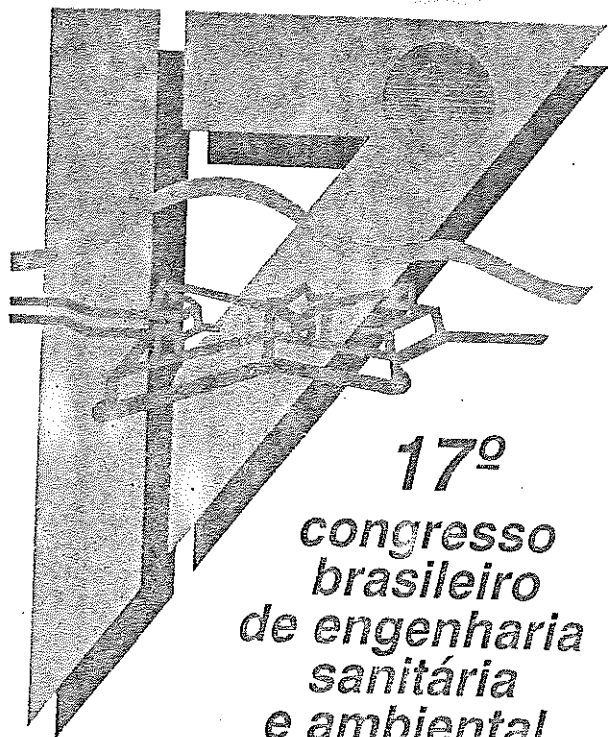




17º
congresso
brasileiro
de engenharia
sanitária
e ambiental

Natal / RN
19 a 23/09/93

V.2
TRABALHOS TÉCNICOS
FOMO 1



TEMA CENTRAL
Saneamento Ambiental
Ação de Saúde Pública

ANAIS DO 17º CONGRESSO
BRASILEIRO DE ENGENHARIA
SANITÁRIA E AMBIENTAL

Natal - RN, 19 a 23 de setembro de 1993

Vol. 2 - Trabalhos Técnicos - Tomo I

CIP-Brasil. Catalogação-na-fonte
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ.

C759a

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (17. : 1993 : Natal, RN)

Anais / do 17. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 2, tomo I ; promoção ABES-Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental ; realização ABES Seção Rio Grande do Norte. — Rio de Janeiro : ABES, 1993

Conteúdo: v.2 t.I. Trabalhos técnicos
ISBN 85-7022-109-6

1. Engenharia ambiental - Brasil - Congressos.
2. Engenharia sanitária - Brasil - Congressos. I. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. II. Título.

93-0804

CDD - 628.06081
CDU - 628:061.3(81)

INFLUÊNCIA DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO EM PROCESSOS DE
DESINFECÇÃO DE ESGOTOS SANITÁRIOS COM RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

Luiz Antonio Daniel
José Roberto Campos

(*)
(**)

CURRÍCULO

- (*) Mestre em Hidráulica e Saneamento e atualmente desenvolve pesquisa a nível de doutorado junto à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo-EESC/USP.
- (**) Professor livre docente junto à EESC/USP onde leciona e pesquisa na área de tratamento de águas residuárias (pós-graduação).

RESUMO

A eficiência da desinfecção com radiação ultravioleta depende da dose absorvida que por sua vez depende da intensidade de radiação recebida e do tempo de exposição.

As substâncias dissolvidas absorvem radiação em maior ou menor grau, dependendo de sua concentração e composição química. A absorção de radiação segue a lei de LAMBERT. Isto permite obter a intensidade recebida a partir da intensidade aplicada na superfície.

Os materiais sólidos em suspensão, em sua maioria, absorvem radiação, podendo, em alguns casos, refleti-la (principalmente argilas). Esses sólidos oferecem proteção aos microrganismos, impedindo que a radiação ultravioleta os atinja. É importante conhecer a concentração e a distribuição de tamanhos destes sólidos.

Neste trabalho foi estudada a influência de sólidos em suspensão de diâmetro entre 1,15 e 40,30 μm .

Para tanto a pesquisa foi dividida em duas fases. A Fase I constou da determinação dos parâmetros cinéticos para coliformes totais e para coliformes fecais. Para reduzir a interferência de sólidos utilizou-se água de abastecimento desclorada à qual foram adicionadas colônias de coliformes totais e coliformes fecais, desenvolvidas em caldo lactosado a $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$, com idade média de 22,13 horas.

