

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO
CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Galvão
Av. Prof. Frederico Hermann Júnior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BR. S.L.

Aplicação de ácido peracético e ozônio para desinfecção de efluentes de lodos ativados

Eng. Américo de Oliveira Sampaio*, Eng. Tânia Mara T. Gasi**, Quím. Carlos Eduardo M. Pacheco**, Eng. Paulo Rogério R. Camacho**, Eng. Érika Martins de Andrade *

* técnicos da SABESP; ** técnicos da CETESB

ARQUIVO TECNICO

São Paulo, novembro de 1994

5313
Sa47a(RCET)
029799



22534

029799

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO
CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Galvão
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BR. S.L.

Aplicação de ácido peracético e ozônio para desinfecção de efluentes de lodos ativados

Eng. Américo de Oliveira Sampaio*, Eng. Tânia Mara T. Gasi**, Quím. Carlos Eduardo M. Pacheco**, Eng. Paulo Rogério R. Camacho**, Eng. Érika Martins de Andrade *

* técnicos da SABESP; ** técnicos da CETESB

ARQUIVO TECNICO

São Paulo, novembro de 1994

CLASS	
DATE	29799
WBO	

5313
Sa47a(RCET)
029799

CETESB

FICHA TÉCNICA BIBLIOGRÁFICA

DOCUMENTO

TIPO	DATA	ORIGEM	Nº PÁGINA / V.	Nº MAPAS
------	------	--------	----------------	----------

TÍTULO DO DOCUMENTO

Aplicação de ácido peracético e ozônio para desinfecção de efluentes de lodos ativados.

AUTOR RESPONSÁVEL

ASSINATURA / CARIMBO / DATA

Tânia Mara Tavares Gasi
Eng.^a Tânia Mara Tavares Gasi
Gerente do Setor de Pesquisa
de Efluentes Industriais
Reg. 01.3434-3 - CREA 5808-D

AUTORES / ENTIDADES OU UNIDADES A QUE PERTENCEM

Américo de Oliveira Sampaio/SABESP
Tânia Mara Tavares Gasi/CETESB/DTPP
Carlos Eduardo Medeiros Pacheco/CETESB/DTPP
Paulo Rogério Rodrigues Camacho/CETESB/DTPP
Érika Martins de Andrade/SABESP

DOCUMENTO AUTORIZADO POR

ASSINATURA / CARIMBO / DATA

DOCUMENTO REVISADO

ASSINATURA / CARIMBO / DATA

CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA



EXTERNA



INTERNA



RESERVADA

PALAVRAS CHAVES

Tratamento de águas residuárias/lodos ativados/desinfecção/ozônio/ácido peracético.

CÓDIGO E TÍTULO DO PROJETO

DISTRIBUIÇÃO INTERNA

ÁREAS / Nº DE CÓPIAS

USO DA BIBLIOTECA

CLASSIFICAÇÃO DE ASSUNTO	Nº DOCUMENTO	VISTO / CARIMBO / DATA
--------------------------	--------------	------------------------

Nos estudos de concepção de estações de tratamento de águas residuárias, considera-se quase que exclusivamente aspectos relacionados à remoção de sólidos e matéria orgânica. Os efluentes finais das estações assim projetadas podem conferir ao corpo receptor em que estão sendo lançados, características bacteriológicas em desacordo com sua classe de enquadramento, levando à necessidade da complementação do tratamento com unidade de desinfecção.

O cloro e seus compostos são os agentes desinfetantes mais empregados no tratamento de águas residuárias, devido sobretudo ao baixo custo e facilidade de aplicação. Entretanto, seu uso indiscriminado vem sendo questionado face aos bem conhecidos inconvenientes relacionados à vida aquática e à saúde pública. Entre os agentes alternativos empregados em outros países, destacam-se: ozônio, radiações ultravioleta e ácido peracético.

A escassez de experiências práticas com esses agentes, a nível nacional, motivou o desenvolvimento de estudos específicos pela SABESP - Cia. de Saneamento do Estado de São Paulo e CETESB - Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental. O trabalho apresenta os principais resultados obtidos no emprego do ácido peracético e ozônio no efluente final de uma estação de tratamento por lodos ativados, durante o período de 5 meses. Objetivou-se avaliar as técnicas quanto à eficiência de redução de densidades de organismos indicadores e patogênicos, toxicidade do efluente desinfetado e estratégias operacionais envolvidos. Estabeleceu-se que a eficiência de remoção das unidades de desinfecção deveria ser de 3 unidades log de coliformes fecais.

