensaios simultâneos, utilizando-se Tanino (classe SL) puro e consorciado com o Aluminato de Sódio em proporções diferentes a fim de que ocorresse o processo de coagulação. Em seguida foram retiradas alíquotas de 100 mL e realizou-se a decantação do lodo. O Índice Volumétrico de Lodo (IVL) foi analisado pelo método tradicional a fim de avaliar a quantidade de sólidos suspensos no efluente de lavanderia industrial. Determinou-se pelo IVL que o lodo mais compacto foi obtido através do tratamento físico químico que utiliza o tanino consorciado ao aluminato de sódio na proporção 3:1. Em trabalhos futuros, pretende-se determinar qual é a quantidade máxima de sólidos suspensos que pode estar presente no efluente para que a FAD[6] seja viável, além de obter uma maneira mais rápida para a determinação dos sólidos suspensos presentes na água residuária.

PALAVRAS-CHAVE: Índice Volumétrico de Lodo, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos, Flotação a Ar Dissolvido, Tratamento Físico Químico, Efluente de Lavanderias Industriais.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento científico e tecnológico na área industrial apresenta um quadro caracterizado por um volume crescente de atividades com ênfase na formação de recursos humanos, otimização dos processos existentes e a busca de novas tecnologias. A atividade industrial adquiriu um caráter essencial na sociedade contemporânea, apesar de ser a responsável pelo fenômeno de contaminação ambiental. Ao longo das décadas, a indústria tem produzido rejeitos gasosos, líquidos e sólidos nocivos ao meio ambiente.

Os processos existentes para o controle dos impactos ambientais são diversos e com eficiências variadas. Entretanto, os desafios trazidos pelos problemas relativos à poluição são cada vez maiores, tornando necessária a cooperação mútua entre as instituições envolvidas nesta questão.

Os efluentes das lavanderias industriais representam uma parcela considerável destes efluentes, principalmente pelo descarte dos resíduos gerados pela lavagem de uniformes, jalecos etc..

Os sistemas de tratamento de efluentes são baseados na transformação dos poluentes dissolvidos e em suspensão em gases inertes e ou sólidos sedimentáveis para posterior separação das fases sólida/ líquida. Sendo assim se não houver a formação de gases inertes ou lodo estável, não podemos considerar que houve tratamento.

O processo de tratamento do efluente oriundo da lavanderia industrial inicia-se com a equalização e neutralização da superfície carregada eletricamente do efluente para que as operações de coagulação, floculação e flotação ocorram. A presença de cargas elétricas aumenta a repulsão entre as partículas, dificultando a aglomeração e a formação de agregados maiores e de mais fácil sedimentação. O processo de neutralização consiste na eliminação dessas cargas eletrostáticas superficiais, ou seja, na diminuição do potencial Zeta, também chamado de potencial de carga nula. O tratamento químico é requisito essencial para a alta eficiência da flotação por ar dissolvido, as cargas elétricas das partículas e das bolhas são fatores importantes na flotação por ar dissolvido (FAD)[1].

A etapa posterior consiste adição de agentes coagulantes, dos quais se destacam o Aluminato de Sódio, o Policloreto de Alumínio (PAC), não biodegradáveis e possuem custo acessível e os Taninos (TANFLOC SG, TANFLOC SL e TANFLOC SS), que apesar de apresentarem alto custo, destacam-se por serem biodegradáveis. Após esta etapa realiza-se a floculação, 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, aumentando sua massa. Os polieletrólitos são polímeros sintéticos, geralmente de alto peso molecular, que atuam como auxiliares de sedimentação, estes podem ser classificados em aniônicos, catiônicos e não-iônicos.

As lavanderias industriais apresentaram grande crescimento nas últimas décadas, mas por estarem localizadas no interior de grandes centros urbanos, ficaram numa situação desprivilegiada, o que prejudicou demasiadamente o aumento de suas instalações para atender a demanda de clientes, levando-se em conta que a estrutura do processo de sedimentação por decantação ocupa uma grande área construída. Surge então, a necessidade eminente de substituir esse procedimento por outra técnica que satisfaça essa limitação de espaço[2].

