

ELETROOXIDAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVANDERIA HOSPITALAR

Ênio Leandro Machado*
Carlos Alexandre Lutterbeck*
Rômulo de Oliveira Schwaickhardt**
Alexandre Straatmann***
Deivid Ismael Kern*
Filipe Vargas Zerwes*
Lourdes Teresinha Kist*
Eduardo A. Lobo*

RESUMO

No presente estudo foram realizados ensaios de tratamento utilizando os processos oxidativos avançados (POA's) visando a mineralização e a detoxificação dos efluentes gerados em uma lavanderia hospitalar. Os ensaios envolveram a utilização do processo de eletrooxidação. Foram realizadas análises dos parâmetros globais e análises toxicológicas, antes e após cada ensaio. Desta forma buscou-se avaliar a eficiência dos métodos empregados na redução dos parâmetros globais, e na detoxificação dos efluentes da lavanderia hospitalar em questão. Os ensaios envolvendo o processo de eletrooxidação com condutividade induzida através da adição de NaCl realizados durante 60 minutos obtiveram os melhores desempenhos. O efluente gerado no enxágüe inicial das compressas passou da condição de extremamente tóxico (12,58%) para moderadamente tóxico (61,59%), enquanto que as reduções de DBO₅ e DQO foram de respectivamente, 32% e 9%. Com relação ao efluente oriundo da etapa da lavagem, a DQO apresentou uma redução de 41%, enquanto que a toxicidade foi reduzida consideravelmente, passando da condição de extremamente tóxico (6,89%) para pouco tóxico (76,65%)

Palavras –chave: Efluentes de lavanderia hospitalar; eletrooxidação; tratamento de efluentes.

*Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, RS, Brasil (enio@unisc.br).

** Curso de Química Industrial – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC

*** Curso de Engenharia Ambiental – Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC

ELECTROOXIDATION WASTEWATER TREATMENT IN HOSPITAL LAUNDRY

ABSTRACT

In the present study were conducted trials of treatment using advanced oxidation processes (AOP's) order mineralization and detoxification of waste generated in a hospital laundry. The trials involved the use of the process of electrooxidation. Were performed analyzes of parameters global and toxicological analysis, before and after each test. Thus we sought to evaluate the efficiency of the methods employed in reducing the global parameters, and detoxification of effluents from hospital laundry in question. The tests involving the process of electrooxidation with conductivity induced by the addition NaCl performed during 60 minutes got the best performance. The effluent generated in initial rinsing Compresses passed from condition extremely toxic (12,58%) for moderately toxic (61.59%), while reductions of BOD₅ and COD were of respectively, 32% and 9%. With relation to the effluent coming from the step washing, the COD presented a reduction of 41%, while that the toxicity was considerably reduced, passing the condition of extremely toxic (6.89%) for little toxic (76.65%).

Keywords: Wastewater hospital laundry; electrooxidation, treatment of effluents.

INTRODUÇÃO

Todas as atividades desenvolvidas nos serviços de saúde resultam na geração de diferentes tipos de efluentes. O impacto que estas águas residuárias vão causar no meio ambiente depende, basicamente, da forma como os mesmos são gerenciados intra e extra instituição.

Segundo Emmanuel *et al.* (2005), os hospitais consomem um importante volume de água por dia. O consumo mínimo doméstico é de 100L/pessoa/dia, visto que a demanda do valor para os hospitais varia geralmente de 400 a 1200L/leito/dia. Nos países em desenvolvimento, este consumo apresenta-se em torno de 500L/leito/dia. Certamente é importante ressaltar o grande consumo de água em hospitais, pois são gerados, em decorrência do elevado gasto deste insumo natural, significativos volumes de águas residuárias.

