



III-108 - UMA REVISÃO DAS TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE CHORUME E A REALIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

João Alberto Ferreira⁽¹⁾

D.Sc. em Saúde Pública pela ENSP- Fundação Oswaldo Cruz e M.Sc em Engenharia Ambiental pelo Manhattan College (New York-USA). Professor Adjunto do Depto. de Eng. Sanitária e do Meio Ambiente – UERJ.

Gandhi Giordano

M.Sc. em Ciências Ambientais – PGCA-UFF e Especialista em Eng. Sanitária e Ambiental – FEN/UERJ. Professor Assistente e Subchefe do Depto de Eng. Sanitária e do Meio Ambiente – UERJ.

Elisabeth Ritter

D.Sc. em Engenharia Civil – PEC/COPPE/UFRJ e M.Sc. em Engenharia Civil – PUC/RJ. Professora Visitante do Depto de Eng. Sanitária e do Meio Ambiente – UERJ.

Thereza Christina de Almeida Rosso

D.Sc. em Engenharia Oceânica – PenO/COPPE/UFRJ, M.Sc. em Engenharia Civil - PEC/COPPE/UFRJ e Especialista em Engenharia Sanitária – EE/UFGM. Professora Adjunta e Chefe do Depto de Eng. Sanitária e do Meio Ambiente – UERJ. Coordenadora do Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental (FEN/UERJ) e Coordenadora do Mestrado Profissionalizante em Eng. do Meio Ambiente (FEN/UERJ).

Juacyara Carbonelli Campos (Bolsista do CNPq-Brasil)

D.Sc. em Engenharia Química- Tecnologia Ambiental – PEQ/COPPE/UFRJ. Pesquisadora do Depto de Eng. Sanitária e do Meio Ambiente – UERJ.

Páulea Zaquini Monteiro Lima (Bolsista do CNPq-Brasil)

Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental – FEN/UERJ e Engenheira Civil com ênfase em estruturas – UFJF.



Endereço⁽¹⁾: Rua Moraes e Silva, 51-Bloco 1, ap. 905 - Maracanã – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20271-030 - Brasil - Tel: (21) 587-7849/ 254-5371 - e-mail: joaf@vento.com.br

RESUMO

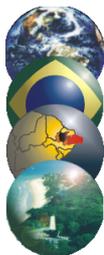
Este trabalho apresenta algumas técnicas utilizadas para o tratamento de chorume gerado em aterros sanitários. Além disso, são apresentados dois estudos de casos de alternativas propostas para o tratamento do chorume de diferentes aterros situados no Estado do Rio de Janeiro: o Aterro Metropolitano de Gramacho (Duque de Caxias) e o Aterro Sanitário do Município de Pirai.

PALAVRAS-CHAVE: Chorume, Tratamento de chorume, Aterros sanitários

INTRODUÇÃO

A grande maioria dos resíduos sólidos gerados pelos municípios do Estado do Rio de Janeiro ainda é disposta em lixões. Menos de 10% dos municípios possuem aterros sanitários. Sendo o Brasil um país em desenvolvimento, com escassez de recursos, mas ressaltando-se a sua grande extensão territorial, a disposição de resíduos sólidos em aterros, sem a passagem por processos de redução, vem se tornando uma alternativa bastante eficaz e em determinadas situações, a única alternativa viável tanto em termos ambientais quanto economicamente.

A quantidade de chorume gerado em aterros é decorrente da percolação de líquidos de origem externa: águas de chuva, escoamento superficial, águas subterrâneas, fontes e da decomposição dos resíduos orgânicos, através das camadas do aterro. Devido às suas características, o chorume deve ser tratado antes de ser lançado no meio ambiente, evitando-se assim maiores riscos de contaminação do solo, das águas subterrâneas e superficiais, com sérias consequências para a saúde pública. Entretanto, o tratamento de chorume representa ainda um grande desafio na elaboração dos projetos de aterros sanitários, uma vez que suas características se alteram em função das características dos resíduos dispostos no aterro e, principalmente, com a idade do aterro



REVISÃO DAS TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE CHORUME

A presente revisão das técnicas de tratamento de chorume foi orientada apenas para alternativas on-site. Destacam-se entre os principais processos: tratamento biológico (aeróbio e anaeróbio), processos de separação com membranas, processos oxidativos, processo eletroquímico e sistemas naturais, particularmente, *wetlands*. Vale a pena ressaltar que, em alguns casos, utiliza-se uma combinação entre processos, como concluiu CAMMAROTA *et al.* (1994), em virtude da alta recalcitrância à biodegradação do chorume. Além disso, um tratamento que muitas vezes é utilizado em conjunto com os outros processos é a recirculação do chorume no próprio aterro. Devido à importância deste processo, a recirculação também é apresentada nesta revisão.