O processo de flotação por ar dissolvido foi a alternativa escolhida neste trabalho e para testar a sua eficiência realizou-se o tratamento do efluente de forma 'idêntica' partindo para testes comparativos na separação do lodo formado pelo processo de decantação e flotação a ar dissolvido. As aplicações da flotação aumentam em varias áreas da Engenharia (Química, Mineração, Ambiental) em função de uma série de vantagens entre as quais a existência de novos equipamentos e técnicas. A combinação de técnicas de flotação com as tradicionais técnicas de tratamento de efluentes têm permitido um aumento na capacidade dos equipamentos, acompanhado de aumento de eficiência[3].

A FAD é uma operação utilizada para separar partículas líquidas ou sólidas da fase líquida. O método por flotação de maior aplicação no setor de saneamento e tratamento de águas é a flotação a ar dissolvido (FAD) que utiliza bolhas de dimensões micrométricas (30 - 100 µm), possibilitando a remoção de partículas ultrafinas (< 5 µm). Comparativamente à FAD, sistemas em coluna e *jet*, que operam com bolhas maiores e removem particulados de maior tamanho, são ainda pouco utilizados tratamento de águas e efluentes[4].

A aplicabilidade da FAD depende da quantidade de sólidos suspensos presentes na água residuária a ser tratada e da característica do lodo formado pelo tratamento físico químico. Para cada agente coagulante utilizado forma-se um lodo diferente, então é interessante testar tratamentos diferentes para o efluente oriundo da lavanderia industrial a fim de encontrar um tratamento que seja se mostre viável para a FAD. A utilização da técnica de determinação do IVL tradicional é um teste de fácil aplicação para verificar se

a quantidade de sólidos solúveis no efluente prejudica ou não o processo de sedimentação do lodo. A partir destes resultados e de ensaios de bancada para a FAD, pode-se estimar a quantidade crítica de sólidos suspensos totais que pode estar presente no efluente a fim de que ocorra uma flotação eficiente do lodo formado.

OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo principal a investigação de uma metodologia alternativa para a determinação do tipo de tratamento físico químico do efluente de uma lavanderia industrial, com a avaliação da concentração de sólidos suspensos por ensaios de índice volumétrico de lodo pelo método tradicional. Foi investigada a razão entre a concentração de sólidos suspensos para diferentes tratamentos físico-químicos com o intuito de determinar qual rota proporciona o lodo mais apropriado para o processo de flotação por ar dissolvido.

METODOLOGIA

- **Condicionamento das Amostras**

  Para a caracterização e tratamento dos efluentes foram realizadas coletas de amostras diretamente do tanque de equalização da estação de tratamento de efluentes, seguindo as quantidades e frequências da Tabela 1.

Tabela 1: Cronograma de coletas de amostras dos efluentes brutos das lavanderias Alsco Toalheiros do Brasil Ltda.

Horário das Coletas	Arujá - SP	Belo Horizonte - MG
	Volume (mL)	Volume (mL)
06 h	875	875
09 h	875	875
12 h	875	875
15 h	875	875
18 h	875	875
21 h	875	875
0 h	875	875
03 h	875	875
	7.000 mL / dia	7.000 mL / dia

- **Acidulação e Remoção de Óleos e Graxas**

  A acidulação para remoção de óleos e graxas, foi realizada com aplicação de H_2SO_4;

- **Definição dos Alcalinizantes**

  Nesta etapa foram efetuados os testes de dosagens de alguns reagentes alcalinos, tais como: $Ca(OH)_2$, NaOH ou CaO_2, todos a 10%;

- **Emprego de Coagulantes**

  Além do Sulfato de Alumínio e Aluminato de Sódio, foi utilizado como base de estudo o coagulante orgânico a base de Tanino (classe SL);

- **Floculação:**

  Nessa etapa foram utilizados polieletrólitos (polímeros originários de proteínas e polissacarídeos de natureza sintética, de massas moleculares geralmente muito elevadas) aniônicos, catiônicos e não iônicos.

