



COBENGE 2005

XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia

"Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças"

12 a 15 de setembro - Campina Grande Pb

Promoção/Organização: ABENGE/UFPG-UFPE

OXIDAÇÃO TÉRMICA DO LÍQUIDO PERCOLADO (CHORUME) DE ATERROS SANITÁRIOS

Lélio Ronaldo Massai – leliomassai@puc-campinas.edu.br

Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Engenharia Ambiental, CEATEC
Campus I – Rodovia Dom Pedro I, Km 136 – Parque das Universidades
13086-900 - Campinas- SP

Lourdes Regina Duarte Massai– lourdesmassai@yahoo.com.br

Bióloga e Professora da Rede Estadual de Educação de São Paulo
Rua Arnaldo Piva – 76 – Jardim Okinawa
13140-000 – Paulínia - SP

***Resumo:** O tratamento do líquido percolado (chorume) dos aterros sanitários, antes do lançamento nos rios é uma medida que minimiza a poluição dos nossos mananciais, HÁFNER (1989); DIETER (1989). Nos últimos anos as implementações de novas tecnologias no tratamento desse tipo de efluente não surtiram os efeitos desejados. HAANDEL e LETTINGA, (1994). Os tratamentos aplicados, sempre apresentam algum inconveniente. Neste trabalho, nós discutimos a oxidação térmica do chorume com produção de água livre de impurezas orgânicas, resíduos gerados inócuos ao ambiente e aproveitáveis como nutriente orgânico. Utilizando o gás butano como fonte de energia, os experimentos foram realizados em bateladas com volume de 0,5 m³. Este volume foi aquecido até ebulição, com produção de água condensada e lodo. Para avaliar o potencial de tratamento, análises químicas e bacteriológicas, foram realizadas antes e após o processo, bem como um levantamento de custo.*

***Palavras chaves:** Oxidação, Aterro sanitário, Chorume, Oxidação térmico, Condensado.*

1) INTRODUÇÃO –

Nos últimos anos as implementações de novas tecnologias no tratamento de chorume não surtiram os efeitos desejados HAANDEL e LETTINGA, (1994). Os tratamentos aplicados, sempre apresentaram algum inconveniente. Na biodegradação muitas das misturas tóxicas dos efluentes são letais aos microrganismos, fato que limita a aplicabilidade deste método, NERGER et all. (1988) e HRISTU (1989). Oxidantes químicos como oxigênio, cloro, ozônio ou água oxigenada não apresentam o problema citado acima, mas, geralmente encarecem em muito o tratamento OLLIS et all (1989). Radicais livres, especialmente o radical hidróxido (OH[•]), são poderosos oxidantes e podem em princípio induzir a mineralização de quase todos produtos químicos orgânicos tóxicos. Eles podem ser gerados na água pela γ -radiólise usando irradiações do ⁶⁰Co. Porém, a aplicabilidade deste método demonstrada por BUSER e ZEHNDER (1985) e GETOFF (1990), é limitada devido: ao alto custo, difícil operacionalidade, severas medidas de segurança para operações e a não aceitação da tecnologia nuclear em nosso meio.

Neste trabalho, nós discutimos a oxidação térmica do chorume com produção de água livre de impurezas orgânicas, lodo gerado inócuo ao ambiente e aproveitável como nutriente orgânico. O aquecimento de 0,5 m³ do chorume foi realizado em um reator de aço inoxidável utilizando a queima do gás butano como fonte de calor. Este volume foi aquecido até ebulição, com produção de água condensada e lodo. Para avaliar, o potencial de tratamento, análises químicas e bacteriológicas foram realizadas no efluente antes e após o processo, bem como um levantamento de custo.

2) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1) Chorume

"Chorume", "purina", "lixívia", "sumeiro", "líquido percolado" ou "lixiviados de aterro sanitário", são termos que designam o líquido viscoso de coloração escura, produzido pela ação enzimática dos microrganismos nos resíduos, pela oxidação química de metais e pela infiltração de água nos aterros sanitários. Sua composição química é variável e depende do tipo de depósito de lixo. De forma geral o chorume é formado pela solubilização de componentes do lixo na água. Os íons que podem ser encontrados e suas possíveis origens são mostrados na Tabela (1).