RECIRCULAÇÃO DE CHORUME NO ATERRO

A recirculação do chorume na área já aterrada é considerada um método de tratamento uma vez que propicia a atenuação de constituintes pela atividade biológica e por reações físico-químicas que ocorrem no interior do aterro. Por exemplo, os ácidos orgânicos presentes no chorume irão ser convertidos em CH_4 e CO_2 . É importante ressaltar que um aterro sanitário é um grande reator (não controlado) anaeróbio e a recirculação do chorume aumenta o seu tempo dentro do reator (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993; McBEAN *et al.*, 1995). O efeito de aceleração na estabilização da matéria orgânica presente nos resíduos aterrados promovida pela recirculação do chorume foi estudado por diversos autores (POHLAND, 1975; TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993; McBEAN *et al.*, 1995; REINHART & AL-YOUSFI., 1996; REINHART, 1996; CHUGH *et al.*, 1998). Em todos os trabalhos é destacada uma redução de volume por evaporação. Em países localizados em regiões tropicais, como é o caso brasileiro, a recirculação diminui, significativamente, o volume do chorume em função da evaporação, que é favorecida pelas condições ambientais (temperatura ambiente, ventos, radiação solar, etc.). Além disso, a recirculação permite uma maior flexibilidade no gerenciamento das variações da quantidade de chorume.

PROCESSOS BIOLÓGICOS AERÓBIOS

a) Lodos Ativados

O processo de lodos ativados pode ser definido como um processo no qual uma cultura heterogênea de microrganismos, em contato com o efluente e na presença de oxigênio, tem a capacidade de estabilizar e remover a matéria orgânica biodegradável. O processo pode ser inibido (principalmente a nitrificação) pela presença de substâncias tóxicas e variação de temperatura e do pH do chorume. É utilizado como pré-tratamento de processos de osmose inversa ou na seqüência de outros tratamentos. No caso de chorume velho (pobre em orgânicos biodegradáveis) a relação C/N pode ser muita baixa para o processo biológico.

b) Lagoas Aeradas

O processo de lagoas aeradas é recomendável quando existem grandes áreas de terra disponíveis, é de elevada eficiência, baixo custo de instalação e manutenção e de operação fácil e econômica. Apresenta, ainda, a vantagem de ser pouco sensível a oscilações de sobrecarga orgânica. Atinge alta eficiência de remoção da DBO, podendo chegar a mais de 90%. No entanto, dependendo da potência de aeração instalada haverá, com o tempo, uma deposição de sólidos no fundo da lagoa, reduzindo a eficiência e necessitando de drenagem ou instalação de um decantador secundário para evitar o alto teor de sólidos no efluente final.

HAARSTAD & MAEHLUM (1999) discutem a situação dos aterros sanitários de resíduos municipais da Noruega (cerca de 250 em operação) e apresentam o quadro existente sobre a questão do tratamento do chorume. As preocupações com a simplicidade e com os custos dos sistemas aparecem como referência no estabelecimento dos sistemas de tratamento de chorume. A legislação norueguesa de 1994 estabelece como ideal para o tratamento de chorume, sistemas que possam ser facilmente adaptáveis à qualidade do mesmo, ser resistentes às variações da vazão e concentrações, serem capazes de remover um grande número de compostos (que podem impactar o meio ambiente), serem fáceis de operar e de pouca manutenção e ainda ter baixo consumo de energia e custos compatíveis. Uma seqüência que se enquadra dentro destes requisitos e é considerada adequada às condições da Noruega é a utilização de lagoas aeradas em combinação com sistemas naturais tais como: infiltração no solo, irrigação, filtração e *wetlands*.