- **Ensaios de Jarro (Jar Test):**

  O equipamento *Jar Test* foi utilizado para os testes, contendo seis ensaios simultâneos, como mostra a Figura 1.

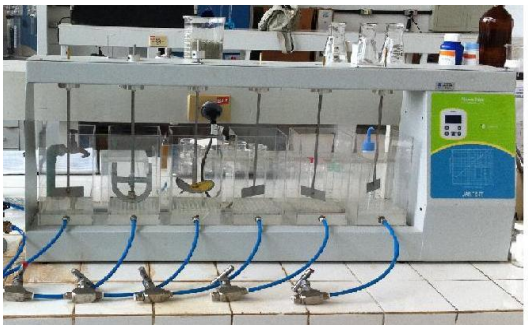


Figura 1: Equipamento de *Jar Test* adaptados para ensaios de flotação.

De maneira geral, para investigação dos alcalinizante, coagulantes e polieletrólitos, foram adotadas também condições otimizadas das concentrações dos reagentes, tempo de agitação, tipo de agitador e pH ideal para cada etapa do processo.[5]

Resumidamente, a Figura 2 apresenta o procedimento experimental desenvolvido para esta metodologia:

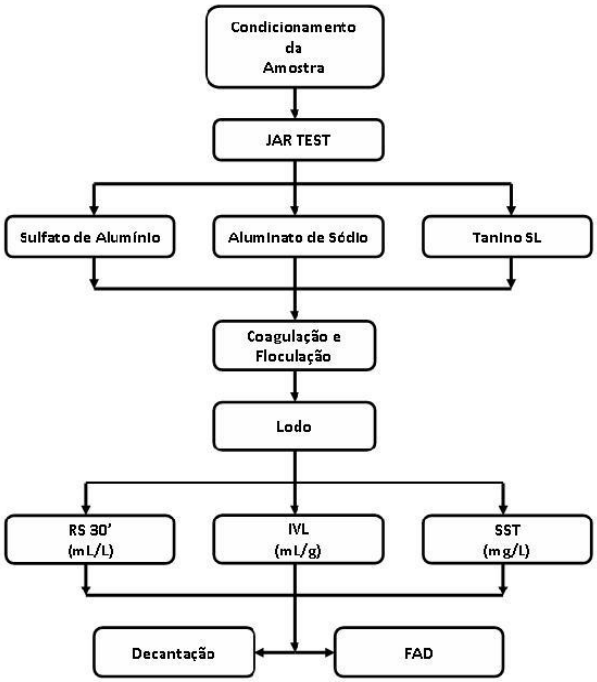


Figura 2: Esquema geral da metodologia adotada neste estudo

- **Determinação do Volume de Lodo**
  Decantação por 30 minutos em uma proveta com capacidade 1000 mL;

- **Determinação do índice volumétrico de lodo (IVL)**
  Também denominado Índice de Mehlman o IVL é por definição o volume em mililitros ocupado por um grama de lodo após 30 minutos de sedimentação. Um lodo com boa sedimentação tem seu índice em torno de 100 mg/L, em geral, e para valores tendendo para 200 mg/L, já apresenta o fenômeno de intumescimento ou *bulking* caracterizado pelo aumento de volume de dificuldade de sedimentação. Neste trabalho, as amostras foram coletadas e transferidas para uma proveta de 1000 mL, ocorrendo a sedimentação por 30 minutos. Após este intervalo de tempo, o volume de lodo foi anotado. Em seguida o IVL foi calculado pela equação 1.

$$Índice\ de\ Lodo\ (mg/L) = V\ /SST$$

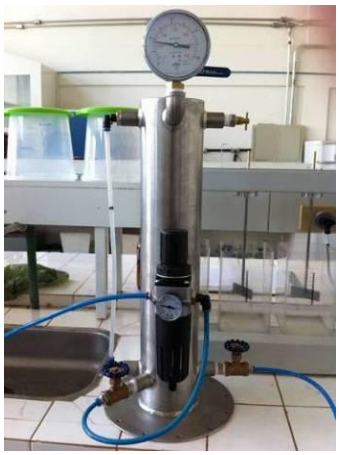
Equação1: Cálculo do IVL(Onde: V = volume de lodo decantado (volume de lodo decantado, em mL/1 L de efluente tratado); SST = Sólidos Totais em Suspensão(g/L), este parâmetro é determinado pela secagem do lodo obtido em uma Mufla durante um período de 24 horas à 104°C).