Tabela-1- Principais íons encontrados no chorume, CHU et all. (1994)

Íons	Produtos
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺	Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos.
PO ₄ ⁻⁻⁻ , NO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁻	Material orgânico
Cu ⁺⁺ , Fe ⁺⁺ , Sn ⁺⁺	Material eletrônico, latas, tampas de garrafas
Hg ⁺⁺ , Mn ⁺⁺	Pilhas comuns alcalinas, lâmpadas fosforescentes
Ni ⁺⁺ , Cd ⁺⁺ , Pb ⁺⁺	Baterias de celular e de automóveis
Al ⁺⁺⁺	Latas descartáveis, utensílios, cosméticos, embalagens
Cl ⁻ , Br ⁻ , Ag ⁺	Tubos de PVC, negativos de filmes e Raio X
As ⁺⁺⁺ , Sb ⁺⁺⁺ , Cr ⁺⁺⁺	Embalagem de tintas, vernizes, solventes orgânicos

Na maioria dos aterros sanitários ou em aterros controlados, este chorume é canalizado para um reservatório sendo posteriormente transportado para Estações de Tratamento de Esgotos ou simplesmente descarregados no manancial mais próximo.

2.2) Morte térmica dos microrganismos

A destruição térmica dos organismos a uma temperatura específica segue uma relação monomolecular de reação, como é mostrada na equação (1), AIBA et all. (1971).

$$\frac{dN}{d\theta} = -kn \quad (1)$$

Onde: k = constante da velocidade de reação, min⁻¹, N = número de organismos viáveis e θ = tempo.

Tempo de redução decimal "D", significa o tempo de exposição térmica durante o qual o número original de microrganismos viáveis é reduzido a um décimo, BIGELOW (1971).

Integrando a equação (1) sob a condição de:

$$N = N_0 \quad \text{para} \quad \theta = 0$$

$$N = N_0 e^{-k\theta} \quad (2)$$

Pela definição acima de “D”:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{10} = e^{-kD}$$

$$D = \frac{2.303}{k} \quad (3)$$

Os esporos são muito mais resistentes ao calor do que as células vegetativas, em outras palavras, os valores de k para as células vegetativas são muito maiores do que aqueles para os esporos. O ácido dipicolínico presente nos esporos é o responsável por sua resistência ao calor, AMAHA (1953).

As figuras (1) e (2) mostram dados típicos de velocidades de morte para esporos e células vegetativas de bactérias, respectivamente, os parâmetros são as diferentes temperaturas. Para simplificação, os pontos de dados foram excluídos dessas figuras. Verifica-se, que a resistência térmica dos esporos de bactérias é muito mais marcante do que aquela de células vegetativas. Durante o aquecimento, à medida que a temperatura aumenta as células vegetativas são eliminadas e há um aumento do número de esporos viáveis, fato atribuído à ativação de esporos dormentes, pelo calor. Com a continuidade do aquecimento esses esporos ativados, são destruídos.

Figura 1 – Dados típicos de velocidade de morte para esporos de *Bacillus stearothermophilus* *Fs 7954*, em água destilada, onde N = número de esporos viáveis a qualquer tempo e N_0 = número original de esporos viáveis, AMAHA (1953).