Embora nos últimos anos tenha aumentado a preocupação com relação à problemática dos efluentes hospitalares, constata-se que a bibliografia que aborda a

avaliação de efluentes e suas formas de tratamento está particularmente relacionada aos efluentes de origem doméstica e industrial (MARQUES, 1993). Portanto, ainda há pouca preocupação com os efluentes gerados pelos serviços de saúde, e em especial, os dos hospitais. Outro aspecto interessante envolve os processos eletroquímicos que combinam degradação por oxidação e separação de fases por coagulação e flotação, potencializando aplicações para o tratamento de efluentes da saúde (CRESPILHO E REZENDE, 2004).

Assim sendo, o presente trabalho buscou realizar a caracterização do efluente bruto de uma lavanderia hospitalar localizada no Vale do Rio Pardo bem como efetuar o tratamento deste efluente visando mitigar os impactos ambientais decorrentes do seu descarte inadequado e adequá-lo as legislações vigentes no Estado do Rio Grande do Sul – Resolução CONSEMA nº 128/2006 e Resolução CONSEMA nº 129/2006.

Os principais objetivos decorrentes deste estudo foram a redução dos parâmetros de carga (DBO, DQO, fósforo, nitrogênio e surfactantes), bem como a detoxificação do efluentes oriundos das lavanderias hospitalares com aplicação de unidade eletroquímica. Para tanto foram realizados ensaios de tratamento utilizando os processos oxidativos avançados, especialmente a eletrooxidação com eletrodos de predominância de ferro elementar. Os ensaios foram desenvolvidos através de reator concebido e configurado no grupo de ciência e tecnologia ambiental da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC.

METODOLOGIA

As etapas iniciais do trabalho consistiram de visitas realizadas ao Hospital, com o intuito de obter informações gerais acerca de todos os distintos setores, bem como informações específicas relacionados ao local de estudo, a lavanderia hospitalar.

Fonte e Coleta de Dados

Os dados empregados neste estudo são primários, coletados a partir realização de observação direta do ambiente, produzidos durante as visitas realizadas no hospital selecionado pelo gerenciamento das atividades desenvolvidas na lavanderia do hospital em questão.

A caracterização da lavanderia hospitalar envolveu o levantamento do perfil das atividades desenvolvidas; consumo de água e dos principais insumos associados ao processo de lavagem de roupas; quantidade média de roupa lavada diariamente; composição da equipe de funcionários da lavanderia, além do período e da jornada diária de trabalho.

Coleta e Caracterização das Amostras

As amostras utilizadas neste estudo foram coletadas diretamente na área de saída do efluente de uma das máquinas de lavar (modelo da marca INEQUIL), cujo funcionamento ainda é manual, antes do seu descarte na fossa séptica da unidade hospitalar. A classificação das roupas no processo de lavagem foi efetuada através da classificação atribuída no próprio hospital, considerando-se o grau de contaminação entre pesado e leve. Ademais, foram obtidas informações sobre os dias da semana que geravam a maior quantidade de roupas com alto grau de sujidade e de contaminação.

Dessa forma, visando à obtenção dos efluentes mais críticos descartados pelo processo de lavagem, foi realizada a coleta das amostras com grau de contaminação pesada, sempre as quintas e sextas-feiras.

As amostras foram coletadas no local apropriado sob normas de higiene e segurança, de acordo com o APHA/AWWA - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2005), acondicionadas e preservadas adequadamente e, após, transferidas para os laboratórios da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC.

Após a coleta das amostras, iniciou-se a etapa de caracterização do efluente. As análises das amostras foram realizadas no Laboratório de Tecnologia e Tratamento de Águas e Efluentes (LATTAE), no Laboratório do Curso de Engenharia Ambiental, no Laboratório de Ecotoxicologia e na Central Analítica da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). No LATTAE foram analisados os parâmetros de: Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, turbidez e cor. O Laboratório de Ecotoxicologia avaliou a toxicidade dos efluentes, enquanto que as análises da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da condutividade foram realizadas no Laboratório do Curso de Engenharia Ambiental. A determinação do fósforo total, do nitrogênio total Kjeldahl e dos coliformes termotolerantes coube a Central Analítica.