- **Determinação da Concentração de SST (Sólidos Suspensos Totais) pela centrifugação.**

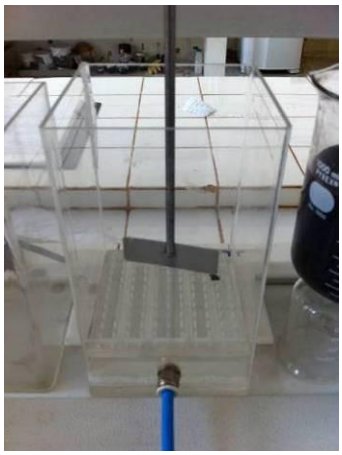
  Os testes de centrifugação foram realizados por 15 minutos, a 3.000 rpm, utilizando-se uma centrífuga Excelsa-Boby-Fanem, modelo 208N, e tubos pyrex número 8.080. Foram utilizados quatro tubos para cada teste, sendo colocados 10 mL de amostra em cada um^3. Decorrido o tempo estipulado o volume de sólidos suspensos foi anotado e este seco para determinar a massa de sólidos da amostra. Este método se mostra mais eficiente em relação ao anterior, visto que toda 'água' que permanece entre o lodo no momento da medida do volume sedimentado é menor do que através da decantação (utilizada no método tradicional de determinação do IVL).

- **Flotação por Ar Dissolvido (FAD):**

  A Figura 3 apresenta o sistema de saturação de água com ar e célula de flotação, desenvolvido e construído para utilização neste estudo.



a)



b)

Figura 3: Fotos ilustrativas do a) Saturador e b) Célula de flotação (Jarros adaptados para injeção de água saturada com microbolhas de ar).

Após a determinação do IVL, ensaios foram realizados para a flotação por ar dissolvido com o intuito de determinar a quantidade máxima de sólidos suspensos que pode estar presente no efluente a fim de que se obtenha uma flotação eficiente do lodo.

O equipamento de bancada utilizados para os experimentos com FAD é composto por uma câmara de pressurização (cap. 6,0 Kgf/cm^2), conjunto motor-agitador dos testes de jarros, jarros em acrílico transparente com dimensões de 115 x 115 mm, cada um com capacidade para 2 L[5].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

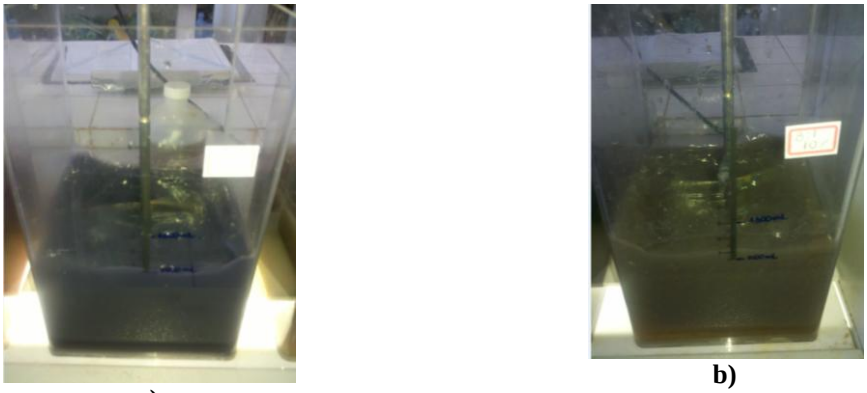
As águas residuais apresentam elevada diversidade de compostos, entre os quais: tensoativos, amaciantes, alvejantes, tinturas, fibras de tecidos, enzimas, gomas e contaminantes diversos. Desta forma, o efluente gerado apresentava carga orgânica, coloração, uma baixa tensão superficial e uma quantidade significativa de sólidos suspensos.
A priori, realizou-se um estudo de caracterização do efluente e uma investigação, em laboratório, das diferentes alternativas de tratamento. Os parâmetros de análise observados na caracterização de 1000 mL de efluente bruto foram, índice de turbidez 1.350 NTU e pH 9,5.