OBSERVAÇÕES

ASSO DA BIBLIOTECA

LOCAL	EDITORIA
-------	----------

IDIOMA

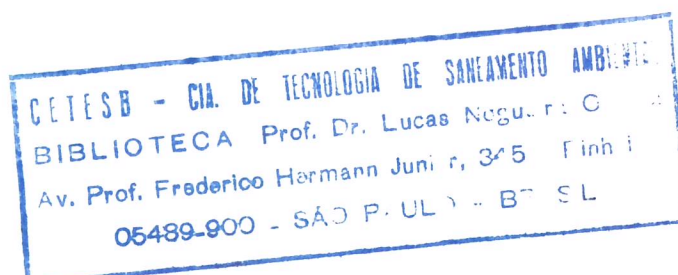
PORTUGUÊS	☐	INGLÊS	☐	ESPAÑHOL	☐	FRANCÊS	☐	ALEMÃO	☐	ITALIANO	☐	☐
-----------	--------------------------	--------	--------------------------	----------	--------------------------	---------	--------------------------	--------	--------------------------	----------	--------------------------	--------------------------

SÉRIE

Agradecimentos

Os autores desejam agradecer:

- às empresas White-Martins Gases Industriais S.A e Peróxidos do Brasil Ltda pela construção, definição das condições operacionais, otimização das unidades e operação dos sistemas de desinfecção;
- ao Eng. Renato Amaury de Medeiros pelo apoio durante a montagem e realização da primeira fase dos trabalhos;
- aos profissionais da Divisão de Análises Microbiológicas da CETESB pela realização das análises microbiológicas e toxicidade aguda com *Photobacterium phosphoreum*, da Divisão de Controle Sanitário da Superintendência Regional Centro da SABESP pela coleta das amostras e realização das análises físico-químicas, do Setor de Toxicologia Aquática e Ensaios Biológicos da CETESB pela realização das análises de toxicidade aguda com *Daphnia similis* e com larvas do peixe *Brachydariorerio*;
- aos profissionais da Divisão de Radioatividade da CETESB pelos estudos com traçadores na determinação das condições hidráulicas dos sistemas;
- ao Eng. Antonio de Castro Bruni e Prof. Boris Schneidermann pelo apoio e esclarecimentos no tratamento estatístico dos resultados;
- aos seguintes profissionais pela colaboração na interpretação dos dados referentes aos ensaios de toxicidade aquática: Biól. Elayse... , Biól. Sandra Buratini, Biól. Pedro Zagatto, Biól. Elenita G. Goldstein, Biól. Rosalina P.A. Araújo, Biól. Eduardo Bertoletti;
- ao Eng. Pedro Alem Sobrinho, pela revisão e sugestões ao trabalho.



ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO, 1

2. MATERIAIS E MÉTODOS, 2

2.1. Local da Instalação e Características do Efluente a ser Desinfetado, 2

2.2. Descrição das Unidades, 2

2.2.1. Desinfecção por "Proxitane", 2

2.2.2. Desinfecção por ozônio, 7

2.3. Operação e Testes dos Sistemas de Desinfecção, 10

2.3.1. Primeira fase, 10

2.3.2. Segunda fase, 11

2.3.3. Determinação do tempo de residência, 11

2.4. Amostragens, Parâmetros Analisados e Metodologias Analítica, 11

2.5. Tratamento da Informação Obtida, 14

2.5.1. Controle da qualidade, 14

2.5.2. Análise da assimetria, 14

2.5.3. Eficiência de remoção, 16

2.5.4. Diferença entre valores de entrada e saída, 16

2.5.5. Correlação entre contagens de microrganismos na entrada e na saída, 18

2.5.6. Correlação entre sobrevivência de microrganismos no efluente desinfetado, eficiência de remoção e variáveis físico-químicas, 18

3. RESULTADOS, 19

3.1. Resultados dos Testes com Traçadores, 20

3.2. Resultados Físico-Químicos, 20

3.3. Resultados Microbiológicos, 24

3.3.1. Eficiências de remoção e sobrevivência, 24

3.3.2. Correlação entre contagens de microrganismos na entrada e na saída, 29

3.3.3. Correlação entre sobrevivência de microrganismos no efluente desinfetado, eficiência de remoção e variáveis físico-químicas,, 29

3.4. Resultados de Toxicidade, 30

4. DISCUSSÃO, 34

4.1. Remoção de Microrganismos, 34

4.1.1. Desinfecção com ácido peracético, 34

4.1.2. Desinfecção com ozônio, 38

4.2. Aspectos Operacionais, 42

4.2.1. Segurança, 42

4.2.2. Controle da dosagem, 42

4.2.3. Outras considerações, 43

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS, 44

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, 45

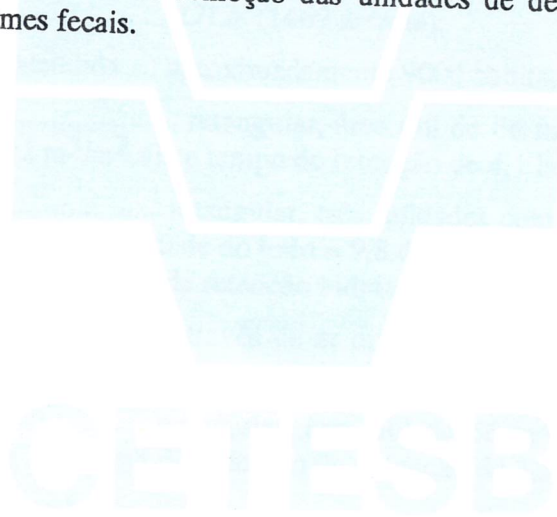
ANEXOS, 47

1. INTRODUÇÃO

Nos estudos de concepção de estações de tratamento de águas residuárias considera-se quase que exclusivamente aspectos relacionados à remoção de sólidos e matéria orgânica. Os efluentes finais das estações assim projetadas podem conferir ao corpo receptor em que estão sendo lançados características bacteriológicas em desacordo com sua classe de enquadramento, levando à necessidade da complementação do tratamento com unidade de desinfecção.