Em geral, as lagoas aeradas são utilizadas como etapa que precede a disposição final do chorume em estações de tratamento de esgotos (MAEHLUM *et al.*, 1995). Bons resultados de biodegradação são obtidos



principalmente para chorumes novos. Desde que haja área disponível e vento, a aeração de lagoas pode ser obtida naturalmente, sem a utilização de mecanismos artificiais (aeradores mecânicos, difusores).

c) Filtros Biológicos

No filtro biológico há o contato direto do substrato com o ar atmosférico e com os microrganismos que se desenvolvem aderidos à superfície do meio poroso. Em alguns aterros da Noruega (HAARSTAD & MAEHLUM, 1999) estão sendo aplicadas técnicas de filtração simples, utilizando como meio filtrante cascas de árvores, turfas, materiais de construção como madeiras ou concreto triturado. Os filtros de casca de árvore podem suprir o consumo de O_2 na ordem de 200 a 3.000 mg/L de DQO e 50 a 1.000 mg/L de carbono orgânico total dependendo do fluxo e do tempo de residência. Os filtros com concreto triturado podem remover cor do chorume.

PROCESSOS BIOLÓGICOS ANAERÓBIOS

Nas lagoas anaeróbias, a degradação da matéria orgânica ocorre na ausência de oxigênio. A profundidade destas lagoas está na faixa de 2,0 a 4,0 m, e podem ocupar áreas menores do que as lagoas aeróbias ou facultativas. Operam sem muitos cuidados operacionais e, em geral, a remoção de DBO na lagoa anaeróbia fica em torno de 50%. As lagoas anaeróbias podem ser eficientes sistemas para reduzir a carga orgânica de etapas subsequentes de tratamento de chorume (de lagoas aeradas por exemplo).

Os processos anaeróbios têm se mostrado eficientes na remoção de metais pesados na forma de sulfetos, além de reduções significativas de DQO. Os processos anaeróbios são mais eficientes no tratamento de chorume novo. Apesar disto, podem ser obtidos resultados que sejam suficientes para assegurar um tratamento adequado ao chorume em aterros sanitários. Segundo alguns autores (IGLESIAS *et al.*, 1999; BORCAZZONI *et al.*, 1999), os processos de tratamento anaeróbio de chorume são mais vantajosos do que os aeróbios.

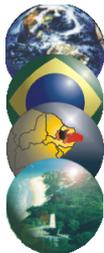
PROCESSOS DE SEPARAÇÃO COM MEMBRANAS

Em função da natureza e do tipo de solutos e da presença ou não de partículas em suspensão, membranas com diferentes tamanhos e distribuição de poros são empregadas, caracterizando os processos conhecidos como microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa. Esses processos podem ser entendidos como uma extensão dos processos de filtração clássica que utilizam, nesta seqüência, meios filtrantes (membranas) cada vez mais fechados, ou seja, com poros cada vez menores.

PETERS (1998) utilizou processos de nanofiltração e osmose inversa para tratar o chorume de aterros sanitários na Alemanha, conseguindo reduzir o seu volume em 75-80%, e reinjetando o concentrado no aterro. Problemas relacionados a eventuais limpezas da membrana, para aumentar a sua vida útil, disposição da corrente concentrada gerada, além do custo elevado das membranas são relatados (McBEAN *et al.*, 1995).

PROCESSOS OXIDATIVOS

A oxidação química é o processo no qual elétrons são removidos de uma substância aumentando seu estado de oxidação. Na maioria dos casos, a oxidação de compostos orgânicos, embora seja termodinamicamente favorável é de cinética lenta. Os Processos Oxidativos podem ser considerados como tecnologias limpas, isto porque na oxidação química não há formação de sub-produtos sólidos (lodo), também não há a transferência de fase dos poluentes (como a adsorção em carvão ativo) e os produtos finais da reação são o CO_2 e a H_2O . Alguns trabalhos na literatura destacam o uso da ozonização no tratamento de chorume (HUANG *et al.*, 1993; STEESEN, 1997), que concordam que uma melhor qualidade de efluente é gerada quando se combina a ozonização com o processo biológico. HUANG *et al.* (1993) destacam que o processo de ozonização é eficiente para a remoção de cor do chorume, além de aumentar a sua biodegradabilidade (relação DBO/DQO); contudo, não é tão efetivo na remoção de carbono orgânico total e amônia. As desvantagens do processo de ozonização se referem ao seu alto custo, do ozônio ter que ser gerado "in situ", da impossibilidade de se ter ozônio em água por um período longo e de não ocorrer a oxidação a CO_2 e H_2O de certos compostos.