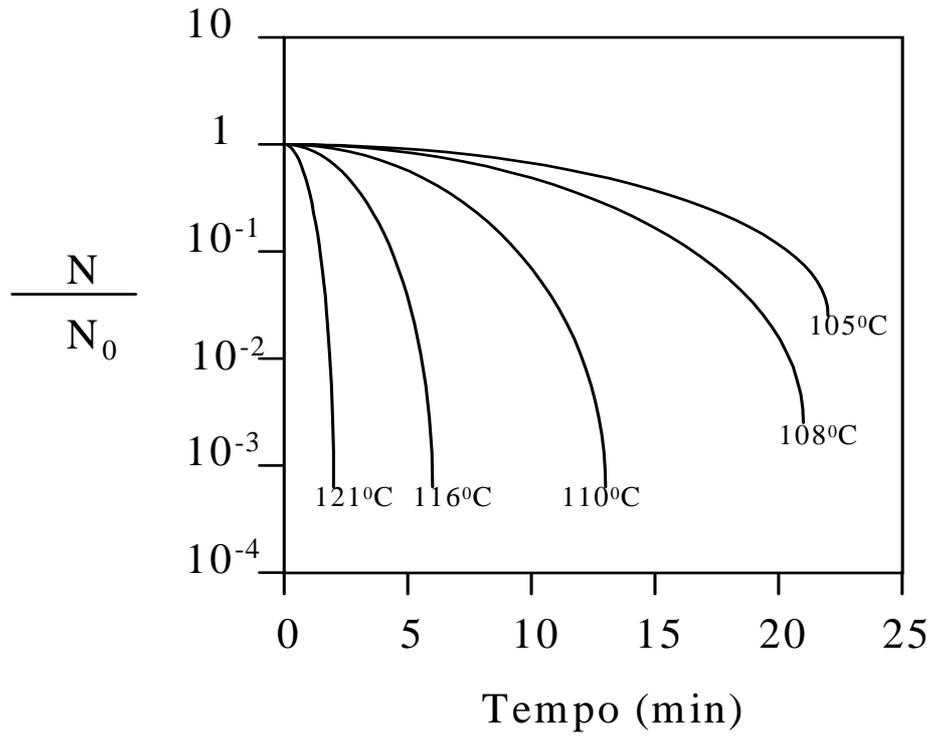
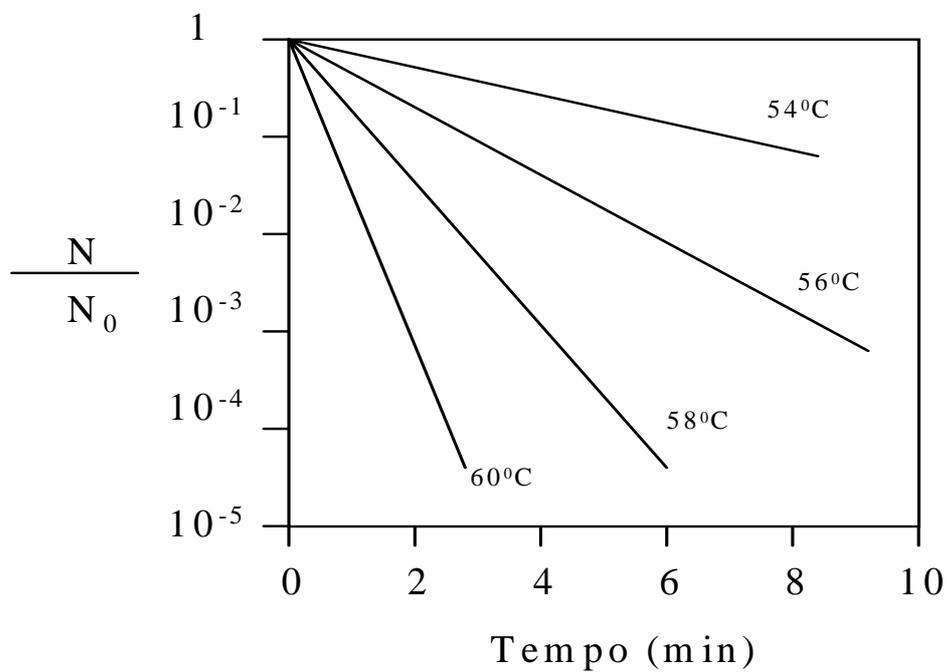


Figura-2 – Dados típicos de velocidade de morte para *E. coli* em tampão, onde N = número de células viáveis a qualquer tempo e N_0 = número original de células viáveis, AMAHA (1953).



3) METODOLOGIA

3.1) Dimensionamento e montagem do reator

Cálculo do volume do reator

$$V = \pi r^2 h \quad (4)$$

Sendo: π , r e h em centímetros.

$$V = 3,14 \times (45)^2 \times 160 = 10173600 \text{ cm}^3 \sim 1,0 \text{ m}^3 \quad (5)$$

Cálculo do volume máximo do chorume

Algumas substâncias, especialmente as orgânicas, contidas no chorume espumam durante a evaporação. A formação de espumas estável pode causar o arraste do líquido concentrado juntamente com o vapor produzido. Devido a isto, o volume máximo permitido para este fato não ocorrer é:

