

REVISTA

LIMPEZA PÚBLICA®



ABLP - Associação
Brasileira de
Resíduos Sólidos e
Limpeza Pública
www.ablp.org.br

Julho/agosto/sembro de 2007 • R\$ 28,00 • Nº 65

RECICLAGEM NO BRASIL

Conheça os desafios dessa atividade que vem crescendo

Pesquisa aponta características
dos resíduos sólidos em meios
de hospedagem

Alternativa para chorume: estudo
mostra as vantagens do tratamento
fotoeletroquímico

Inscrições abertas para o Senalimp
2007: evento reúne profissionais de
todo o País



TRATAMENTO FOTOELETROQUÍMICO DE CHORUME



PETERSON BUENO DE MORAES

FÍSICO E MESTRE EM GEOCIÊNCIAS E MEIO AMBIENTE PELA UNESP-RIO CLARO, SP. DOUTOR EM ENGENHARIA DE MATERIAIS PELA FEM/UNICAMP, PÓS-DOUTORADO PELA UNESP-RIO CLARO. PROFESSOR PESQUISADOR VOLUNTÁRIO NO DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA E MICROBIOLOGIA DA UNESP-RIO CLARO. PROFESSOR EM UNIVERSIDADES PARTICULARES E CONSULTOR.

RODNEI BERTAZZOLI

PROFESSOR LIVRE DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS – DEMA, FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA – UNICAMP. CONSULTOR EM TRATAMENTO DE EFLUENTES. ÁREAS DE PESQUISA: TRATAMENTO DE EFLUENTES, CORROSÃO, ELETROQUÍMICA AMBIENTAL, ENGENHARIA ELETROQUÍMICA, ENGENHARIA SANITÁRIA.

RESUMO

O chorume formado em aterros sanitários constitui-se um problema ambiental na maioria das cidades brasileiras. Os métodos convencionais atuais para tratamento desse efluente apresentam limitações ou demandam tempo e espaço físico excessivos, principalmente para chorumes maduros, que possuem elevada carga orgânica. Neste trabalho, utilizou-se um sistema fotoeletroquímico em escala piloto de 18 litros que utiliza eletrodos comerciais de $Ti/70TiO_2-30RuO_2$ e lâmpada ultravioleta para tratar o chorume bruto proveniente de um aterro sanitário. Com $116,0 \text{ mA cm}^{-2}$ e 2000 l h^{-1} foram obtidos, em tempos inferiores a 3 horas, eliminação total da cor e amônia e reduções superiores a 70% de COT e 90% na DQO. Também, foram observadas reduções da DBO, da toxicidade aguda e remoção de metais. Esta forma de tratamento não apresenta problemas posteriores em relação à geração de lodo, sendo indicada como complementar ao tratamento biológico tradicional.

Palavras-chave: Processo fotoeletroquímico, tratamento de chorume, eletrodo comercial ADE, eletrólise de efluente de aterro sanitário, reator eletroquímico tubular.

ABSTRACT

In this study, leachate from a municipal landfill site was treated by photo-electrochemical oxidation in an 18 L pilot scale flow reactor, using oxide-coated titanium anode and UV radiation. The experiments were carried out in constant flow rate of 2000 L h^{-1} and the effect of current density on chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, total organic carbon, color, toxicity and ammonia removal was investigated. At a current density of 116.0 mA cm^{-2} and 180 min of processing, the removal rates achieved were higher than 90% for COD, 70% for TOC and 98% for color and ammonia. BOD and acute toxicity values were also improved. Moreover, metal ions could be separated on the electrode. The process proved effective in degrading landfill leachate, despite this effluent's usual refractoriness to treatment.

1 INTRODUÇÃO

NO ATERRO, QUANDO A MATÉRIA ORGÂNICA PRESENTE NO LIXO ENTRA EM DECOMPOSIÇÃO, SE FORMA O CHORUME, UM LÍQUIDO ESCURO E DE ODOR DESAGRADÁVEL, QUE POSSUI ALTOS ÍNDICES DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO), DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) E APRESENTA ELEVADO POTENCIAL PATOGENICO E TOXICOLÓGICO. O CHORUME É CONSIDERADO COMO UM EFLUENTE COMPLEXO, QUE PODE CONTER COMPOSTOS ORGÂNICOS, METAIS PESADOS E MUITOS OUTROS ÍONS¹. ESTES COMPOSTOS SÃO, INDIVIDUALMENTE OU DE MANEIRA SINÉRGICA, RESPONSÁVEIS PELA SUA TOXICIDADE.