Na Fase II foi estudada a influência de sólidos em suspensão, desinfetando esgoto sanitário bruto diluído em água de abastecimento desclorada (1 volume de esgoto para 3 volumes de água).

Para doses elevadas obteve-se boa correlação entre o número total de partículas de sólidos em suspensão com diâmetro entre 1,15 e 40,30 μm e a densidade de microrganismos sobreviventes, indicando que quanto maior a quantidade de sólidos maior será a quantidade de microrganismos sobreviventes, protegidos por estes sólidos, mesmo quando se emprega doses elevadas.

ENDEREÇO: (**) Escola de Engenharia de São Carlos-USP
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465
13561-250 São Carlos-SP

INTRODUÇÃO

A desinfecção de esgotos sanitários é necessária, precedendo seu lançamento em sistemas abertos, como rios e lagos, que podem ser usados para fins de abastecimento de água potável ou para outros propósitos, tais como recreacionais, irrigação, industrial, etc..

Por questões tecnológicas de produção, armazenamento, transporte, custo e relativa facilidade de aplicação, o cloro tornou-se o principal desinfetante, tanto de águas de abastecimento quanto de esgotos sanitários. É utilizado na forma gasosa ou de hipoclorito de sódio ou de cálcio.

Quando o cloro começou a ser utilizado como desinfetante a necessidade básica era impedir a transmissão de doenças de veiculação hídrica. Este objetivo foi atingido nos locais onde a qualidade do serviço prestado (desinfecção de águas de abastecimento e a coleta de esgotos sanitários) foi mantida a nível suficiente para controle das doenças. Afastado o risco de contaminação por patogênicos, as preocupações passaram a ser a possibilidade de ocorrência de subprodutos da desinfecção que poderiam ser prejudiciais à saúde humana.

O cloro, na forma gasosa ou na de hipoclorito, pode gerar subprodutos potencialmente cancerígenos, principalmente trihalometanos, advindos de reações com matéria orgânica, em sua maioria substâncias húmicas (14).

A potencialidade de geração destes subprodutos despertou o interesse por desinfetantes alternativos que apresentassem a mesma eficiência de desinfecção fornecida pelo cloro sem, no entanto, gerar subprodutos tóxicos, orgânicos ou não. Entre essas outras opções destacam-se dióxido de cloro, ozônio, desinfecção em lagoas e radiação ultravioleta.

O dióxido de cloro não apresenta potencialidade de geração de compostos organoclorados, mas se decompõe em clorito e clorato que têm efeitos prejudiciais à saúde humana como, por exemplo, a potencialidade de produzir anemia hemolítica (5).

O ozônio é outro desinfetante que apresenta eficiência comparável à do cloro e não mantém residual com ação desinfetante, o que é vantajoso no caso específico de desinfecção de esgotos sanitários. Por ser um oxidante forte, pode gerar vários subprodutos pela quebra de moléculas orgânicas complexas, os quais podem ser potencialmente cancerígenos como constatado por BULL (2).

Outro método de desinfecção é a utilização de radiação ultravioleta que não mantém residual desinfetante e não tem a potencialidade de gerar subprodutos prejudiciais à saúde como constatado por JOLLEY et alii (9).

A inativação dos microrganismos ocorre a nível cromossômico. A radiação ultravioleta produz alterações nos ácidos nucleicos dos microrganismos, por reações fotoquímicas, formando principalmente dímeros de timina, provenientes de pirimidinas adjacentes de um mesmo fio de cromossomo, que são formados pela ligação de um anel de ciclobutano (3,10). Estes dímeros são a principal causa dos efeitos mutagênicos ou letais quando impedem a duplicação do DNA, inativando a célula.

Entretanto pode ocorrer desdimerização desde que o microrganismo irradiado seja exposto em radiação de comprimento de onda de 300 a 500 nm (fotorreativação) (8). A formação e o acúmulo de dímeros depende do comprimento de onda e da dose de radiação absorvida. A 254 nm a formação de dímeros é cerca de 8 vezes mais frequente que a desdimerização (3).

A utilização de radiação ultravioleta como desinfetante foi observada pela primeira vez por DOWNES e BLUNT [apud (10)] em 1877. Inicialmente esta radiação foi utilizada para promover a desinfecção do ar, de produtos farmacêuticos e em estações compactas de tratamento de águas de abastecimento.