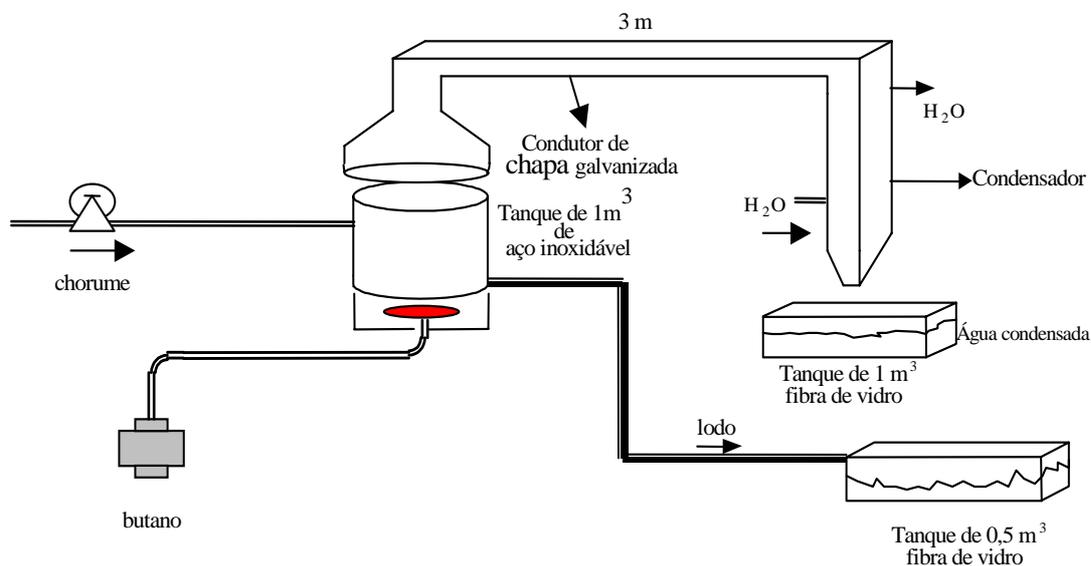
$$V = 3,14 \times (45)^2 \times 80 = 508690 \text{ cm}^3 \sim 0,5 \text{ m}^3 \quad (6)$$

3.2) Destilador à Gás

O destilador apresentado na Figura-(3) apresenta as seguintes características: 01 tanque de aço inoxidável AISI-304 de 160 cm de altura e 90 cm de diâmetro de 30 Kg de peso, condutor de chapa galvanizada de 300 x 0,4 x 0,2 cm, termômetro, chave, dois caixas de fibra de vidro de 0,5 e 1 m³, respectivamente. Um queimador industrial e um botijão de gás butano.

3.3) Balanço térmico

(Figura 3) Destilador a gás



Cálculo da quantidade de calor (Q_C) necessário para evaporar 400 kg de chorume

Considerando a densidade do chorume $d=1,0 \text{ g/ml}$ e que para aquecer 1 Kg de água de 20 a 100 °C são necessárias 80 Kcal e também que para a conversão dessa água em vapor são necessários 540 Kcal, temos que o calor necessário total (Q_{VAP}) será de: $80 + 540 = 620 \text{ Kcal}$.

Como:

$$Q_U = Q_{\text{VAP}} \times m_{\text{CH}} \quad (7)$$

$$Q_U = 620 \times 400 = 248.000 \text{ Kcal} \quad (8)$$

Para uma eficiência de 70% (com 30% de perda de calor) teremos:

$$Q_U = E_F \times Q_C \quad (9)$$

$$Q_C = Q_U / E_F = 248000 / 0,7 = 354.286 \text{ Kcal} \quad (10)$$

Cálculo da quantidade de calor gasta para aquecer o tanque de aço inoxidável de 20 à 100°C

Sendo o peso do tanque de 30 Kg e o calor específico do aço 0,11 cal/g°C temos:

$$Q = m \times C \times T_F - T_I \quad (11)$$

$$Q = 30.000 \times 0,11 \times (100 - 20) = 264.000 \text{ cal ou } 264 \text{ Kcal} \quad (12)$$

Cálculo da quantidade total de calor requerida pelo sistema

$$Q_T = Q_C + Q \quad (13)$$

$$Q_T = 354.286 + 264 = 354.550 \text{ Kcal} \quad (14)$$

3.4) Cálculo do volume de gás natural necessário

Sendo o calor de combustão do gás natural igual a 290 Kcal segundo METCALF e EDDY (1977),