A composição do chorume varia em função da composição do solo utilizado como cobertura dos resíduos, das características dos resíduos depositados, das condições climáticas e da idade do aterro. Chorumes maduros, oriundos de aterros antigos, são normalmente caracterizados por possuírem grandes quantidades de moléculas orgânicas persistentes, alta DQO, alcalinidade, amônia, NKT (compostos nitrogenados reduzidos) e baixa relação C/N e DBO, resultando em baixa biodegradabilidade ($DBO_5/DQO < 0,1$)^{2,3}. A coloração marrom característica desse efluente, pode ser atribuída em grande parte aos ácidos húmicos e fúlvicos, enquanto que o forte odor advém principalmente da presença de nitrogênio amoniacal. Especificamente no caso brasileiro, o chorume é composto predominantemente por elevados percentuais de matéria orgânica e nitrogênio amoniacal e baixos teores de metais pesados.

1.2. TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS PARA TRATAMENTO DE CHORUME

Quando realizada, a remediação do chorume gerado nos aterros da maioria das cidades brasileiras é feita através de oxidação biológica. Este tipo de tratamento pode ser considerado eficiente no tratamento de chorume de aterro novo, rico em ácidos graxos voláteis e elevada DQO, mas normalmente demanda muitos dias para que o líquido alcance os valores dos parâmetros de degradabilidade legalmente aceitáveis. É bem conhecido que os métodos biológicos convencionais apresentam dificuldades para degradar poluentes persistentes, fortemente coloridos, com sólidos sedimentáveis e com compostos carcinogênicos. Também, podem apresentar susceptibilidade à variação do efluente e requerem a ocupação de grandes áreas de instalação, além de gerarem lodo. Conseqüentemente, os processos biológicos têm eficiência limitada para tratar chorumes de aterros antigos, devido à elevada fração de compostos orgânicos de alta massa molar que apresentam e, nestes casos, tratamentos físico-químicos e outras formas de tratamento devem ser consideradas como uma alternativa complementar.

Normalmente a coagulação/floculação/sedimentação é a solução mais empregada dentre os processos físico-químicos⁴, embora sejam também utilizados oxidação química, filtração por membranas⁵ e osmose reversa⁶, evaporação, absorção em carvão ativado, troca iônica e "air stripping"^{7,8}. Em contrapartida, o processamento físico-químico do chorume comumente demanda energia, água ou reagentes e pode haver geração de significativa quantidade de lodo ou gases no final do processo⁹. Ou seja, ocorre apenas uma transferência de fase dos poluentes. Também, é importante considerar que no caso da coagulação/floculação, deve-se ter domínio sobre as variáveis do processo, pois a adição excessiva de certos agentes flocculantes pode elevar a toxicidade do efluente.

Particularmente à realidade em nosso país, também é comum a utilização da aspersão do chorume sobre a superfície do aterro, denominado método da recirculação. Há uma vertente de especialistas que acredita que este método não é totalmente adequado, pois caso o volume e a frequência de recirculação não sejam bem controlados, pode haver a crescente acidificação do meio bacteriano, alterando a cinética do tratamento. Embora incentivada devido ao crescente interesse na utilização do biogás, a recirculação do chorume aumenta o risco de rompimento de taludes e pode comprometer o tempo de vida útil das geomembranas¹⁰.

Alternativamente, dependendo da localidade, o chorume pode ser transportado para Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), onde é submetido à degradação microbiológica. Essa operação gera grandes quantidades de lodo, como é o caso da Sabesp, em São Paulo. Mas é salutar considerar que o tratamento de esgoto representa ainda um desafio de grandes dimensões em nosso país, pois menos que 30% do esgoto urbano passa por estações de tratamento antes do despejo final. Além disso, exceto no caso de amostras muito diluídas, grande

parte das ETEs não estão preparadas para receber este tipo de efluente, que normalmente causa danos à população microbiana da estação, prejudicando o tratamento.

Uma vez que não existem processos unitários convencionais totalmente viáveis e eficientes que permitam reduzir todos os parâmetros ambientalmente relevantes da matriz de chorume, há uma crescente tendência, principalmente nos países desenvolvidos, de utilização de novas tecnologias, as quais envolvem o emprego de processos oxidativos avançados (POAs), oxidação eletroquímica, bioreatores com membranas (MBRs) ou processos combinados.