Para a realização dos ensaios de toxicidade aguda foram utilizados os organismos-teste *Daphnia magna* Straus, 1820, que são cultivados no Laboratório de Ecotoxicologia da UNISC. Os procedimentos metodológicos da rotina de ecotoxicologia utilizados no mesmo seguem as normas da ABNT 12713 (2004) para *Daphnia magna*. Os organismos-teste foram cultivados em água reconstituída, composta por água destilada e desionizada e nutrientes (meio M4), com pH variando de 7,0 a 8,0 (ABNT 12713, 2004). A água reconstituída, depois de preparada, foi aerada para solubilização total dos sais, saturação do oxigênio dissolvido e estabilização do pH durante pelo menos 12 horas antes da sua utilização.

Cada lote comportou de 25 a 30 indivíduos, exclusivamente fêmeas, pois elas são geneticamente idênticas. As culturas foram mantidas em ambiente com temperatura

controlada a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e em fotoperíodo de 16 horas. Estas condições foram obtidas através da utilização de uma incubadora de DBO modificada.

A partir dos resultados das determinações da CE(I)50 48h, utilizou-se uma escala de toxicidade relativa tendo como critério de classificação os percentis 25°, 50° (mediana) e 75°, conforme mostra a Tabela 1. No processamento da informação, empregou-se a estatística descritiva para a tabulação dos dados e sua ilustração gráfica, como por exemplo, gráfico de barras (histogramas) para a visualização e interpretação da distribuição percentual dos resultados dos testes de toxicidade.

Tabela 1: Escala de toxicidade relativa para CE(I)50 48h (%) com *Daphnia magna*.

Percentil	CE(1)50	Toxicidade
25%	<25%	Extremamente Tóxica
50%	25-50%	Altamente Tóxica
75%	50-75%	Moderadamente Tóxica
	>75%	Pouco Tóxica

Fonte: Lobo (2006)

Ensaio de Tratamento de Eletrooxidação

O ensaio de tratamento empregado na presente pesquisa envolveu o processo de eletrooxidação (EF) com eletrodos de aço SAE 1045.

Foram selecionadas as duas frações mais críticas dos efluentes, as quais corresponderam as etapas denominadas de “enxágüe das compressas” e “lavagem”. Todos os ensaios foram realizados com amostras resultantes destas etapas do processo de lavagem de roupas hospitalares.

Os ensaios de eletrooxidação foram realizados com os valores de pH entre 6,5 – 10, dependendo das frações selecionadas. Cada ensaio de tratamento teve a duração de 60 minutos, com densidade de corrente entre 15-20 mAcm^{-2} . A amostragem envolveu a retirada de alíquotas do reator nos tempos de 0', 30' e 60'. Simultaneamente a realização do processo também ocorreu a insuflação de ar através das pedras porosas localizadas na base do reator, objetivando a homogeneização da amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da Área de Estudo

O presente trabalho foi realizado em um hospital localizado em um município Vale do Rio Pardo, RS, Brasil. O referido hospital possui 180 leitos destinados ao

atendimento de pacientes, sendo que a equipe de trabalho é composta de 488 funcionários divididos em quatro turnos de trabalho. A unidade hospitalar em estudo apresenta, também, uma média de 10.700 internações anuais, com mais de 32 mil atendimentos ambulatoriais, 6.700 cirurgias 1.500 partos e serve aproximadamente 295.000 refeições por ano. São gastos aproximadamente 50m³ de água diariamente para a lavagem de aproximadamente 970 kg de roupa. Toda a água utilizada provém de um poço artesiano e de uma fonte localizados próximo à lavanderia. A Tabela 2 fornece dados relativos ao consumo de água e insumos químicos durante a lavagem de roupas hospitalares.