Temos:

$$V_{\text{GAS}} = Q_T \times 22,4 / C \quad (15)$$

$$V_{\text{GAS}} = 354.550 \times 22,4 / 290 = 27.386 \text{ litros ou } \approx 27 \text{ m}^3 \quad (16)$$

Cálculo da massa do gás

Como a densidade do gás natural é de 0,554 g/l

Temos:

$$D = m/v \text{ isolando } m \longrightarrow m = d \times v \quad (17)$$

Substituindo:

$$m = 0,554 \times 27.386 = 15.172 \text{ g } \approx 15 \text{ Kg} \quad (18)$$

Cálculo da massa de gás necessária para evaporar 1000 Kg de chorume

$$m = 15 \times 1000 / 400 = 38 \text{ Kg} \quad (19)$$

um m³ de chorume precisa de 38 Kg de gás.

3.5) Coleta das amostras

O chorume foi coletado no Aterro Delta A da cidade de Campinas/SP. E o processo foi realizado com amostras colhidas em tempo nunca inferior à 1 hora, evitando-se o uso de preservativos. A Tabela (2) fornece as condições em que foram realizadas as coletas.

Tabela-2 - Condições da coleta

Parâmetro↓	Análises→	x ₁	x ₂	x ₃	média	desvios
Temperatura do ar (°C)		23	23	28	28	zero
Temperatura da amostra (°C)		28	28	28	28	zero
pH		8.0	8.1	8.1	8.1	0.05
Chuva		não	não	não	não	-.-

3.6) Oxidação térmica do líquido percolado (chorume)

O reator da Figura (3) foi carregado com o volume calculado na Equação-(6).

Após 60 minutos iniciou-se a produção de vapor. O vapor assim formado foi captado pelo ducto de chapa galvanizada instalada na parte superior do tanque e encaminhado para o condensador, resultando na produção de 400 litros de água condensada, com odor de gás sulfídrico (H₂S). Uma simples aeração substituiu o sulfeto de hidrogênio pelo oxigênio do ar, eliminando assim o odor e permitindo o descarte da água para o ambiente, após as análises.

Para se utilizar esta água condensada para o consumo humano, há necessidade de se aprofundar os estudos com a realização de análises mais específicas que fugiriam do principal objetivo deste trabalho.

O lodo concentrado no reator foi drenado e colocado em caixa de areia para secagem para posteriores análises.

3.5) Análises químicas, físicas e biológicas.

Para avaliar o potencial de tratamento foram realizadas, as seguintes análises, antes e após o tratamento, seguindo os métodos da APHA - American Public Health Association, (1998): alcalinidade, colimetria, dureza, cloretos, DQO (Demanda química de oxigênio), pH, resíduo total e temperatura. As análises foram realizadas sempre em triplicatas e trabalhadas estatisticamente.

4) RESULTADOS

As Tabelas (3), (4) e (5) demonstram os resultados obtidos nos controles analíticos efetuados. Todos os resultados estão expressos em mg/L, excetuando-se colimetria, que está expresso em NMP/100ml (Número mais provável em 100 ml).

Tabela 3 – Resultados das análises do chorume

Parâmetros	Resultados (mg/l)				
	x ₁	x ₂	x ₃	Média	Desvio
Alcalinidade	370,0	400,0	385,0	385,0	17,8
Colimetria(NMP/100ml)	340	400	400	400	Zero
Cloretos	42,0	40,0	35,0	39,0	4,1
Dureza	95,0	100,0	98,0	98,0	3,0

DQO	11500,0	10900,0	11200,0	11200,0	355,0
pH	8,0	8,1	8,1	8,1	0,06
Resíduo total	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	zero
Temperatura	28,0	28,0	28,0	28,0	zero

Tabela 4 – Resultados das análises do lodo que ficou no reator

Parâmetros	Resultados (mg/l)				
	x ₁	x ₂	x ₃	Média	Desvio
Alcalinidade	110,0	100,0	120,0	110,0	11,8
Colimetria (NMP/100ml)	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	Zero
Cloretos	195,0	200,0	205,0	200,0	5,91
Dureza	400,0	400,0	400,0	400,0	zero
DQO	26000	26000,0	26000,0	26000,0	zero
pH	8,5	8,5	8,5	8,5	zero
Resíduo total	3300,0	3600,0	3400,0	3400,0	177,5
Temperatura	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-

