



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-050 - AVALIAÇÃO DO PROCESSO COMBINADO OZONIZAÇÃO, REATOR AERÓBIO DE LEITO FLUIDIZADO E COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO EM MEIO GRANULAR EXPANDIDO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS ATRAVÉS DE ESTUDOS EM ESCALA PILOTO

Maria Eliza Nagel Hassemer⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/1983. Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC/2000. Pesquisadora em doutoramento do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da UFSC

Maurício Luiz Sens

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/1982. Doutor em Engenharia Ambiental - ENSC de Rennes/França. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Kelli Cristina Grando Alves

Bióloga pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/1996. Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC/2000.

Rejane Helena Ribeiro Costa

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB/1976. Mestre em Hidráulica e Saneamento EESC-USP/1980. Doutora em Tratamento de Água – Instituto Nacional de Ciências Aplicadas – Toulouse/França/1989. Professora Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Luiz Carlos de Melo Filho

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/1990. Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC/1997. Pesquisador em doutoramento do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da UFSC.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campus Universitário - Trindade - Florianópolis - Santa Catarina - Brasil - CEP: 88.049 - 970 Tel/fax: (48) 331- 9029

 maiza@ens.ufsc.br

RESUMO

Atualmente, no Brasil, a maioria das estações de tratamento de efluentes têxteis é formada por uma combinação tradicional de processos, composta por processo convencional biológico aeróbio (geralmente lodos ativados) e processo físico-químico (coagulação-química / floculação / decantação). Alguns problemas envolvem essas estações, principalmente baixa eficiência quanto à remoção de cor e elevada produção de lodo. A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, iniciou, desde 1994, uma série de pesquisas enfocando o tratamento de efluentes têxteis, as quais culminaram num processo de tratamento combinado, formado por pré-tratamento (pré-ozonização), tratamento biológico (reator aeróbio de leito fluidizado trifásico) e tratamento terciário (coagulação-química com floculação em meio granular expandido seguida por decantação). Este trabalho apresenta os principais resultados dos estudos experimentais realizados, em escala piloto, com esse Processo Combinado, o qual apresentou alta eficiência na remoção de cor (96%) e de matéria orgânica (82%), com baixa produção de lodo, demonstrando ser uma boa alternativa para o tratamento de efluentes têxteis, destacando-se também pelo emprego de pouca área e mecanização.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente Têxtil, Floculação, Processo Composto, Ozonização, Reator Aeróbio.

INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, a maioria das estações de tratamento de efluentes têxteis é formada por uma combinação tradicional de processos, composta por processo convencional biológico aeróbio (geralmente lodos ativados) e processo físico-químico (coagulação-química / floculação / decantação). Alguns problemas envolvem essas estações, principalmente baixas eficiência quanto à remoção de cor e elevada produção de lodo.

Em muitos países, legislações ambientais mais severas restringindo o lançamento de despejos industriais vem sendo estabelecidas. Essas legislações, em conjunto com pressões internacionais, a exemplo da introdução do chamado selo verde para produtos têxteis nos mercados da Europa e Estados Unidos, e o aumento da competitividade, estão provocando uma série de mudanças e inovações na geração, tratamento e reuso das águas residuárias da indústria têxtil. Tais mudanças têm impulsionado o surgimento de pesquisas de novas tecnologias de tratamento, algumas das quais, já estão sendo empregadas em escala real (Vandevivere et al. 1998).

A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, acompanhando a tendência mundial no tratamento de efluentes têxteis, e preocupada com o desempenho da indústria têxtil catarinense frente ao mercado internacional, iniciou, desde 1994, uma série de pesquisas que culminaram num processo de tratamento combinado, formado por ozonização, seguida por processo biológico aeróbio com reator de leito fluidizado trifásico e coagulação química com floculação em meio granular expandido seguida por decantação.

O ozônio, devido ao seu alto potencial de oxidação, reage facilmente com a maioria dos corantes atualmente utilizados pela indústria têxtil, entretanto, a ozonização não converte completamente a matéria orgânica em dióxido de carbono (CO_2) e água, necessitando ainda estar associada a um outro processo de tratamento. Por outro lado, a ozonização rompe as moléculas de corantes, que são altamente estruturadas, facilitando assim a degradação dos mesmos em reatores biológicos.