PROCESSO ELETROQUÍMICO: ELETROCOAGULAÇÃO

Para tratar chorumes oriundos de aterros mais antigos, uma vez que neste caso o tratamento biológico torna-se mais ineficiente, um processo promissor é o eletroquímico. Segundo TSAI *et al.* (1997), a eletrocoagulação é eficiente para remover matéria orgânica de chorume, que consegue remover moléculas pequenas e grandes. Este estudo utilizou dois pares de eletrodos, Fe-Cu e Al-Cu, alcançando para ambos casos remoções de 30-50% de DQO.

WETLANDS

O termo *wetland* é utilizado para caracterizar vários ecossistemas naturais que ficam parcial ou totalmente inundados durante o ano. Os *wetlands* naturais são facilmente reconhecidos como as várzeas dos rios, os igapós na Amazônia, os banhados, os pântanos, os manguezais, as formações lacustres de baixa profundidade em parte ou no todo, as grandes ou pequenas áreas com lençol freático muito alto, porém, nem sempre com afloramento superficial, entre outros. Os *wetlands* construídos são, pois, ecossistemas artificiais com diferentes tecnologias, utilizando os princípios básicos de modificação da qualidade da água dos *wetlands* naturais. A ação depuradora desses sistemas é devido à: absorção de partículas pelo sistema radicular das plantas; absorção de nutrientes e metais pelas plantas; pela ação de microorganismos associados à rizosfera; pelo transporte de oxigênio para a rizosfera. O fenômeno da evapotranspiração contribui para a redução do volume produzido.

Dentre as principais vantagens desses sistemas, podemos citar: baixo custo de implantação; alta eficiência de melhoria dos parâmetros que caracterizam os recursos hídricos; alta produção de biomassa que pode ser utilizada na produção de ração animal, energia e biofertilizantes.

Alguns autores (GSCHLOBL *et al.*, 1998; GOMES *et al.*, 1996; ROBINSON *et al.*, 1991) destacam a utilização de sistemas de *wetlands* como estágio de polimento, após um tratamento prévio biológico, que na maioria dos casos é uma lagoa aerada. Neste caso, o *wetland* tem uma função de promover uma remoção adicional da carga orgânica e da amônia, além de promover a desnitrificação do nitrato produzido na etapa do tratamento biológico. A utilização de *wetlands* como um único estágio de tratamento também é considerada, porém um fator limitante para o sucesso desse tratamento é o alto teor de amônia presente no chorume (ROBINSON *et al.*, 1991), cuja remoção depende da colheita da vegetação utilizada no *wetland*.

ESTUDOS DE CASOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

A construção de Aterros Sanitários no Estado do Rio de Janeiro vem sendo implementada recentemente. São poucos os municípios que vem captando seu chorume e implantando um sistema de tratamento. São relatados dois casos: o Aterro de Gramacho, que recebe os resíduos domiciliares da cidade do Rio de Janeiro, e o do município de Pirai, município de pequeno porte, localizado no Vale do Paraíba do Sul.

ATERRO METROPOLITANO DE GRAMACHO

O Aterro Metropolitano de Gramacho está localizada no Município de Duque de Caxias, junto à Baía de Guanabara, sendo a maior parte localizada em área de manguezal. Durante o período de 1977 a 1995, uma área de 1,4 milhão de metros quadrados foi utilizada como depósito de lixo, exposto a céu aberto, sem nenhum tipo de cuidado ou controle e recebeu cerca de 25 milhões de toneladas de lixo, que afetou grande parte do estuário do rio Iguaçu, às margens da Baía de Guanabara, além de sufocar a vegetação, secando os outros braços de rios da região.