1.3. PROCESSO FOTOELETROQUÍMICO

Atualmente este processo está sendo utilizado em diversos processos de fabricação e está em crescente utilização na área ambiental. Em relação às vantagens oferecidas por este processo, tem-se a compatibilidade ambiental (já que o reagente principal é o elétron), a sua facilidade de automação e a sua versatilidade (dimensões reduzidas, baixos tempos de retenção, possibilidade de tratamento de volumes variáveis e diferentes tipos de efluente). Além disso, o processo mostra-se eficiente, pois é aplicável a substâncias persistentes e, na maioria das vezes, não gera lodo¹¹.

Pesquisadores utilizando diferentes tipos e composições de eletrodos, tais como de cobre, alumínio¹², Ti/PbO₂, Ti/SnO₂¹³, ADE¹⁴ têm obtido significativas remoções, em chorume, de compostos nitrogenados, DQO e COT através de oxidação eletroquímica, sem a geração de subprodutos tóxicos ou lodo. O processo eletroquímico utiliza um sistema composto por eletrodos ligados em potencial ou corrente elétrica constante, e é capaz de oxidar substâncias contaminantes através de reações químicas diretas ou indiretas.

Considerando-se que nos últimos anos pesquisas para remediação fotocatalítica de diversos tipos de efluentes também têm sido bem sucedidas¹⁵⁻¹⁷, este método pode ser aplicado em conjunto com a eletrólise. O processo fotocatalítico utiliza radiação da luz para produzir ou acelerar reações em moléculas e organismos.

Baseado na necessidade de desenvolvimento de processos alternativos para tratamento de efluentes complexos, utilizou-se neste trabalho, um sistema fotoeletroquímico, em escala piloto, para tratar chorume bruto de aterro sanitário.

2 MATERIAL E METODOLOGIA

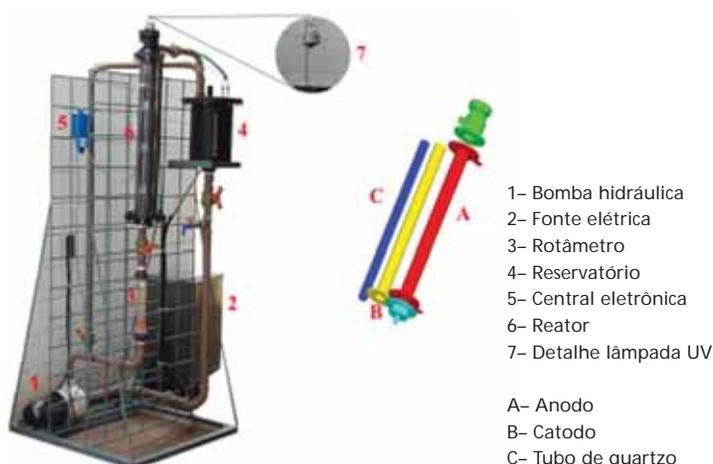
FOI PROJETADO E CONSTRUÍDO O SISTEMA FOTOELETROQUÍMICO¹⁸ ILUSTRADO NA FIGURA 1, O QUAL FOI UTILIZADO PARA TRATAR, AO LONGO DE 4 ANOS, CHORUME DE UMA CÉLULA DE 15 ANOS DO ATERRO SANITÁRIO DA CIDADE DE RIO CLARO, SP. O sistema consiste de um reservatório, rotâmetro, tubulações, bomba hidráulica e o reator fotoeletroquímico. O reator foi confeccionado utilizando-se anodo de titânio revestido com 70%TiO₂/30%RuO₂ e cátodo de titânio, alocado interna e concentricamente ao anodo. Dentro do cátodo foi inserido um tubo de quartzo e dentro deste, uma lâmpada

ultravioleta de média pressão de 102 W. O reator recebe polarização através de fonte elétrica externa (PU21 da Termocontroles Ltda). O diferencial deste sistema está no fato de utilizar um eletrodo comercial insolúvel de alta resistência química e mecânica e com longo tempo de vida útil. Este tipo de eletrodo foi desenvolvido originalmente para a indústria de cloro-soda, e tem tempo de vida útil superior a 10 anos. No sistema, o chorume é colocado no reservatório, donde, através da bomba hidráulica, é impulsionado em fluxo vertical ascendente através do reator tubular para posteriormente retornar ao reservatório, em sistema fechado de recirculação. Todos os experimentos foram realizados com 18 L de chorume "in natura" e em temperatura ambiente, sem adição de reagentes químicos.