Até estudo realizado por OLIVER e COSGROVE (13) em 1975,

com efluentes secundários, a radiação ultravioleta era utilizada somente para desinfecção de águas de abastecimento, pois acreditava-se que matéria em suspensão, cor e turbidez presentes em maiores quantidades, mesmo em esgotos sanitários tratados, absorveriam grande parte da radiação ultravioleta incidente, inviabilizando o método de desinfecção. Entretanto, este estudo pioneiro provou a viabilidade deste processo que foi testado em escala de laboratório, obtendo-se eficiência de inativação de coliformes totais e de coliformes fecais de aproximadamente 99%. Na mesma época foi iniciada na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - EESC-USP pesquisa sobre a utilização de radiação ultravioleta para desinfecção de esgotos sanitários (4).

A forma mais simples de relação dose-sobrevivência é estabelecida quando a cada aumento de dose reduz-se o número de unidades biológicas sobreviventes de uma população por um fator constante (5):

$$\frac{N}{N_0} = \exp(-kIt) \quad (1)$$

N : densidade de microorganismos no efluente (NMP/100 ml);
 N_0 : densidade de microorganismos no afluente (NMP/100 ml);
 k : constante de inativação ($\text{cm}^2 \text{W}^{-1} \text{s}^{-1}$);
 I : intensidade de radiação ultravioleta (mW cm^{-2});
 t : tempo de exposição (s).

A intensidade de radiação não é constante devido a absorção pelo próprio líquido e pelos materiais dissolvidos e em suspensão. Na Equação (1) pode-se utilizar a intensidade média calculada pela lei de LAMBERT (11).

Embora a concentração de sólidos suspensos seja um importante parâmetro na desinfecção com radiação ultravioleta, exerce maior influência a distribuição dos tamanhos das partículas em suspensão. OLIVER e COSGROVE (13) verificaram esta influência desinfetando esgoto bruto (sólidos suspensos totais de 150 mg/l) e efluente secundário (sólidos suspensos de 9 a 20 mg/l), obtendo resultados significativamente melhores para o efluente secundário. A diferença de comportamento é provavelmente devida à presença de grandes agregados de partículas no esgoto bruto que protegem as bactérias da ação da radiação ultravioleta (16), sendo comprovado que amostras dispersadas com ultrassom apresentaram maior sensibilidade à radiação ultravioleta.

A agregação ou oclusão dos microorganismos na matéria particulada, impede a penetração da radiação ultravioleta, reduzindo a eficiência da inativação. SCHEIBLE (15), partindo da Equação (1), considerou os efeitos da presença de sólidos suspensos, separando as frações de microorganismos agregados e não agregados aos sólidos:

$$N = (N_m + N_p) \exp(-kIt) + N_p \quad (2)$$

N : densidade de microorganismos no efluente (NMP/100 ml);
 N_m : densidade de microorganismos no afluente não associados aos sólidos em suspensão (NMP/100 ml);
 N_p : densidade de microorganismos associados aos sólidos em suspensão (NMP/100 ml);

Considerando, na Equação (2), a intensidade média obtida pela lei de LAMBERT:

$$N = (N_m + N_p) \exp\left\{-kI_0t \left[\frac{1 - \exp(-aL)}{aL} \right]\right\} + N_p \quad (3)$$

I_0 : intensidade de radiação na superfície irradiada (mWcm^{-2});
 a : coeficiente de extinção a 284 nm (cm^{-1});
 L : espessura da lâmina líquida (cm).

MATERIAIS E MÉTODOS

Equipamentos

A pesquisa foi desenvolvida em instalação tipo batch composta de caixa construída com placas de PVC de 3,0 mm de espessura.