Com o objetivo de transformar o vazadouro a céu aberto de Gramacho em Aterro Sanitário Metropolitano Gramacho (A.M.G), a Prefeitura do Município do Rio de Janeiro, através da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB); realizou uma série de interferências nesta área. Estas interferências visavam adequar o aterro às diretrizes técnicas e sanitárias do órgão fiscalizador estadual, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), voltadas para a preservação ambiental.

Como etapa inicial de tratamento, desde janeiro de 1997, está sendo efetuado o processo de recirculação do chorume no aterro através de caminhões-pipa, com capacidade de 15 m³, especialmente preparados com



regadores horizontais que irrigam as pistas. Esta recirculação contribui para a diminuição de particulados na atmosfera, e causa a evaporação do chorume, diminuindo seu volume no Aterro.

A atual estação de tratamento de chorume teve seus estudos iniciados em escala laboratorial em 1997. Ela está operando desde maio de 2000. A configuração final do processo de tratamento de chorume inclui três estágios (Figura 1): estágio preliminar (lagoa de equalização, gradeamento e tanque de homogeneização); estágio primário (eletrocoagulação); estágio secundário (tratamento biológico aeróbio por lodos ativados) e estágio terciário (nanofiltração). A seqüência final adotada foi a que apresentou melhor eficiência de remoção de matéria orgânica, medida por DBO, DQO e os demais materiais tóxicos, como por exemplo o nitrogênio amoniacal. Os resultados encontrados a partir do tratamento proposto estão apresentados na Tabela 1.



Figura 1: Configuração da Estação de Tratamento de Chorume de Gramacho

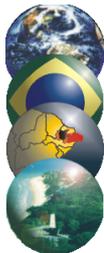


Tabela 1: Resultados Encontrados a Partir do Tratamento Proposto (FERREIRA *et al.*, 2000)

Parâmetros	Chorume Bruto	Efluente Tratado	Remoção (%)
Cálcio (mg/L)	187	23,2	88
Cloreto (mg/L)	3.534	1.285	64
Cor (mg/L)	-	2,5	-
Condutividade (mhos/cm)	10.276	4.520	-
DBO (mg/L)	494	113	77
DQO (mg/L)	3.275	800	75
Magnésio (mg/L)	99,1	15,4	84
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	934	91	90
pH	8,0	7,6	-
RFT (mg/L)	8.240	2.344	71
RFV (mg/L)	1.240	1.236	-
RNFT (mg/L)	199	11	94
RNFV (mg/L)	107	7	93

ATERRO SANITÁRIO DE PIRAI

O município de Pirai tem apresentado nos últimos anos uma taxa de crescimento populacional anual bem maior que a taxa de crescimento do Estado. Este rápido crescimento populacional associado ao desenvolvimento do município criou déficit em alguns dos serviços públicos, como por exemplo na limpeza urbana, onde o principal problema se encontrava no destino final dos resíduos sólidos domiciliares. O lixo era disposto no vazadouro localizado no município de Volta Redonda em precárias condições sanitárias e ambientais. Por isto, a administração municipal resolveu implantar um Aterro Sanitário.

O Aterro Sanitário de Pirai entrou em operação a partir de maio de 2000. Nele serão dispostos cerca de 220.000 toneladas de lixo, considerando-se uma taxa de recalque de 10% para toda a área ao longo da vida útil e uma taxa de compactação final de 0,8 t/m³. O cálculo indica que o aterro terá uma vida útil de 30 anos. A primeira amostra de chorume foi coletada seis meses após início da operação do aterro e a sua caracterização está apresentada na Tabela 2.



Tabela 2: Caracterização do Chorume do Aterro Sanitário de Pirai.

Parâmetros	Chorume
Coliformes fecais (NMP em 100 mL)	90.000
Coliformes totais (NMP em 100 mL)	240.000
Cádmio (mg/L)	0,01
Cobre (mg/L)	0,03
Zinco (mg/L)	0,06
Cloreto (mg/L)	434
Sulfeto (mg/L)	1,3
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ /L)	1.746
Cálcio (mg/L)	1.200
Sódio (mg/L)	584
Condutividade (mho/cm)	5.535
Cor (mg Pt/L)	3.000
pH	6,1
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	162
N-Kjeldahl (mg/L)	170
Detergentes (mg/L)	0,9
RFT (mg/L)	6.090
RNFT (mg/L)	560
COT (mg/L)	3.411
DQO	4.587
DBO (mg/L)	2.292

O sistema de drenagem de chorume foi projetado com drenos em espinha de peixe, que convergem para um tanque de acumulação. Para o tratamento desse chorume, o seguinte estudo está em andamento: o chorume será encaminhado para tratamento num filtro biológico, composto de uma manilha de concreto preenchida com brita. Após o filtro, o rejeito passará por um leito de plantas aquáticas (*wetland*), de onde o efluente é destinado a uma lagoa (Figura 2). A recirculação, eventual, será realizada com a utilização de drenos específicos previstos no projeto.