Visando estudo e monitoramento da redução de cor e carga orgânica, foram coletadas amostras em tempos pré-determinados e realizadas análises de absorbância, amônia, DQO, DBO₅, COT, metais, toxicidade aguda, cloreto, pH, condutividade e temperatura. Foi utilizado o espectrofotômetro de UV-VIS da Shimadzu modelo UV 1601PC para as medidas de absorbância em 400 nm, espectrofotômetro de absorção atômica Perkin-Elmer 3810 para análise de metais, equipamento Analion PM 600 com eletrodo de íon seletivo Orion 95-12 para medir amônia e pH, condutivímetro Orion modelo 115 para as medidas de condutividade e analisador Shimadzu TOC-5000 APC para determinação de carbono orgânico total. As leituras da DQO foram realizadas através do digestor Hach 45600 conjuntamente com o espectrofotômetro da Hach modelo DR/2010 utilizando-se do sistema da digestão em refluxo fechado; utilizou-se o método do tiocianato de mercúrio e espectrofotômetro Hach DR/2010 para medidas de cloreto. A toxicidade EC(50)48h foi realizada com *Daphnia similis*. Foram determinados também os elementos depositados no cátodo por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) através do equipamento Jeol JXA 840 acoplado a um sistema de varredura por energia dispersiva ("EDS") calibrado com padrão de cobre.

FIGURA 1:

FOTO DO SISTEMA UTILIZADO PARA TRATAMENTO DE CHORUME E REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO REATOR ELETRÓQUÍMICO.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

INICIALMENTE, VISANDO VERIFICAR A INFLUÊNCIA DA VAZÃO E DA DENSIDADE DE CORRENTE (J) SOBRE A REMOÇÃO DE COR, COT E DQO, FORAM REALIZADAS ELETRÓLISES GALVANOSTÁTICAS NAS VAZÕES DE RECIRCULAÇÃO (Q) DE 300 L h⁻¹, 1000 L h⁻¹, 2000 L h⁻¹ E 3000 L h⁻¹, PARA AS DENSIDADES DE CORRENTE DE 13,0, 25,0, 39,0, 48,0, 78,0, 90,0 E 116,0 mA cm⁻². FOI CONSTATADO QUE A VARIAÇÃO DA VAZÃO NÃO EXERCEU INFLUÊNCIA SIGNIFICATIVA NA REDUÇÃO DOS PARÂMETROS ESTUDADOS, TANTO PARA ELETRÓLISE COMO PARA ELETRÓLISE ASSISTIDA PELA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA, OU SEJA, QUANDO FOI UTILIZADA LÂMPADA ULTRAVIOLETA SIMULTANEAMENTE. CONSTATOU-SE TAMBÉM QUE O MAIOR VALOR DE DENSIDADE DE CORRENTE APRESENTOU AS MELHORES TAXAS DE REMOÇÃO. CONSIDERANDO-SE O INTERESSE PRÁTICO DE TRATAR O MAIOR VOLUME NO MENOR TEMPO POSSÍVEL, OPTOU-SE REALIZAR OS EXPERIMENTOS UTILIZANDO A VAZÃO CONSTANTE EM 2000 L h⁻¹ E DENSIDADE DE CORRENTE DE 116,0 mA cm⁻².