Tabela 5 – Resultados das análises da água condensada

Parâmetros	Resultados (mg/l)				
	x ₁	x ₂	x ₃	Média	Desvio
Alcalinidade	15,0	15,0	15,0	15,0	Zero
Colimetria (NMP/100ml)	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	Zero
Cloretos	2,0	2,0	3,0	2,3	0,59
Dureza	1,0	1,5	1,0	1,2	0,30
DQO	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero
pH	7,2	7,0	7,1	7,1	0,12
Resíduo total	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero
Temperatura	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-

A Tabela (6) resume os resultados de todas as análises realizadas

Tabela 6 - Resumo os resultados das análises realizadas

Parâmetros	Resultados médios		
	Efluente bruto	Lodo	Água condensada
Alcalinidade	385,0	110,0	13,0
Colimetria (NMP/100ml)	400	< 2,2	< 2,2
Cloretos	39,0	200,0	2,3
Dureza	98,0	400,0	1,2
DQO	11200,0	26000,0	Zero
pH	8,1	8,5	7,1
Resíduo total	1200,0	3400,0	Zero
Temperatura	28	-.-	-.-

5) CUSTO DO PROCESSO

Se o gás natural do próprio aterro for utilizado, este custo não existirá. Este cálculo serve apenas como uma avaliação de quanto custou o processo com a utilização do gás butano.

Considerando preço do gás butano, vendido no comércio, em botijões de 13 Kg por R\$30,00 e o volume de gás calculado na equação (19) temos:

13 Kg de gás -----R\$ 30,00

38 Kg de gás natural ----- X

$$X = \text{R\$ } 87.70 \text{ por m}^3 \text{ de chorume}$$

6) CONCLUSÕES

- Baixa produção de lodo e processo totalmente inodoro
- Lodo com baixa taxa de contaminação (ver Figuras (1) e (2) e Tabelas (5) e (6) e grande carga de matéria orgânica (ver valor da DQO), fatos que alentam a sua boa qualidade como adubo).
- Produção de água condensada (efluente final) com qualidade superior, quando comparada com a de outros processos.
- Baixo custo de tratamento, somente custo de instalação.
- Tratamento simultâneo de duas emissões poluidoras em potencial do aterro sanitário, chorume e gás metano.

7) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIBA, S. et al. Biochemical Engineering. University of Tokyo Press. 334p., 1971.

AMAHA, M. Heat resistance of Cameron's putrefactive - 3679 in phosphate buffer (*Clostridium spogenes*). *Food Research*. 18, 411, 1953

APHA (American Public Health Association). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington: APHA/American Water Works Association/Water Pollution Control Federation, 1998.

BIGELOW, W.E. The logarithmic nature of thermal death time curve. *J. Infect. Disease* 29, 528, 1971.

BUSER, H.R. and ZEHNDER, A. *Experientia*. 42:1082, 1985.

CHU, L.M. et al. Variations in the chemical properties of landfill Leachate. *Environmental Management*, 18:105-117. 1994.

GETOFF, N. *Radiat. Phys. Chem.* 35:432, 1990.

HRISTU, O. *Toxicol. Environ. Chem.* 20:21-495, 1989.

METCALF and EDDY. Wastewater Engineering Collection, treatment, disposal. MacGrawHill, 1992,

NEGER, M. and MERGLER, R. . Völkl, Z. Wasser - Abwasser - Forsch.21., 1989.

OLLIS, D.F., et all. Protocatalysis Fundamentals and Applications. *Wiley and Sons*. New York. 603p., 1989.

VAN HAANDEL, A.C. and LETTINGA, G. Tratamento Anaeróbio de Esgotos, Epgraf.,1994.

Abstract: *The treatment of Landfill leachate before the discharge in the rivers is a way to minimize the pollution of this effluent, HÄFNER (1989) e DIETER (1989). In the last years the implements of new technologies on leachate's treatment has not achieved the expected results (HAANDEL and LETTINGA (1994). In this work we discussed a termic oxidation of Landfill leachate with produce water free of organic compounds. The experiments were carry with fixed volume of 0,5 m³. This volume was warm until boiling with condensed water production and sludge. To evaluate the handling potential, chemical and bacteriological analyses were carried before and after the process, as well as a survey of cost.*

Key-word: *Oxidation, Landfill, Leachate, Condensed water*

Iniciar a partir desta linha (A Imagem acima só deve constar na primeira página)