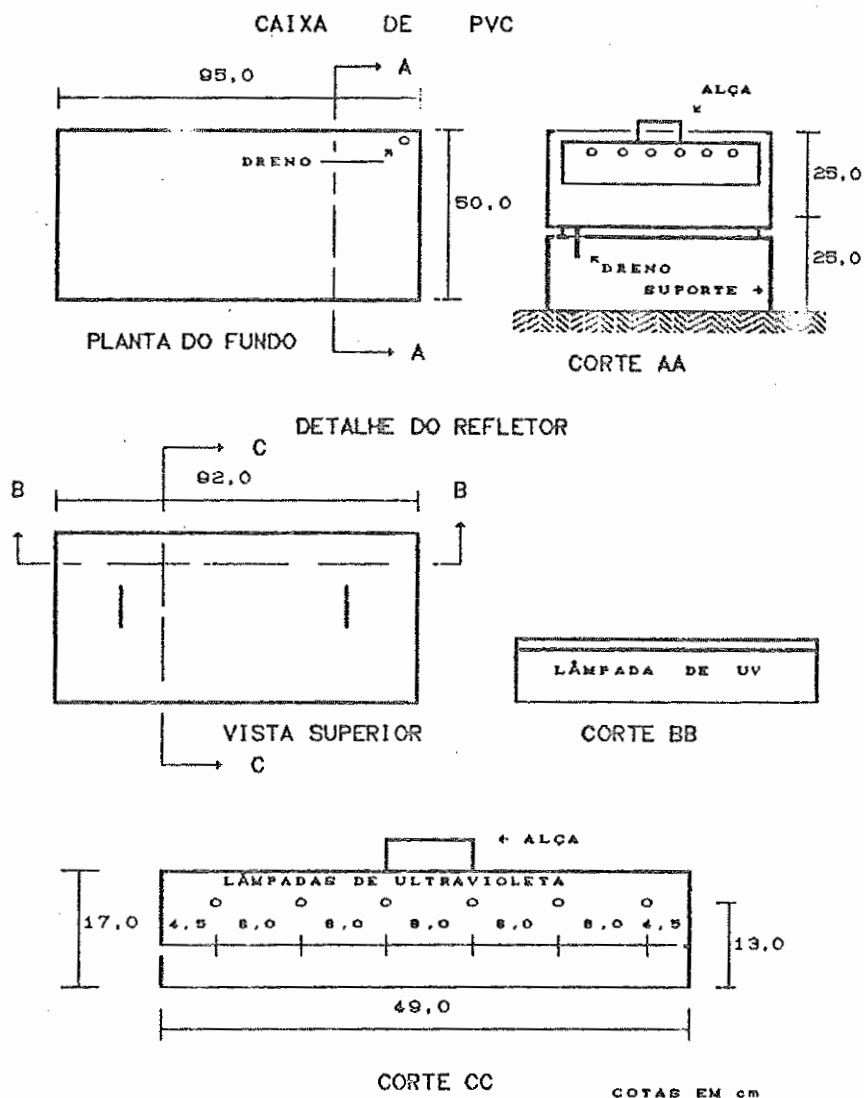


Figura 1 - Instalação tipo batch

com 98,0 cm de comprimento, 50,0 cm de largura e 29,0 cm de profundidade (Figura 1). Esta caixa foi revestida internamente com tinta a base de alumínio que, além de ser resistente à ação do esgoto sanitário, reflete de 46 a 86% da radiação incidente com comprimento de onda de 254 nm (10) e externamente foi revestida com pintura preta fosca. Os esgotos desinfetados foram drenados por tubulação de 19 mm provida de registro de esfera.

A utilização de instalação tipo *batch* elimina as interferências do regime de escoamento que poderiam superestimar ou subestimar a constante de inativação (k), dependendo do desvio entre o regime suposto ideal e o regime real.

A fonte de radiação ultravioleta consistiu-se de 6 lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio, cada uma de 30 W de potência nominal, 90,0 cm de comprimento e encaixes de pinos duplos (lâmpadas Sankyo Denki GT30TB GL30 - Japão). Cada lâmpada estava ligada a um reator convencional de 40 W e 220 V. Estas lâmpadas foram instaladas em refletor paralelepípedo, construído com chapas de alumínio polido de 1,5 mm de espessura. As dimensões e detalhes desta cúpula estão apresentadas na Figura 1.

O acionamento das lâmpadas era feito por meio de interruptor único.

Metodologia dos Ensaios

A intensidade de radiação ultravioleta na superfície do esgoto irradiado foi determinada utilizando ferrioxalato de potássio conforme metodologia desenvolvida por HATCHARD e PARKER (7).

Para a determinação da constante de inativação, influência da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e quantidade e distribuição de tamanho de partículas a espessura da lâmina líquida foi fixada em 4,0 cm.

O esgoto utilizado para a determinação da constante de inativação (Fase I) foi preparado utilizando-se água de abastecimento na qual foram adicionadas colônias de coliformes totais e de coliformes fecais desenvolvidas em caldo lactosado. Para cada 20 litros de esgoto preparado foi adicionado o conteúdo de três tubos de caldo lactosado, cada qual com 20 ml de meio de cultura e inoculado com 10 ml de esgoto sanitário bruto. As colônias foram desenvolvidas à temperatura de $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$ por período de 20 a 24 horas. Este procedimento foi adotado para reduzir a interferência de sólidos em suspensão.