Os reatores biológico de leito fluidizado trifásico com biomassa fixa representam uma excelente alternativa quando comparados aos processos convencionais de tratamento biológico, principalmente devido a alta eficiência quanto a remoção de matéria orgânica, alcançada com tempos de retenção hidráulica relativamente baixos, permitindo instalações de menor porte e pequena produção de lodo em excesso.

A procura de uma tecnologia com pouca mecanização na coagulação-química e a dificuldade de construir floculadores contínuos com pequeno tempo de detenção, conduziram aos estudos da floculação de fluxo hidráulico em meio granular expandido. Nesta floculação, a expansão do material granular é muito pequena, permitindo que os grãos fiquem em constante atrito entre si, mas sem reter os sólidos nos floculadores.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados dos estudos experimentais realizados, em escala piloto, com o processo combinado formado por pré-tratamento (pré-ozonização), tratamento biológico (reator aeróbio de leito fluidizado trifásico) e tratamento terciário (coagulação-química com floculação em meio granular expandido seguida por decantação), avaliando-o quanto à eficiência na remoção de matéria orgânica e cor, e sugerir tal associação de processos, como alternativa para o tratamento de efluentes têxteis.

MATERIAIS E MÉTODOS

O processo combinado foi investigado em um piloto contínuo, montado no Laboratório Integrado do Meio Ambiente (LIMA) da UFSC, formado inicialmente pela etapa de ozonização, seguida pelo processo biológico com reator aeróbio de leito fluidizado trifásico, e finalizado por coagulação-química com floculação em meio granular expandido seguida por decantação. A figura 1 apresenta um fluxograma do piloto do processo combinado.