O efluente da lagoa pode ser destinado a uma vala de drenagem superficial que deságua no pequeno córrego existente próximo à área. No entanto, a observação dos primeiros 10 meses de operação e os dados disponíveis do balanço hídrico do projeto, levaram à proposição de se estabelecer um sistema fechado, sem efluente final, aumentando-se a capacidade de acumulação da lagoa, plantando-se, nas encostas da parte inicial da área do aterro, vegetação do gênero *salix*, que serão utilizadas como zona de irrigação do efluente da lagoa.

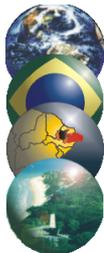


Figura 2: Sistema de Tratamento para o Chorume Gerado no Aterro Sanitário de Pirai.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação às técnicas de tratamento de chorume descritas, sistemas biológicos aeróbios são bastante efetivos para chorume novo, quando a razão DBO/DQO é maior que 0,4. Tratamento de chorume por via anaeróbia é um processo também efetivo, mas o efluente deste processo possui uma alta DQO (1.000-1.400mg/L). Desta maneira, depois de um tratamento anaeróbio, o chorume geralmente é tratado aerobiamente para ser enquadrado à legislação ambiental vigente.

Apesar do tratamento biológico ser o mais utilizado para tratar chorume, ele pode ser ineficiente quando o chorume é originário de aterro de meia-idade e velho. Pois, neste caso, o rejeito apresenta-se de forma mais resistente à biodegradação, necessitando, assim, de uma etapa que consiga diminuir a recalcitrância do chorume (processo físico ou físico-químico).

Uma outra técnica, que é bastante simples e que pode ser utilizada combinada com as demais já citadas, é a recirculação de chorume. A recirculação do chorume, além de permitir uma redução de volume por evaporação, aumenta a degradação anaeróbia no interior do aterro, devido a uma melhor distribuição de nutrientes e umidade. Para o Brasil, esta técnica é bastante adequada, principalmente devido às condições ambientais de temperatura, ventos, irradiação solar que favorecem a evaporação. No Aterro Metropolitano de Gramacho a recirculação já vem sendo utilizada desde 1997 com uma grande eficácia, certamente pelas condições climáticas já citadas, contribuindo, ainda, para redução do volume do chorume a ser tratado na estação. No aterro em Pirai está prevista a recirculação, quando o volume de chorume produzido exceder a capacidade do sistema projetado.

No recente sistema proposto para Gramacho, verifica-se a combinação de técnicas de tratamento do chorume: processo eletroquímico associado ao biológico (lodo ativado) e físico (nanofiltração). A sofisticação deste sistema está compatível com a qualidade do chorume de Gramacho, que tem uma mistura de chorume velho (resultado da deposição de resíduos domiciliares e industriais) e chorume novo.

A irrigação é uma técnica bastante difundida na Suécia (FERREIRA, 2000), como complementação ao tratamento dado ao chorume gerado em aterros sanitários. Neste país, o sistema de tratamento de chorume engloba a utilização de lagoas e/ou *wetlands*, onde o efluente segue para a irrigação de áreas plantadas com diferentes tipos de culturas do gênero *salix*.