O cloro residual da água de abastecimento não interferiu no processo, pois houve descloração pela ação da radiação ultravioleta durante o tempo mínimo de 15 minutos usado para aquecimento das lâmpadas (12). Os 15 litros de água de diluição foram introduzidos na instalação antes de se ligar as lâmpadas. Após este tempo introduziu-se os 5 litros restantes contendo as colônias diluídas e homogeneizadas.

Nos ensaios para determinação da influência da concentração e distribuição de tamanhos de sólidos (Fase II) utilizou-se esgoto sanitário bruto diluído em água de abastecimento na proporção de 1:3 (esgoto: água).

A avaliação da eficiência de desinfecção foi feita através da determinação do número mais provável (NMP) de coliformes totais e coliformes fecais conforme descrito em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1). Todos os ensaios foram realizados com 6 lâmpadas.

O esgoto submetido à desinfecção foi mantido sob agitação contínua por meio de agitadores magnéticos, para garantir que os microrganismos recebessem a mesma dose média.

A interferência dos sólidos foi avaliada pela contagem de partículas em contador COULTER modelo TA II com tubo de 100 μm de abertura. A faixa de diâmetros dos 18 canais relativos a este tubo

$$N_p = a(P)^b$$

(4)

N_p : microrganismos associados aos sólidos em suspensão (número/100 ml);

P : partículas com diâmetro entre 1,18 e 40,3 μm (número/nl)

a : constante;

b : constante.

Pelo método dos mínimos quadrados obtiveram-se as seguintes equações:

Coliformes totais:

$$N_p = 0,00000347(P)^{7,8565}$$

(5)

$$r = 0,59779$$

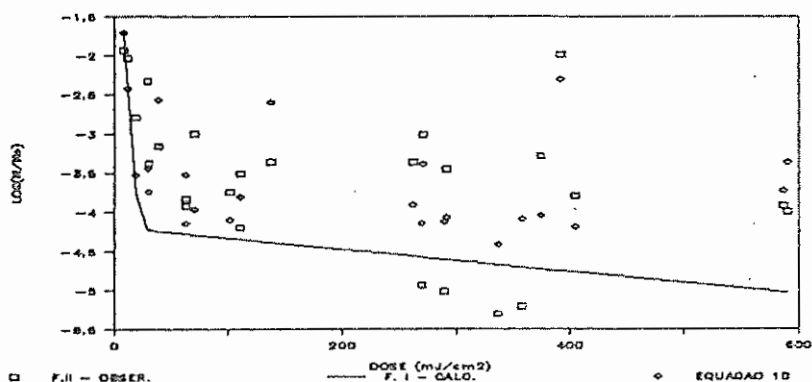


Figura 2 - Inativação de coliformes totais. Influência de sólidos

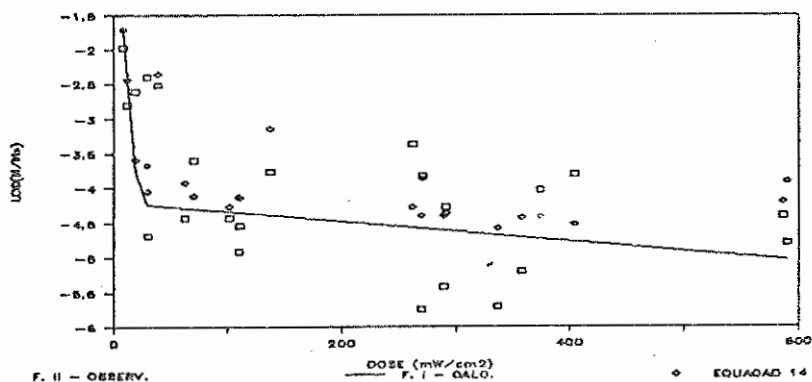


Figura 3 - Inativação de coliformes fecais. Influência de sólidos

Coliformes fecais:

$$Np = 0,00000198(P)^{7,02022}$$

(6)

$$r = 0,57422$$

As equação geral, incluindo a influência de sólidos em suspensão, para coliformes totais está apresentada na Tabela 4 e para coliformes fecais está apresentada na Tabela 5