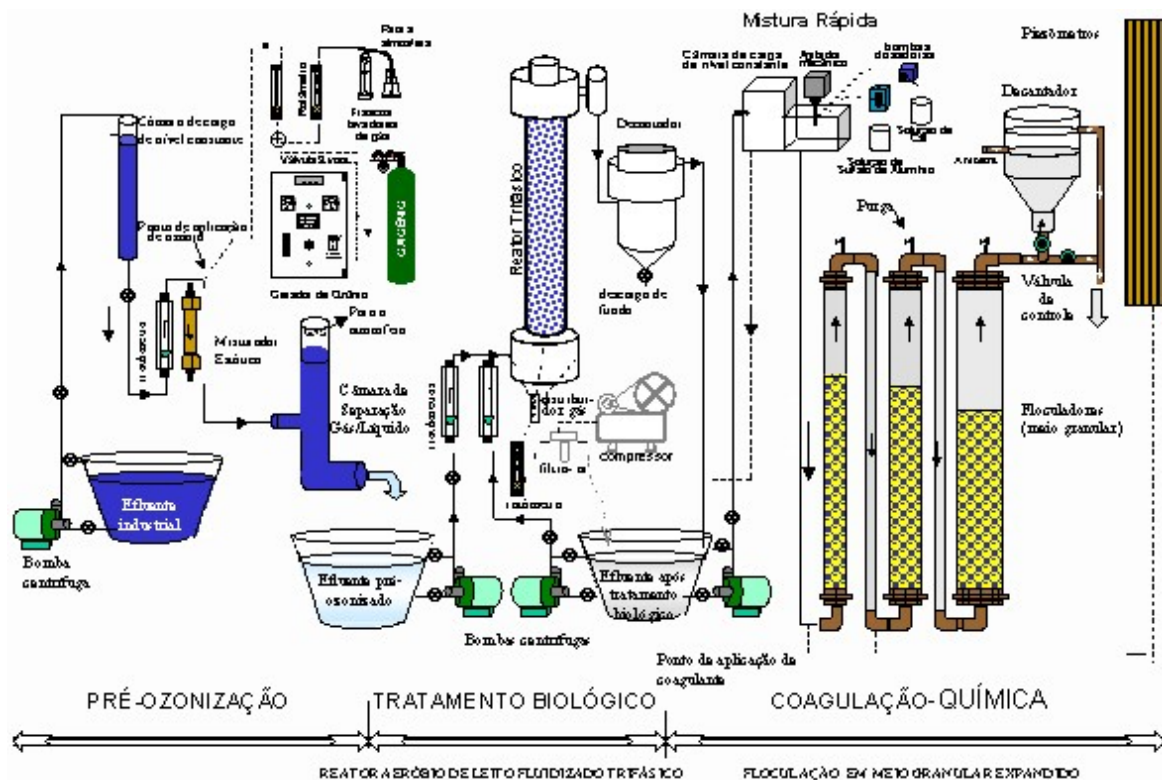


Figura 1: Esquema geral do Sistema Piloto

O efluente utilizado nesta pesquisa foi fornecido pela Indústria Têxtil Damyller, localizada no município de Nova Veneza, sul de Santa Catarina, Brasil.

A otimização das condições de operação do sistema composto em contínuo foi alcançada através da otimização de cada processo unitário individualmente, realizada em estudos anteriores de Melo Filho (1997), Hassemmer (2000) e Alves (2000).

Pré - Ozonização: A etapa da pré-ozonização foi conduzida aplicando-se, em média, a concentração de ozônio de $7,5\text{mgO}_3/\text{L}$, em função dos resultados dos estudos obtidos por NAYME (1997), os quais objetivaram a minimização da concentração de ozônio necessária à descoloração de efluentes têxteis. O gás contendo ozônio foi gerado através de um ozonizador de laboratório (LABO 6LO – de fabricação da Compagnie Générale de l’Ozone / Trailgaz), com capacidade de produção média de 9g/h de gás à concentração de $15\text{gO}_3/\text{m}^3$, a partir de oxigênio. A transferência de ozônio para a massa líquida foi realizada através de misturador estático, formado por seis módulos (modelo SÜTZER-SMV) dispostos verticalmente em série no interior de um tubo cilíndrico, com um giro de 90° em relação ao módulo anterior, e acompanhado de uma câmara tubular de separação de gás/efluente. O ozônio foi aplicado no efluente por injeção direta em linha, imediatamente à montante do misturador estático. As concentrações de ozônio na massa gasosa foram determinadas pelo método iodométrico (KI – solução 2%).

Tratamento Biológico: O tratamento biológico foi realizado em um reator aeróbico de leito fluidizado trifásico, composto por uma coluna de acrílico de 250 cm de altura e 9 cm de diâmetro interno. Como material suporte foram utilizadas partículas OSBG® (suporte otimizado para crescimento biológico – patente francesa # 8703611, 1987), as quais são esferas termoplásticas, com diâmetro médio de 2,7 mm e massa volumétrica de 1180 kg/m^3 , tratadas com solução sulfocrômica para aumentar a rugosidade das partículas e conferir cargas positivas com objetivo de melhorar a adesão microbiana. O ar foi introduzido na parte inferior do reator através de 3 difusores porosos. Objetivando o aumento da relação DQO/DBO, foi adicionado um substrato sintético, formado por diversos nutrientes. Após o tratamento biológico o efluente foi armazenado e posteriormente direcionado ao tratamento físico-químico.

Tratamento Físico-Químico:

- *Ensaios de coagulação-floculação-decantação (batelada)* - Inicialmente foram realizados testes de jarros com a

finalidade de determinar a melhor dosagem de coagulante e de cal, melhor dosagem de polímero, melhor tempo de floculação e decantação, e melhor pH, obtendo assim a otimização dos parâmetros de tratabilidade para o efluente têxtil em estudo. Os ensaios foram realizados em Equipamento de Teste de Jarros, modelo Nova Ética, que permite obter gradientes de até 2200 s^{-1} . O coagulante utilizado nos ensaios foi o Sulfato de Alumínio PA $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{ H}_2\text{O}]$ (por ser o mesmo coagulante usado na indústria), com solução a 5%. O alcalinizante utilizado foi uma suspensão de cal (hidratada), preparada com produto comercial a 5%. Os ensaios de coagulação-floculação-decantação seguiram a metodologia proposta por Di Bernardo et al. (1999) para tratamento de água. Com os parâmetros otimizados no sistema em batelada, seguiu-se os estudos no sistema em contínuo.