Na primeira etapa do tratamento, adicionou-se H_2SO_4 10% (v/v) até pH próximo a 2,0 para quebra de óleos e graxas que pudessem estar presentes no efluente retirando-se a camada de óleo formada para posterior ajuste de pH com NaOH 10% (m/v) para a faixa ótima de atuação dos agentes coagulantes/ floculantes utilizados neste procedimento (pH ~5,0).

A etapa posterior houve a adição do alcalinizante NaOH, a 10%, sendo o auxiliar de coagulação do trabalho. A função do hidróxido de sódio assemelha-se à dos coagulantes que desestabilizam as cargas de repulsão do efluente facilitando o processo de aproximação das partículas em suspensão. A adição foi feita até que pH estivesse próximo ao da neutralidade (~7,0), para que no final do tratamento a água possa ser descartada ou talvez submetida ao reuso sem ajuste de pH final.

Com o ajuste de pH realizado, foram adicionados Tanino (classe SL) puro e consorciado com o Aluminato de Sódio na proporção 3:1 (15 mL de Tanino SL 10% : 5 mL de Aluminato de Sódio 10%) e Sulfato de Alumínio (10%), afim de que ocorresse o processo de coagulação. Os taninos são compostos fenólicos, de peso molecular suficientemente elevado, contendo um número suficiente de grupos hidróxidos ou outros grupos adequados, de forma a possibilitar a formação de complexos estáveis com proteínas e outras macro-moléculas. Nesta fase, há a redução de forças eletrostáticas de repulsão que mantém as partículas separadas em suspensão, criando condições para que houvesse a união das mesmas resultando na formação dos coágulos.

Posteriormente, o agente floculante (polieletrólito aniônico), foi adicionada à água residuária para que os flóculos fossem formados e, então as hélices do *Jar test* pudessem ser desligadas para o processo de sedimentação ocorresse. A fase de separação do lodo foi realizada a partir de dois métodos distintos: decantação e a flotação por ar dissolvido. A Figura 4 representa a fase final do tratamento.



a) **b)**

Figura 4: Efluente tratado a) com tanino-SL 15%(v/v), b) consorciado ao aluminato de sódio na proporção 3:1, ambos concentrados em 10% em (v/v) e (m/v), respectivamente.

Após o tratamento do efluente bruto alíquotas de 100 mL foram retiradas para a determinação do volume de lodo decantado no tempo de 30 minutos. O efluente foi diluído para que os ensaios fossem realizados, visto que se a concentração da solução for muito grande a sedimentação no fundo do recipiente é prejudicada e falsos positivos podem ocorrer. Decorrido o tempo da sedimentação do lodo, este foi retirado com uma pipeta e levado à estufa para que fosse seco. Em seguida, pesou-se a massa de lodo obtida pelo ensaio executado. Consequentemente, o índice volumétrico de lodo pode ser obtido. O IVL representa o volume em ml ocupado por um grama de sólidos em suspensão (seco), sendo obtido pela divisão do valor de é o volume de lodo que se sedimenta em 30 minutos (mL/L) pela quantidade de sólidos em suspensão (g/L), e é expresso em mL/g; indica qualitativamente os padrões de sedimentabilidade do lodo.

A Figura 5 mostra a fase inicial e final do processo de decantação.

a) **b)**

Figura 5: A imagem ilustrativa mostra o efluente na fase de decantação para os tratamentos com tanino puro (ilustrado à direita da imagem) e consorciado ao aluminato de sódio na proporção 3:1 (v/v) (ilustrado à esquerda da imagem), nesta ordem: a) tempo zero, b) após 30 minutos.