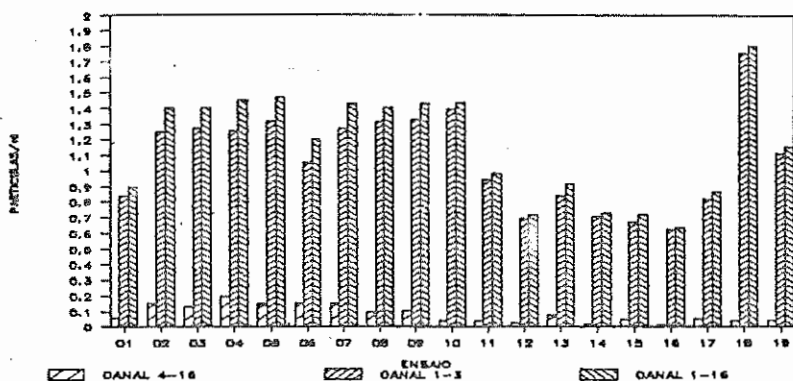


Figura 4 - Distribuição de tamanhos de sólidos em suspensão. Fase I

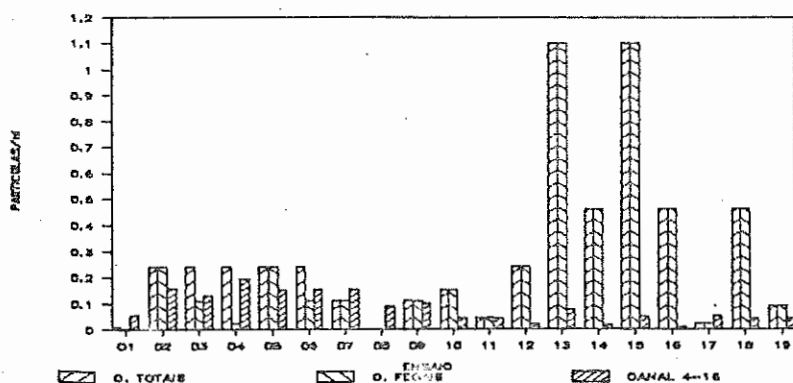


Figura 5 - Distribuição de tamanhos de sólidos em suspensão. Comparação com a densidade de coliformes. Fase I

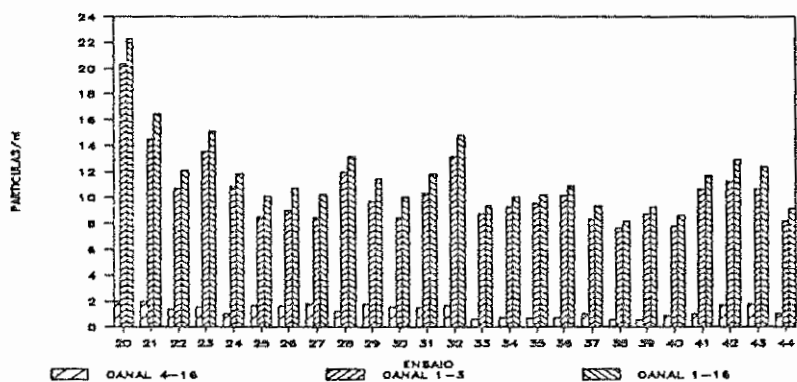


Figura 8 - Distribuição de tamanhos de sólidos em suspensão. Fase II

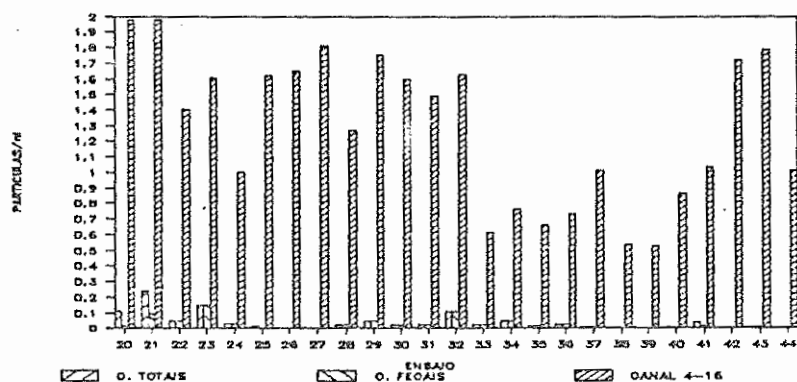


Figura 7 - Distribuição de tamanhos de sólidos em suspensão.
Comparação com a densidade de coliformes. Fase II

Tabela 4 - Equações para fração sobrevivente de coliformes totais

DOSE (mJ/cm ²)	EQUAÇÃO
0 a 24,422	$N = N_0(\exp[-0,407143(It)]) + 0,00000347(P)^{7,3505}$ (7)
24,422 a 742,509	$N = N_0(0,0000552862\exp[-0,00550317(It)]) + 0,00000347(P)^{7,3505}$ (8)
742,509 a 1351,863	$N = N_0(0,00000108891\exp[-0,000207232(It)]) + 0,00000347(P)^{7,3505}$ (9)
	EQUAÇÃO GERAL
0 a 1351,863	$N = N_0(\exp[-0,407143(It)]) + 0,0000552862\exp[-0,00550317(It)] + 0,00000108891\exp[-0,000207232(It)] + 0,00000347(P)^{7,3505}$ (10)
	$r = 0,72334$