• *Ensaios de coagulação-floculação-decantação (contínuo)* - O piloto de floculação em meio granular era formado por três colunas de vidro em série, com aproximadamente 2 m de altura cada uma, apresentando diâmetros internos de 60, 65 e 70 mm respectivamente, de fluxo ascendente com expansão do meio granular. O meio granular era composto por esferas de polietileno de alto impacto, de 6 mm de diâmetro e com uma densidade de 1016. Após a última coluna foi instalado um decantador de 200 mm de diâmetro e 500 mm de altura, possuindo dois orifícios, um localizado na parte inferior que servia para coletar as amostras para análise da água floculada e decantada, no tempo de decantação de 7 minutos, e o outro na parte superior para saída do efluente. A dosagem do coagulante foi realizada através de uma bomba peristáltica num venturi, situado na própria tubulação de entrada da primeira coluna de floculação, com um gradiente de velocidade na ordem de $G \cong 800 \text{ s}^{-1}$ (mistura rápida).

Parâmetros de Controle do Processo Combinado: As análises de sólidos suspensos, pH, temperatura, turbidez, condutividade e alcalinidade foram realizadas utilizando-se os métodos descritos no Standard Methods (APHA, 1992). A cor foi medida por meio da leitura da absorvância em espectrofotômetro (modelo DR/4000 UV-VIS da HACH) no comprimento de onda de máxima absorvância do efluente bruto na faixa do visível ($\lambda = 666 \text{ nm}$). A DQO (total e solúvel) foi medida pelo método colorimétrico; a DBO pelo método manométrico; e o COT filtrado, através da leitura do NPOC (Carbono Orgânico não Purgável) no aparelho TOC-5000A da SHIMADZU, todos descritos no Standard Methods (APHA, 1992).

RESULTADOS

O efluente utilizado nesta investigação experimental, originado da Indústria Damyller, apresentou em média as características físico-químicas descritas na tabela 1.

Tabela 1: Características médias do efluente utilizado na investigação experimental

Parâmetros	Unidade	Valores	Parâmetros	Unidade	Valores
pH		7,0	Sólidos Totais	mg/L	1477
Alcalinidade	mg/L CaCO_3	496	Sólidos Totais dissolvidos	mg/L	1298
Absorbância (λ 666nm)		1,080	Sólidos Totais suspensos	mg/L	179
Turbidez	NTU	270	Sólidos Totais sedimentáveis	mL/L	3
DBO ₅	mg/L	328	COD	mg/L	242
DQO _{solúvel}	mg/L	646	Condutividade	$\mu \text{ S/cm}$	2450
DQO _{total}	mg/L	961			

Os ensaios de coagulação-floculação-decantação em batelada, realizados com o efluente já ozonizado e tratado no reator aeróbio, determinaram as dosagens ótimas de 500mg/L de Sulfato de Alumínio e 600mg/L de Solução de Cal. Após estabelecidas as dosagens ótimas de coagulante e auxiliar de coagulação foram realizados os ensaios de coagulação-floculação-decantação em contínuo, cujos resultados serão discutidos nesse item.

A tabela 2 apresenta os valores médios dos principais parâmetros monitorados para cada etapa do Processo Combinado durante os ensaios com o piloto contínuo.

Tabela 2: Valores médios dos principais parâmetros analisados do efluente após cada etapa do processo composto

Parâmetro	Efluente Bruto	Effluente após		
		Pré-Tratamento	Tratamento Secundário	Pós-Tratamento
		Pré-Oxidação (Ozonização)	Processo Biológico (Reator Aeróbio de Leito Fluidizado)	Processo Físico-químico (Coagulação/Floculação em meio granular expandido/Decantação)
Cor (absorbância 666nm)	1,080	0,436	0,184	0,043
Turbidez (NTU)	270,0	330,4	450,2	14,0
Sólidos Suspensos (mg/L)	170,92	210,26	240,40	60,08
DQO solúvel (mg/L)	675,58	700,36	162,26	125,13
COD (mg/L)	240,45	250,30	57,86	45,75

Pode-se observar que a pré-ozonização, realizada com a concentração de 7,5mgO₃/L aplicada, reduziu a cor do efluente em aproximadamente 60%. Cabe aqui salientar que a ozonização foi empregada nesta etapa do processo combinado objetivando não a completa descoloração do efluente, mas sim o rompimento das cadeias de corantes, facilitando com isso a biodegradação.