Tabela 2: Quantidade de Água e Insumos Consumidos em Cada Ciclo de Lavagem

INSUMO	VOLUME (L)
Água	6.080
Detergentes	1,44
Alvejante	0,54
Amaciante	0,45
Neutralizador	0,18
TOTAL	6.082,61

Uma vez realizada a lavagem, as roupas passam por um processo de centrifugação. Após a centrifugação, as roupas como lençóis e fronhas saem, passam pelo processo de separação e são encaminhadas para a calandra, onde são passadas e secas na mesma etapa. Toalhas e compressas, por exemplo, vão para secadora, e em seguida para a mesa onde são dobradas e encaminhadas para a rouparia. Na rouparia as roupas são estocadas e distribuídas conforme a necessidade dos diversos setores hospital.

Pertinente a todas as descrições anteriores, estão os impactos ambientais decorrentes do uso intensivo de água, de insumos químicos para o processo de lavagem e da sujidade patogênica das roupas. O principal potencial de impacto ambiental está associado aos recursos hídricos.

Caracterização Analítica dos Efluentes.

Conforme descrito anteriormente, o processo de lavagem de roupas é dividido em diferentes etapas. Visando a identificação das frações mais críticas, cada uma dessas

etapas recebeu uma caracterização analítica. Os dados obtidos são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Caracterização analítica das frações do efluente da lavanderia hospitalar

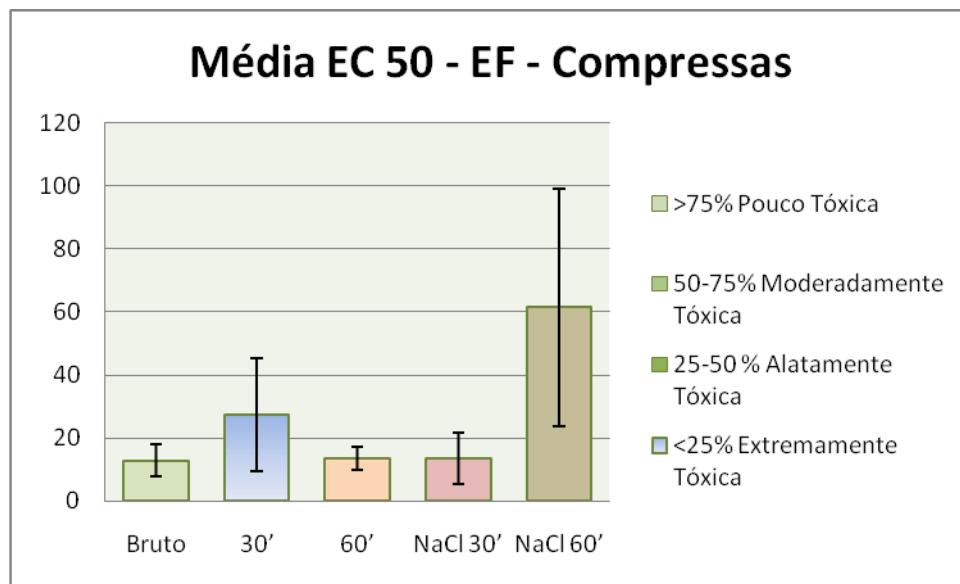
	Enxágüe Composto*	Pré-Lavagem*	Lavagem*	Amaciamento*	Amostra Composta*	1º Enxágüe Compressas*
DQO (mg/l)	293,95 ± 113,81 C.V.= 0,39	426,85± 52 C.V. =0,12	555,58 ± 122,34 C.V.=0,22	153,85 ± 70,08 C.V. =0,46	288,46± 104,66 C.V. =0,36	838,86± 93,37 C.V. =0,11
DBO₅(mg/l)	70 ± 27,22 C.V. =0,39	36,33± 25,9 C.V.=0,71	0	0	23,33± 17,21 C.V. =0,74	440,67± 56,1 C.V. =0,13
Condutividade (µS/cm)	213,3	1320	368,8	378,26	412,03	363,76
pH	7	10	9,5	6,5	9	7
Turbidez (NTU)	59,56	117,8	73,55	73,06	43	213,94
Fósforo Total (mg/l)	0,47	0,56	0,19	0,48	1,5	1,95
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/l)	12,1	9,23	3,13	1,1	6,6	67,6
Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml	68.333	>180	>180	>180	15.500	2.966.000
Ecotoxicidade CE (50) (%)	100	41± 26,11 C.V. =0,64	14,2± 10,57 C.V. =0,74	65,49± 13,66 C.V. =0,21	81,49± 16,42 C.V. =0,20	28,8± 8,58 C.V. =0,3
Temperatura °C	20,5	42	83	29	28	21