A possibilidade de se ter um sistema fechado de tratamento de chorume, sem efluente para ser lançado em corpos d'água, utilizando a capacidade de processos naturais para a redução do potencial poluidor do chorume é muito interessante, do ponto de vista operacional e econômico. Desta maneira, o tratamento de chorume através de lagoas e/ou *wetlands*, seguido de irrigação de área plantada é bastante promissor para utilização em aterros sanitários de pequenos e médios municípios, como por exemplo, o município fluminense de Pirai.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do CNPq, uma entidade do Governo Brasileiro voltada ao desenvolvimento científico e tecnológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BORCAZZONI, L. *et al.* Anaerobic - Aerobic Treatment of Municipal Waste Leachate. *Environmental Technology*, v. 20, p. 211-217, 1999.
2. CAMMAROTA, M. C., RUSSO, C., SANT'ANNA JR., G. L. Tratabilidade do Chorume Gerado no Aterro Sanitário Metropolitano do Rio de Janeiro. *Anais do I Encontro Brasileiro de Ciências Ambientais*, v. 2, p. 453-473, 1994.
3. CHUGH, S. *et al.* Effect of Recirculated Leachate Volume on MSW Degradation. *Waste Management & Research*, v.16, pp. 564 – 573, 1998.
4. FERREIRA, J. A.. Relatório Técnico – Bolsa BSP. Visita Técnica à Universidade de Kalmar – Suécia. Programa Rhae/CNPq, 70pp., 2000.
5. FERREIRA, J. A. *et al.*, Revisão sobre Técnicas de Tratamento de Chorume de Aterros Sanitários e Relato de Casos no Estado do Rio de Janeiro, Relatório Técnico, 52 pp., Rio de Janeiro, RJ, 2000.
6. GOMES M. M *et al.* Landfill Leachate Management: Treatment Options and Economic Aspects. *Asia Pacific Tech Monitor*, v. 13, n.6, p.23-31, 1996.
7. GSCHLOBL T. *et al.* Constructed Wetlands for Effluents Polishing of Lagoons . *Water Research*, v.32, n. 9, p. 2639-2645., 1998.
8. HAARSTAD, K., MAEHLUM, T. Important Aspects of Long-Term Production and Treatment of Municipal Solid Waste Leachate. *Waste Management & Research*, v. 17, p.470-477, 1999.
9. HUANG, S., DIYAMANDOGLU, V., FILLOS, J. Ozonation of Leachates from Aged Domestic Landfills. *Ozone Science & Engineering*, v.15, p. 433-444, 1993..
10. IGLESIAS, J. R. *et al.* A Comparative Study of the Leachates Produced by Anaerobic Digestion in a pilot Plant and at a Sanitary Landfill in Asturias, Spain. *Waste Management & Research*, v. 18, p. 86-93, 2000.
11. MAEHLUM T., HAARSTAD K., KRAFT P. I. On-Site Treatment of Landfill Leachate in Natural Systems. *Proceedings Sardinia 95, Fifth International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, Italy, p. 463-468, 1995.
12. McBEAN, E.A., ROVERS, F.A., FARQUHAR, G.J. *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. Prentice Hall PTR, USA, 1995.
13. PETERS, T. A. Purifications of Landfill Leachate with Reverse Osmosis and Nanofiltration. *Desalination*, v. 119, p. 289-293, 1998.
14. POHLAND, F. G. Leachate Recycle as Landfill Management Option. *Journal of the Environmental Engineering Division*, p. 1057-1069, 1975.
15. REINHART, D. R. Full-Scale Experiences with Leachate Recirculation Landfills: Case Studies., *Waste Management & Research*, v. 14, p. 347-365, 1996.
16. REINHART, D. R., AL-YOUSFI, A. B. The Impact of Leachate Recirculation on Municipal Solid Waste Landfill Operating Characteristics, *Waste Management & Research* v. 14, p. 337-346, 1996.
17. ROBINSON H. D *et al.* . The Treatment of Landfill Leachate to Standards Suitable for Surface Water Discharge. *Proceedings Sardinia 91, Third International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, Italy, p. 905-917, 1991.
18. STEENSEN, M. Chemical Oxidation for the Treatment of Leachate - Process Comparison and Results from Full-Scale Plants. *Water Science & Technology*, v. 35, p.249-256, 1997.
19. TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. *Integrated Solid Waste Management – Engineering Principles and Management Issues*. IRWIN/McGRAW- HILL, USA, 1993.
20. TSAI, C. T., *et al.* Eletrolisis of Soluble Organic Matter in Leachate from landfills. *Water Research*, v. 31, p. 3073-3081, 1997.