Tabela 5 - Equações para fração sobrevivente de coliformes fecais

DOSE (mJ/cm ²)	EQUAÇÃO
0 a 24,422	$N = N_0(\exp[-0,407143(It)]) + 0,00000198(P)^{7,02926}$ (11)
24,422 a 742,509	$N = N_0(0,0000753416\exp[-0,00665513(It)]) + 0,00000198(P)^{7,02926}$ (12)
742,509 a 1351,863	$N = N_0(0,00000195446\exp[-0,000990111(It)]) + 0,00000198(P)^{7,02926}$ (13)
	EQUAÇÃO GERAL
0 a 1351,863	$N = N_0(\exp[-0,407143(It)]) + 0,0000753416\exp[-0,00665513(It)] + 0,00000195446\exp[-0,000990111(It)] + 0,00000198(P)^{7,02926}$ (14)
	$r = 0,723774$

DISCUSSÃO

A determinação de constantes de inativação para desinfecção com radiação ultravioleta exige a utilização de esgotos com baixa absorvância e principalmente com baixa concentração de sólidos suspensos. Deve ser observado que mais importante que a concentração de sólidos é a distribuição de tamanhos de sólidos. A quantidade de sólidos maiores que os microrganismos deve ser mínima para reduzir o efeito protetor, pois esses impedem que a radiação ultravioleta atinja os microrganismos. Se esta medida não for adotada corre-se o risco de obter coeficientes cinéticos subestimados, pois haverá maior quantidade de microrganismos sobreviventes, protegidos pelos sólidos.

Na Figura 5 estão apresentados os NMP/nl de coliformes totais e de coliformes fecais e a quantidade de sólidos suspensos com diâmetro equivalente igual ou superior à maior dimensão dos colifor-

mes, relativos à Fase I. Observa-se que a quantidade de sólidos em suspensão para esta faixa de tamanhos é inferior ao número de coliformes. Esta condição é necessária para a determinação dos parâmetros cinéticos, pois será menor a interferência dos sólidos suspensos.

Para a Fase II a quantidade de sólidos suspensos para a mesma faixa de diâmetros, ou seja, de 2,52 a 40,3 μm é muito superior à quantidade de coliformes, condição necessária para avaliar a influência de sólidos suspensos.

Embora a correlação entre o número de partículas de sólidos em suspensão e o número de coliformes, tanto totais quanto fecais, apresente coeficiente de correlação baixo (0,59779 e 0,57422, respectivamente) a correlação com todos os dados, isto é, para doses de 0 a 1.351 mJ/cm^2 , têm coeficiente maior (0,72344 e 0,723774 para coliformes totais e coliformes fecais, respectivamente).

Esta melhor correlação advém do fato de que a influência de sólidos suspensos, para a faixa de tamanhos e concentração encontradas nos experimentos, é menor em doses menores. Esta propriedade parece lógica pois a parcela de microrganismos não associados aos sólidos é muito maior do que aquela que está associada. Somente para doses maiores, quando a parcela de microrganismos não associados aos sólidos tiver sido inativada a nível de manter densidade de microrganismos próxima ou pouco superior à quantidade de microrganismos associados é que a influência de sólidos será maior, passando a predominar.

Os resultados indicam claramente a existência de três grupos de coliformes, tanto totais quanto fecais, com diferentes sensibilidades à radiação ultravioleta. O grupo menos resistente tem maior influência para doses menores, de até 25 mJ/cm^2 . Os dois grupos mais resistentes são responsáveis pela fração sobrevivente residual, que reduz pouco mesmo para doses muito elevadas.

Portanto, de maneira geral, não é economicamente viável utilizar doses elevadas, superiores à dose de transição entre o grupo de microrganismos menos resistentes e o primeiro grupo de microrganismos mais resistentes à radiação ultravioleta.

A manutenção de microrganismos sobreviventes, mesmo para doses elevadas, pode ser devida, além da resistência natural à radiação ultravioleta, à proteção oferecida pelos sólidos suspensos que absorvem ou refletem a radiação, impedindo que atinja os microrganismos.