* n = 3

O Quadro 2 demonstra a presença de duas frações com um grau impactante maior, sendo elas as etapas da “lavagem” e do “enxágüe inicial das compressas”. Para esta apresentação estarão discutidas o tratamento da fração do enxágüe das compressas.

Eletroroxidação do “Enxágüe das Compressas”

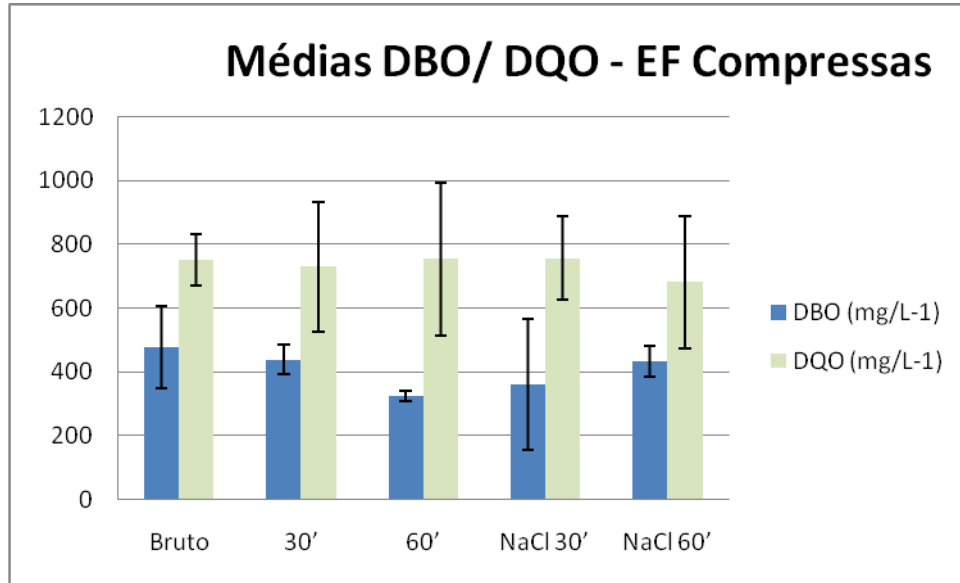
Com relação à toxicidade, os melhores resultados foram obtidos através de ensaios realizados durante 60 minutos no quais ocorria a adição de 1000mg L^{-1} de NaCl. Conforme a Tabela 1, desenvolvida por Lobo (2006) e adotada como referência no presente estudo para avaliar o grau de toxicidade, observou-se que efluente passou da condição de extremamente tóxico (12, 58%) para moderadamente tóxico (61,59%). As demais médias de EC 50 obtidas através de ensaios realizados em triplicata do processo de eletroroxidação (EF) podem ser observadas na Figura 1.