Aplicando-se o tratamento eletrolítico durante 180 min a 116,0 mA cm⁻² e 2000 L h⁻¹ foi possível remover de 86 a 100% da cor, 33 a 73% do COT, 31 a 90% da DQO e 31 a 100% da amônia, dependendo das condições iniciais do chorume. A Figura 2 mostra o gráfico da redução percentual em função do tempo e a foto do chorume de um dos experimentos realizados. Medidas da DBO após tratamento eletrolítico indicaram remoções entre 20 e 98%, enquanto que foram também observadas significativas reduções na toxicidade aguda. Isto pode indicar que o tratamento não gerou subprodutos tóxicos. Os testes de MEV/EDS constataram que o sistema proporciona a retirada de componentes do efluente, entre eles, íons, tais como Mg, Ca, P, Fe, Cu, Si e Ti, que ficam retidos no catodo e podem ser separados por lavagem em solução ácida. Foram obtidas remoções de 23% (m/m) no teor de ferro e 38%, 9% e 85% em cobre, magnésio e cálcio, respectivamente. Os resultados obtidos neste sistema podem ser empregados para ampliação de escala para operação em fluxo contínuo, por meio de estudo cinético dos parâmetros. Observou-se comportamento cinético para remoção de pseudo-segunda ordem, de acordo com a equação 1, com constantes aparentes de velocidade de remoção da cor variando entre 1,58.10⁻⁴ e 3,79.10⁻⁵ ua⁻¹m s⁻¹, COT variando entre 1,60.10⁻⁸ e 4,17.10⁻⁹ m³s⁻¹g⁻¹ e de DQO variando entre 1,27.10⁻⁸ e 2,07.10⁻⁹ m³s⁻¹g⁻¹, conforme pode ser observado na tabela 1. A remoção de amônia e cloreto seguem comportamento cinético de primeira ordem, sendo que a constante média aparente de velocidade de remoção de amônia variou entre 6,87.10⁻⁵ e 3,46.10⁻⁶ m s⁻¹.

No tratamento eletrolítico assistido pela fotocatalise heterogênea, não foi observada melhora significativa na remoção de cor, COT e DQO em comparação ao tratamento eletrolítico atuando sozinho. A principal explicação para este fato é a elevada concentração de sólidos suspensos presentes nas amostras do efluente. Também nestes casos os melhores ajustes cinéticos para remoção de cor, COT e DQO foram de pseudo-segunda ordem.

Abs _{t=0} (ua)	COT _{t=0} (mg L ⁻¹)	DOO _{t=0} (mg L ⁻¹ O ₂)	k Abs (m s ⁻¹ ua ⁻¹)	k COT (m ⁴ s ⁻¹ g ⁻¹)	k DQO (m ⁴ s ⁻¹ g ⁻¹)	Consumo* (kWh)
1,434	1428	2308	3,79.10 ⁻⁵	4,17.10 ⁻⁹	2,07.10 ⁻⁹	4,29
1,381	1451	2004	8,11.10 ⁻⁵	8,51.10 ⁻⁹	7,24.10 ⁻⁹	4,32
1,239	912	1328	8,57.10 ⁻⁵	1,06.10 ⁻⁸	1,04.10 ⁻⁹	4,79
1,227	1625	1436	4,81.10 ⁻⁵	2,92.10 ⁻⁹	3,98.10 ⁻⁹	5,68
1,078	1114	1400	9,13.10 ⁻⁵	9,88.10 ⁻⁹	1,05.10 ⁻⁸	4,80
0,958	995	1272	1,16.10 ⁻⁴	2,13.10 ⁻⁹	1,40.10 ⁻⁸	4,73
0,991	653	1221	1,58.10 ⁻⁴	1,60.10 ⁻⁸	1,27.10 ⁻⁸	6,46

CALCULADO CONSIDERANDO-SE 180 MIN DE TRATAMENTO

TABELA 1: VALORES INICIAIS DE ABSORBÂNCIA, COT E DQO, CONSTANTES APARENTES DE VELOCIDADE DE REMOÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA OS EXPERIMENTOS COM J = 116,0 mA CM⁻² E Q = 2000 L.H⁻¹.

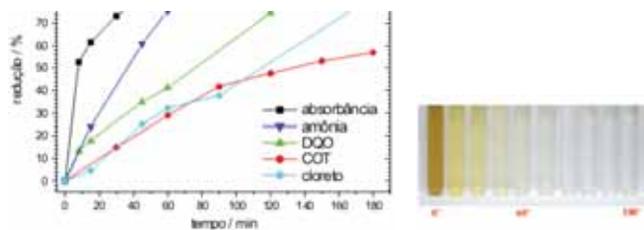


FIGURA 2: GRÁFICO DA REDUÇÃO PERCENTUAL DA ABSORBÂNCIA, COT, DQO, AMÔNIA E CLORETO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE ELETRÓLISE E FOTO DAS AMOSTRAS. J = 116,0 mA CM⁻², V_M = 10,21 V A 2000 L H⁻¹.