Em termos de redução de matéria orgânica, aqui avaliada através da DQO e COD, tal concentração de ozônio aplicada aumentou o nível desses parâmetros, o que é explicado por Kawamura (1996) que afirma que a pré-ozonização geralmente aumenta os níveis de COT, elevando também os teores de COD assimilável devido a decomposição macromolecular dos compostos orgânicos em compostos de menor peso molecular, os quais são facilmente degradados por microorganismos. Segundo RICE (1981), citado por Lin & Lin(1993), a baixa redução de DQO da ozonização, durante a descoloração de efluentes têxteis, é atribuída ao fato de que as moléculas dos corantes (polímeros estruturados) são oxidadas à pequenas moléculas, tais como ácido acético, aldeídos e cetonas, ao invés de dióxido de carbono e água, as quais ainda possuem um considerado valor de DQO, mas facilmente degradáveis. A figura 2 ilustra a eficiência de remoção dos principais parâmetros analisados para o processo combinado e para cada etapa do tratamento.

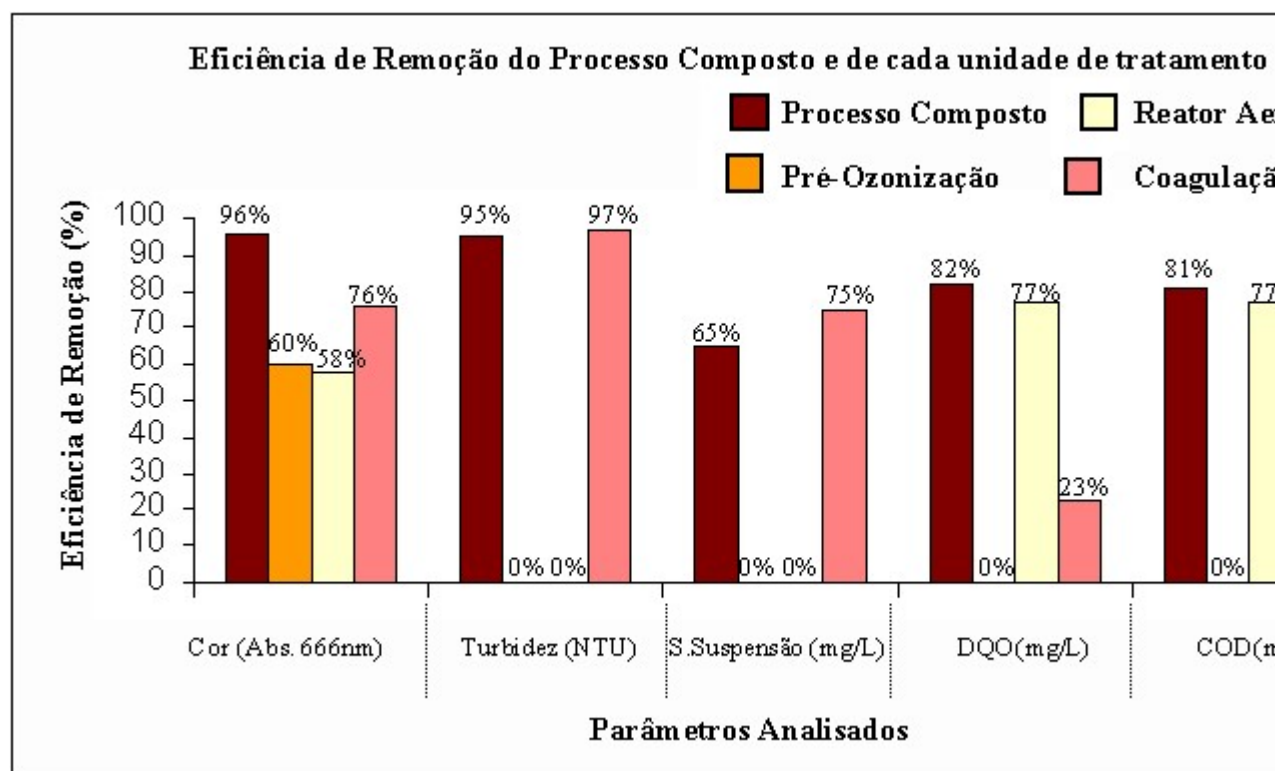


Figura 2: Gráfico de colunas demonstrando a eficiência de remoção do Processo Composto e de cada etapa do tratamento para os principais parâmetros avaliados