CV: Bruto - 0,4; 30' - 0,66; 60' - 0,27; 30' NaCl - 0,6 60' NaCl - 0,61

Figura 1: Médias da EC 50 obtidas a partir de ensaios de EF

As melhoras da toxicidade das amostras em obtidas a partir de 30' 60' e 30' NaCl, em relação ao bruto, foram de, respectivamente, 214%, 10,7%, e 10,6%. A redução dos parâmetros de carga (DBO/DQO) mostrou-se mais efetiva com relação à DBO, sendo que as melhores remoções foram obtidas a partir de ensaios realizados durante 60 minutos sem a adição de sal (Figura 2). Quando comparado ao efluente bruto ($476, 66\text{ mg/L}^{-1}$) estes ensaios obtiveram uma redução média de 32% (324 mg/L^{-1}).



CV/ DBO: **Bruto** – 1,27; **30'**- 0,11; **60'** - 0,05; **30' NaCl** – 0,57 **60' NaCl** - 0,11
 CV/ DQO: **Bruto** - 0,11; **30'**- 0,27; **60'** – 0,31; **30' NaCl** - 0,17 **60' NaCl** - 0,33

Figura 2: Médias de DBO/DQO obtidas através dos ensaios de EF

Com relação a DQO, os resultados foram pouco significativos, com o condição ocorrendo a 60' NaCl (redução de 9,03%). Os demais parâmetros avaliados durante a realização dos testes são apresentados com os valores médios no Quadro 3.

Quadro 3: Valores médios de Parâmetros Complementares do Processo de Eletrooxidação nos diferentes tempos de tratamento.

	Bruto	30'	60'	30' NaCl	60' NaCl
Turbidez (NTU)	202,21	635,45	658, 61	757,70	732,93
Condutividade μScm ⁻¹	285	260	296	1466	1447
Cor (Abs.)	0,309	0,685	0,736	0,409	0,973
pH	6,72	7,01	7,07	7,14	7,18

Analisando-se os dados acima se observa um aumento significativo da turbidez do efluente. Em relação as amostras brutas, os aumentos de 30', 60', 30'NaCl e 60'NaCl são, respectivamente de: 318%, 325%, 375% e 362%. Os aumentos observados na cor dos efluentes também foram bastante significativos. Atribui-se estas mudanças bruscas na turbidez e na cor dos efluentes tratados por EF principalmente a formação de íons férricos durante o processo.

Conforme descrito por Crespilho e Rezende (2004) o processo de EF tende a elevar o pH do efluente quando este se encontra ácido. Esta elevação, embora bastante discreta, pode ser observada nos dados apresentados no Quadro 3.

Como já fora mencionado anteriormente, o êxito do processo de EF depende de uma condutividade elevada do efluente. Silva *et al.* (2000) realizaram estudos para avaliar o efeito da condutividade na remoção da carga orgânica de efluentes oriundos de uma indústria de laticínios. Nestes ensaios a condutividade do efluente foi induzida através da adição de diferentes quantidades de NaCl. Os resultados revelaram que condutividade melhorou a eficiência da remoção de DQO até a faixa de aproximadamente 2000 μScm^{-1} . Acima deste valor formou-se um platô, onde não foram observadas significativas melhorias na redução de DQO.

A adição de 1000 mgL^{-1} , obteve aumentos consideráveis de aproximadamente 500% em relação ao efluente bruto, atingindo valores de condutividade bem próximos aos descritos por Silva *et al.* (2000) como sendo os adequados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de um gerenciamento adequado dos efluentes oriundos das unidades hospitalares é grande especialmente nos países em desenvolvimento. É necessária uma otimização de todos os setores pertinentes ao hospital, visando não apenas ao tratamento, mas também a redução da geração de efluentes.

Dentre os setores que mais demandam água e insumos químicos em um hospital encontram-se a lavanderia, gerando grandes volumes de efluentes com características peculiares, que conferem aos mesmos, alta toxicidade e recalcitrância.

Com relação a lavanderia hospitalar da presente pesquisa, faz-se uma ressalva importante quanto a necessidade da adoção de medidas de produção mais limpa nas questões relativas ao consumo de água, visando reduzir as enormes quantidades gastas durante os ciclos de lavagem de roupas.