Ao observar as imagens ilustradas na Figura 5, é possível perceber que o tratamento físico-químico que utiliza o Tanino-SL consorciado ao aluminato de sódio como agentes coagulantes proporciona um lodo mais compacto quando comparado ao tratamento com o agente coagulante biodegradável puro.

Os dados obtidos para o índice volumétrico de lodo estão representados na Tabela 2.

Tabela 2: Relação entre o tipo de agente floculante utilizado e o IVL obtido.

AGENTES COAGULANTES (Tanino SL : Aluminato de sódio)	VOLUME DE LODO DECANTADO (mL)	SÓLIDOS TOTAIS NA SUSPENSÃO (g/mL)	IVL (mL/g)
1:0	760	10,926	69,56
3:1	460	19,659	23,40

Os dados representados pela tabela 1 foram obtidos para o tratamento físico químico que utiliza o agente coagulante biodegradável Tanino (Classe SL) em solução 15% puro e consorciado ao aluminato de sódio na proporção 3:1 (v/v), ambos em solução diluída 10%. O IVL foi realizado pela metodologia tradicional.

CONCLUSÕES

Os testes experimentais mostraram que o Tanino-SL gerou flocos mais expansivos, ou seja, com maior dificuldade de sedimentação do que quando consorciado ao Aluminato de Sódio. Como o IVL forneceu valores abaixo de 100 mg/L, ou seja, o lodo não apresenta o fenômeno de *bulking* para nenhum dos dois tratamentos utilizados.

Em trabalhos futuros, pretende-se investigar qual dos tratamentos gera o lodo mais adequado para o processo de FAD a partir de ensaios de bancada e então correlacionar a eficiência da flotação do lodo com os valores de sólidos totais presentes no efluente tratado.
A partir deste resultado espera-se conseguir, através da metodologia apresentada, o desenvolvimento de um procedimento mais prático e eficiente para a determinação do IVL do efluente tratado.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desse trabalho contou com apoio da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG processo APQ 2279), 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 suas plantas instaladas em Arujá, SP e Belo Horizonte, MG).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] RUBIO, J., TESSELE, F. PORCILE, PA e MARINKOVIC, E. Flotación como processo de remoción de contaminantes : Princípios básicos, técnicas y aplicaciones. Minerales, 56, N^{o} 242, pp. 9-18, 2001;

[2] GIORDANO G., D.Sc, Tratamento e controle de efluentes industriais; disponível em http://www.cepuerj.uerj.br/insc_online/itaguai_2011/edital/superior/biologo/Apostila%20%20Tratamento%2e%20efluentes%20industriais.pdf, (consultado em 16/10/2011);

[3] JORDÃO, E. P.; SOBRINHO, P. A.; determinação do índice volumétrico de lodo numa concentração padrão. Apresentado em 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

[4] FÉRIS, L.A., KIPPER, P., TESSELE, F. e RUBIO, J., Remoção de íons de metais pesados por flotação de partículas sorventes. Congresso Brasileiro de Engenharia Química.PUC-RS, 1998;

[5] AISSE, M. M. Avaliação do sistema reator Ralf e Flotação por Ar dissolvido no tratamento de esgoto sanitário disponível em http://www.finep.gov.br/prosab/livros/coletanea2/ART23.pdf (acessado em 20.08.11);

[6] PINTO, A S. S.; AMARAL F. A.; Comparação entre o processo de sedimentação por decantação com flotação por ar dissolvido no tratamento de efluente oriundo de lavanderia industrial. Apresentado no XV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental SILUBESA 2012, Belo Horizonte – MG.

[7] THOMPSON JR., J. P.; AMARAL F. A.; Desenvolvimento de metodologia para o tratamento de efluentes gerados em lavanderias industriais com emprego de coagulantes orgânicos e flotação por ar dissolvido. Apresentado no XV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental SILUBESA 2012, Belo Horizonte – MG.