EQUAÇÃO 1

$$\frac{1}{C(t)} - \frac{1}{C(t=0)} = k \frac{1}{V(tot)} t \quad (1)$$

Onde: C_(t) é a concentração da absorvância, COT, DQO, cloreto ou amônia no tempo t, C_(t=0) é o valor inicial desta concentração, A é a área do eletrodo (1820,87 cm²), V_(tot) é o volume do chorume processado (18 L), t é o tempo de tratamento e k é a constante aparente de degradação da característica escolhida. A inclinação do gráfico [1/C_(t)] - [1/C_(t=0)] vs t (termo -k.A.V⁻¹), resulta na constante cinética para remoção da concentração.

Considerando-se que 1 kWh para serviço público custa R\$ 0,1898 (em 06/2007), tem-se, por exemplo, para remoções de 100% da cor, 42% de COT, 45% de DQO e 21% de amônia, um custo de R\$ 25,30/m³ (consumo da fonte de alimentação) mais R\$ 0,31 (consumo do motor da bomba hidráulica), relativo a 90 minutos de tratamento (calculados a partir da 5ª linha da tabela 1). Entretanto, experimentos utilizando densidades de correntes menores, adicionando sulfato de sódio como eletrólito e/ou em amostras diluídas - não demonstrados aqui -

mostraram que o custo pode ser drasticamente reduzido, em 4 vezes ou mais.

Vale ressaltar que nas condições experimentais adotadas, o tratamento provavelmente não está gerando subprodutos tóxicos, pois foram observadas reduções na DBO e na toxicidade, como por exemplo, no experimento relativo à terceira linha da tabela 1 (consumo 4,79 kW) onde foi obtida remoção de 71% da DBO₅ e a toxicidade EC(50)48h reduziu de 0,43% para 0,98% após tratamento. O cloro e o hipoclorito gerados são os reagentes responsáveis também pela oxidação de compostos nitrogenados, intermediários e orgânicos residuais¹³. Cloroaminas e organoclorados porventura formados durante o processo a partir da reação dos ácidos orgânicos com o cloro gerado, podem estar deixando o sistema junto com o CO₂, o O₂ e o N₂. Devido aos percentuais de DQO e COT obtidos, acredita-se que o CO₂ e o N₂ são obtidos em pequenas quantidades como produtos finais. Também, em todos os casos, a acentuada redução da absorvância obtida em 254 e 280 nm indica que compostos aromáticos tiveram seu teor reduzido no efluente tratado. Vale salientar que a cor e a amônia são os parâmetros mais difíceis de serem solucionados pelo tratamento biológico convencional.

Evidentemente, embora a utilização do sistema tenha promovido elevadas remoções de cor, COT, DQO, DBO, toxicidade e amônia em curto intervalo de tempo, quando levado em consideração o fator econômico, o tratamento eletrolítico, no atual estágio, não pode ser indicado como forma única de tratamento. Recomenda-se sua utilização em conjugação ao processo biológico, como polimento do efluente. Com base nos valores de k calculados, é possível dimensionar, através da equação 1, sistemas em maior escala utilizando este tipo de eletrodo. Então, como consequência deste trabalho, foi projetado e construído um sistema contendo 10 reatores fotoeletroquímicos iguais aos descritos na Figura 1, colocados em série e operando em fluxo contínuo. Este sistema está sendo atualmente utilizado para tratamento do efluente hospitalar do Hospital das Clínicas da Unicamp, Campinas

(Figura 3), com excelentes resultados. Também, um sistema similar foi construído e teve a patente licenciada para uma empresa.



Figura 3: Sistema fotoeletroquímico para tratamento de efluente hospitalar, instalado no Hospital das Clínicas da Unicamp, Campinas.

4 CONCLUSÕES

O PROCESSO FOTOELETROQUÍMICO MOSTROU-SE EFICAZ PARA O TRATAMENTO DE CHORUME BRUTO, MAS DEVE SER OTIMIZADO PARA CADA CASO, DEVIDO À ALTA VARIABILIDADE DO EFLUENTE. CONSIDERANDO-SE OS ELETRODOS COMERCIALMENTE DISPONÍVEIS, NO ATUAL ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO, É RECOMENDADO COMO TRATAMENTO TERCIÁRIO, DEVIDO AO ELEVADO CUSTO ENERGÉTICO. ENTRETANTO, EM ATERROS ONDE HÁ GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS, SUA IMPLANTAÇÃO PODE VIR A SER ECONOMICAMENTE VIÁVEL. TAMBÉM, EM ATERROS QUE TRANSPORTAM CHORUME ATÉ AS ETES PARA TRATAMENTO E COMO CONTRAPARTIDA RECEBEM LODO A SER DISPOSTO, DEVE-SE CONSIDERAR A ECONOMIA A SER OBTIDA PELO TRATAMENTO “IN LOCO” COMO CONSEQÜÊNCIA DA AUSÊNCIA DE NECESSIDADE DE MANEJO E TRANSPORTE DO EFLUENTE.