A caracterização analítica dos efluentes provenientes da lavanderia apontou a presença de duas frações mais críticas com relação aos impactos ambientais decorrentes de seu descarte inadequado. Os efluentes gerados a partir do enxágüe inicial das

compressas apresentavam, em virtude da presença de sangue, fezes e demais secreções corpóreas, a presença de alta carga patogênica bem como uma alta toxicidade. O efluente produzido através da etapa da 'lavagem' possuía, devido a utilização de insumos químicos, entre outras características uma alta refratariedade assim como, altos índices de toxicidade.

A aplicação de métodos eletroquímicos visando o tratamento dos efluentes das compressas obteve bons resultados tanto na redução da toxicidade quanto na redução da carga orgânica (DBO). Os processos eletroquímicos também alcançaram resultados satisfatórios na diminuição da toxicidade e da DQO dos efluentes originados na etapa de lavagem. A EF realizada durante 30 minutos apresentou o melhor desempenho.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.713: *Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com Daphnia spp. (Cladocera, Crustacea)*. Rio de Janeiro, 2003a. 16 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.373: *Ecotoxicologia Aquática - Toxicidade crônica - Método de ensaio com Ceriodaphnia spp. (Crustacea, Cladocera)*. Rio de Janeiro, 2003b. 12p.

BRASIL, *Resolução do CONSEMA No. 128/2006*. Secretaria da Saúde e Meio Ambiente/RS, Disponível na internet: <http://www.aquaflot.com.br/legislacao.html>.

BRASIL, RIO GRANDE DO SUL. *Resolução Conselho Estadual do Meio Ambiente nº 129*, de 24 de novembro de 2006. Secretaria do Meio Ambiente. Disponível na internet:

BRENTANO, D. M.; LOBO, E. *Biomonitoramento de caráter ecotoxicológico no Vale do Rio Pardo, RS, Brasil*. Revista Tecno-Lógica, Santa Cruz do Sul, n. 2, v. 7, p. 85-95. 2003.

APHA/AWWA - American Public Health Association/American Water Works Association. *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*, 21a edithion, Washington, 2005.

CRESPILHO, F. N.; REZENDE, M. O. O. *Eletroflotação: Princípios e aplicações*. Editora Rima. São Carlos, 2004

EMMANUEL E., BLANCHARD J-M, KECK G, PERROIN Y. *Caractérisation chimique, biologique et ecotoxicologique des effluents hospitaliers De´chets Sciences et Techniques*. Rev FrancophE´ col Ind 2001;22:31 – 3.

EMMANUEL, E., KECK, G., BLANCHARD, J-M., VERMANDE, P. and PERRODIN, Y., *Toxicological effects of disinfections using sodium hypochlorite on aquatic organisms and its contribution to AOX formation in hospital wastewater*, Environmental International 30, p. 891-900, 2004.

EMMANUEL, E., PERRODIN, Y., KECK, G., BLANCHARD, J-M., and VERMANDE, P. *Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater: a proposed framework for raw effluents discharging into urban sewer network*. J Hazard Mater 2005b;117:1–11.

LOBO, E. A.; RATHKE, F.S.; BRENTANO, D. M. *Ecotoxicologia aplicada: o caso dos produtores de tabaco na bacia hidrográfrica do Rio Pardinho, RS, Brasil*. p. 41-68. In: ETGES, V. E.; FERREIRA, M. A. F. *A produção do tabaco: impacto no ecossistema e na saúde humana na região de Santa Cruz do Sul/RS*. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2006. 248p.

MARQUES, P. P. *Programa de Qualidade da Água. A Água em Revista*. Belo Horizonte, n. 1, p. 35-42, nov. 1993.

SILVA, A. L. C., *Processo eletrolítico: Uma alternativa para o tratamento de águas residuárias*. 2002, 60f. Monografia de Especialização em Química Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.