A pré-ozonização não foi efetiva na remoção de DQO, mas aumentou a biodegradabilidade do efluente, resultando na melhora da performance do reator biológico, que alcançou remoção da matéria carbonácea (DQO e COD) superior a 75%. Por outro lado, após o tratamento biológico o nível de Sólidos Suspensos aumentou, mostrando a necessidade de um tratamento terciário, o qual foi realizado nesta pesquisa, através da coagulação-química com floculação em meio granular expandido seguida por decantação, reduzindo em 75% o valor desses sólidos no efluente. A eficiência na remoção de cor e turbidez do processo composto foi aproximadamente 96%, e na remoção da matéria carbonácea, em torno de 82%.

CONCLUSÕES

Com base na pesquisa realizada, concluiu-se que:

A pré-ozonização favoreceu o tratamento biológico através da quebra das moléculas de corantes em compostos menores, facilitando assim a sua degradação microbiana. Por outro lado, a combinação de apenas ozonização com reator aeróbio de leito fluidizado trifásico gerou uma grande produção de sólidos em suspensão, os quais foram eficientemente removidos pela coagulação-química com floculação em meio granular expandido seguida por decantação.

O Processo Composto (pré-ozonização, reator aeróbio de leito fluidizado e coagulação/floculação em meio granular expandido seguida por decantação) apresentou alta eficiência na remoção de cor (96%) e de matéria orgânica (82%), com baixa produção de lodo, representando ser uma boa alternativa para o tratamento de efluentes têxteis, destacando-se também o emprego de pouca área e mecanização, o que foi conseguido através do floculador em meio granular expandido, com tempo de floculação de apenas 3 minutos, contra pondo aos 20 a 40 minutos necessários nos floculadores convencionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, K.C.G. Tratamento de efluentes têxteis usando reator de leito fluidizado trifásico aeróbio com pré ou pós-ozonização. Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2000.
2. APHA, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 18ed. American Public Health Association, Washington, D.C., 1992.
3. DI BERNARDO, L., DE PÁDUA, V. L. e LIBÂNIO, M. Optimización de gradientes de velocidad en la floculación. Seminario sobre Optimización de Plantas de Potabilización. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Lima - Peru, 1999.
4. HASSEMER, M. E. N. Tratamento de efluente têxtil - Processo físico-químico com ozônio e floculação em meio granular. Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2000.
5. KAWAMURA, S. Optimization of basic water-treatment process - design and operation: coagulation and flocculation. J Water SRT - Aqua, V. 45, N° 1, P. 35-47, 1996.
6. LIN, S. H. e LIN, C. M. Treatment of textile waste effluents by ozonation and chemical coagulation. Water Research. V.27, N° 12, p.1743-1748, 1993.
7. MELO FILHO, L. C. Efeito da pré-ozonização na geração de lodo em processos de coagulação-floculação no tratamento de efluentes têxteis. Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 1997.
8. NAYME, C. Étude de la dégradation par Ozonation de Deux Colorants Utilisés en Teinture: recherche de sous-produits, études cinétiques et influence sur les applications industrielles. Rennes, Tese de Doutorado. N° 1673, Université Rennes I, France, 1997.
9. TAK-HYUN, K.; PARK, C.; LEE, J.; SHIN, E-B.; SANGYONG, K. Pilot Scale Treatment of Textile Wastewater by Combined Process (fluidized biofilm process-chemical coagulation – electrochemical oxidation). Water Research. V.36, N° 3979 – 3988, 2002.
10. VANDEVIVERE, P.C., BIANCHI, R. e VERSTRAETE, W. Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet-Processing Industry: Review of Emerging Technologies. J.Chem. Technol.Biotechnol. n° 72, p.289-302, 1998.