Como principais pontos positivos a serem salientados, destacam-se o reduzido tempo de retenção do efluente e a economia a ser obtida na aquisição de terreno, já que esta “tecnologia limpa” demanda reduzido espaço físico em relação aos tratamentos biológicos e físico-químicos tradicionais, principalmente se utilizada em substituição aos mesmos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CLEMENT, B.; JANSSEN, R. C.; DÜ-DELEPIERRE, A. Estimation of the hazard of landfills through toxicity testing of leachates. *Chemosphere*, 35(11), 2783-2796, 1997.
2. CHIANG, L.; CHANG, J.; WEN, T. Electrochemical treatability of refractory pollutants in landfill leachate. *Hazardous Waste & Hazardous Materials*, 12(1), 71-82, 1995.
3. WANG, F.; SMITH, D. W.; EL-DIN M. G. Application of advanced oxidation methods for landfill leachate treatment – A review. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2(6), 413-427, 2003.
4. RIVAS, J. F.; BELTRAN, F.; CARVALHO, F.; ACEDO, B.; GIMENO, O. Stabilized leachates: sequential coagulation–flocculation + chemical oxidation process. *Journal of Hazardous Materials*. B116, 95–102, 2004.
5. VAN DER ROEST H. F.; VAN BENTEM, A. G.; LAWRENCE, D. P. MBR-technology in municipal wastewater treatment: challenging the traditional treatment technologies. *Water Science & Technology*, 46(4-5), 273-280, 2002.
6. TABET, K. et al. Purification of landfill leachate with membrane processes: preliminary studies for an industrial plant. *Separation Science and Technology*, 37(5), 1041-1063, 2002.
7. POHLAND, F. G.; HARPER, S. R. Critical Review and Summary of Leachate and Gas Production from Landfills, Atlanta: Scholl of Civil Engineering, 1985, 165p.
8. SILVA, A. C.; DEZOTTI, M.; SANT’ANNA JR, G. L. Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate. *Chemosphere*, 55(2), 207-214, 2004.
9. NEMEROW, S. L.; DASGUPTA, A. Industrial and Hazardous Waste Treatment. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 741p.
10. KOERNER, R. M.; SOONG, T.Y. Leachate in landfills: the stability issues. *Geotextiles and Geomembranes*, 18, 293-309, 2000.
11. MORAES, P. B. Tratamento de Chorume Proveniente de Aterro Sanitário através de Eletrólise assistida por Fotocatálise. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 2004, 118p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica).
12. TSAI, C. T. et al. Electrolysis of soluble organic matter in leachate from landfills. *Water Research*, 31(12), 3073-3081, 1997.
13. COSSU, R. et al. Electrochemical treatment of landfill leachate: oxidation at Ti/PbO₂ and Ti/SnO₂ anodes. *Environmental Science & Technology*, 32(22), 3570-3573, 1998.
14. MORAES, P. B., BERTAZZOLI, R. Electro-degradation of landfill leachate in a flow electrochemical reactor. *Chemosphere*, 58(1), 41-46, 2005.
15. HERRMANN, J. Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. *Catalysis Today*, 53(1), 115-129, 1999.
16. OZTURK, I.; ALTINBAS, M.; KOYUNCU, I.; ARIKAN, O.; GOMEYANGIN, C. Advanced physico-chemical treatment experiences on young municipal landfill leachates. *Waste Management*, 23, 441-446, 2003.
17. BERTAZZOLI, R.; PELEGRINI, R. Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através do processo fotoeletroquímico. *Química Nova*, 25(3), 477-482, 2002.
18. BERTAZZOLI, R.; MORAES, P. B. Reator eletrolítico para tratamento de efluentes têxteis. BR Patente nº PI0201465-3, 28/02/02.