CONCLUSÕES

Para as condições nas quais os experimentos foram realizados conclui-se que:

- A determinação das constantes de inativação exige a utilização de esgotos com baixa absorvância e principalmente com baixa concentração de sólidos em suspensão, com tamanhos de partículas, em sua maioria, iguais ou inferiores aos tamanhos dos microrganismos;

- A utilização de distribuição dos tamanhos das partículas entre os diâmetros de 1,16 a 40,3 μm é um bom parâmetro para avaliar a influência de sólidos suspensos totais na eficiência da desinfecção com radiação ultravioleta;

- A lei de Chick é válida para populações mistas desde que cada grupo com a mesma sensibilidade à radiação ultravioleta seja tratado separadamente. A soma das equações de cada grupo fornece a equação geral para a população mista;

- Para a maioria das aplicações com radiação ultravioleta pode-se utilizar para a constante de inativação o valor de 0,4609 cm^2/mJ para coliformes totais e 0,4396 cm^2/mJ para coliformes fecais, usados como microrganismos indicadores. Para doses superiores a 23 mJ/cm^2 deve-se utilizar as equações apresentadas na Tabelas 4 e 5.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão de bolsa de doutoramento e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pela concessão de auxílio para desenvolvimento da pesquisa (Processo 90/0421-2).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [01] APHA - American Public Health Association - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18. ed., Nova Iorque, 1985.
- [02] BULL, R. J. - "Health Effects of Alternate Disinfectants and their Reaction Products". J. American Water Works Association, v.71, n.5, 299-303, maio, 1980.
- [03] CALDAS, L. R. e GOMES, R. A. - "Restaurações Celulares" In: FREIRE-MAIA, N. ed. Radiogenética Humana. São Paulo: Edgard Blücher e Editora da Universidade de São Paulo, 1972. 197 p. p.131-145.
- [04] CAMPOS, J. R. e PIZZIRANI, J. A. - "Desinfecção com Radiação Ultravioleta". 9º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Belo Horizonte, 1977, 19 p..
- [05] CONDIE, L. W. - "Toxicological Problems Associated with Chlorine Dioxide". J. American Water Works Association, v.58, n.6, 73-78, jun., 1986.
- [06] HARM, W. - Biological Effects of Ultraviolet Radiation. Nova Iorque: Cambridge University Press, 1980, 216 p..
- [07] HATCHARD, C.G. e PARKER, C. A. - "A New Sensitive Chemical Actinometer. II - Potassium Ferrioxalate as a Standard Chemical Actinometer". Proceedings of the Royal Society of London. Série A, v.235, 518-536, 1956.
- [08] JAGGER, J. - "Photoreactivation". Bacteriological Reviews, v.22, 99-142, 1958
- [09] JOLLEY, R. L., R. B. CUMMING, N. E. LEE, J. E. THOMPSON e L. R. LEWIS - "Micropollutants Produced by Disinfection of Wastewater Effluents". Water Science and Technology, v.14, 45-59, 1982.
- [10] KOLLER, L. R. - Ultraviolet Radiation. Londres: John Wiley & Sons, 1952. 220 p..
- [11] MOROWITZ, H. J. - "Absorption Effects in Volume Irradiation of Microorganisms". Science, v.111, n.13, 229-230, março, 1949.
- [12] NOVELL, L. e HOIGNE, J. - "Photolysis of Aqueous Chlorine at Sunlight and Ultraviolet Wavelengths - I. Degradation Rates". Water Research, v.26, n.5, 593-598, maio, 1992.
- [13] OLIVER, B. G. e COSGROVE, E. G. - "The Disinfection of Sewage Treatment Plant Effluents Using Ultraviolet Light". Canadian Journal of Chemical Engineering, v.53, n.4, 170-174, abr., 1975.
- [14] RECKROW, D. A. e SINGER, P. "Chlorination By-Products in Drinking Waters: From Formation Potentials to Finished Water Concentrations". J. American Water Works Association, v.82, n.4, 173-180, abril, 1990.
- [15] SCHEIBLE, O. K. - "Development of a Rationally Based Protocol for the Ultraviolet Light Disinfection Process". J. Water Pollution Control Federation, v.59, n.1, 25-31, jan., 1987.
- [16] ZUKOV, G., KOLLAR, J., MONTEITH, H. D., HO, K. W. e ROSS, S. A. - "Disinfection of Low Quality Wastewaters by Ultraviolet Light Irradiation". J. Water Pollution Control Federation, v.58, n.3, 199-206, março, 1986.