O cloro e seus compostos são os agentes desinfetantes mais empregados no tratamento de águas residuárias, devido sobretudo ao baixo custo e facilidade de aplicação. Entretanto, seu uso indiscriminado vem sendo questionado face aos bem conhecidos inconvenientes relacionados à vida aquática e à saúde pública. Dentre os agentes alternativos empregados em outros países destacam-se: ozônio, radiações ultravioleta e ácido peracético.

A escassez de experiências práticas com esses agentes, a nível nacional, motivou o desenvolvimento de estudos específicos pela SABESP - Cia. de Saneamento do Estado de São Paulo e CETESB - Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental. O trabalho apresenta os principais resultados obtidos no emprego do ácido peracético e ozônio no efluente final de uma estação de tratamento por lodos ativados, durante o período de 5 meses. Objetivou-se avaliar as técnicas quanto à eficiência de redução de densidades de organismos indicadores e patogênicos, toxicidade do efluente desinfetado e estratégias operacionais envolvidos. Estabeleceu-se que a eficiência de remoção das unidades de desinfecção deveria ser de 3 unidades log de coliformes fecais.



2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos de desinfecção foram divididos em duas fases. A primeira teve por objetivo definir as dosagens e tempos de contato necessários, enquanto que a segunda fase correspondeu aos testes de desinfecção propriamente ditos, que foram realizados nas condições indicadas pelos fabricantes, com base nos resultados obtidos na primeira etapa.

A construção, a definição das condições operacionais, a otimização das unidades e a operação das mesmas ficou sob responsabilidade dos fabricantes, a White-Martins Gases Industriais S.A e a Peróxidos do Brasil Ltda, respectivamente, para os processos de ozonização e aplicação do produto "Proxitane". A SABESP e a CETESB ficaram encarregadas da amostragem e da medida da eficiência dos sistemas de desinfecção.

2.1. Local da Instalação e Características do Efluente a ser Desinfetado

As duas unidades de desinfecção foram instaladas nas dependências da Estação Experimental Jesus Netto, no Ipiranga, de propriedade da SABESP.

O efluente escolhido para ser desinfetado foi o efluente de um sistema de lodos ativados convencional, que operava nas seguintes condições:

- esgoto afluente com características predominantemente industriais (65%), proveniente principalmente do setor têxtil. As características médias do esgoto bruto e do efluente do sistema de lodos ativados podem ser vistas na Tabela A1, em anexo;
- vazão de alimentação 17L/s (1469 m³/dia);
- população equivalente atendida..... aproximadamente 9000 habitantes;
- decantador primário..... retangular, área útil de 66 m², operando a uma taxa de aplicação superficial de 22 m³/m².dia e tempo de retenção de 4,1 horas;
- tanque de aeração retangular, três unidades com volume total de 627 m³, operando nas seguintes condições: idade do lodo = 9,8 dias, relação Alimento/Microrganismo= 0,23 kg DBO/kg SSVTA.dia, tempo de retenção hidráulico = 10,2 horas;
- sistema de aeração através de ar difuso, concentração de OD no tanque de aeração = 1,0 a 2,0 mg/L;
- decantador secundário..... retangular, área útil de 66 m², operando a uma taxa de escoamento superficial de 22 m³/m².dia e tempo de detenção de 3,5 horas.

Parte do esgoto tratado era dirigido a uma caixa de cimento amianto com capacidade de 500 L, de onde era bombeado para as duas unidades de desinfecção.

2.2. Descrição das Unidades

2.2.1. Desinfecção por "Proxitane" (Ácido Peracético)

Para o estudo com aplicação do produto "Proxitane", a Peróxidos do Brasil Ltda. instalou duas unidades, a seguir descritas.

2.2.1.1. primeira unidade

Esta unidade foi projetada e montada para a realização da primeira fase dos estudos, podendo ser vista esquematicamente na Figura 1. Suas principais características eram as seguintes:

- tanques de armazenamento do produto

capacidade: bombona de polietileno de alta densidade, com válvula de alívio, de 20 L, capacidade de 18 kg do produto.

- sistema de contato

reatores: 3 bombonas de polietileno;

dimensões: diâmetro = 0,56 m, altura = 0,92 m;

volume volume total de 200L e útil de 160 L por bombona;

volume útil total 480 L;

tubulações e acessórios: aço inox.

- alimentação do sistema de desinfecção

ponto de captação: caixa de 500 L, após o decantador do sistema de lodos ativados, servindo como poço de sucção;

bomba de alimentação: centrífuga, Marca FABO, motor 220V, trifásico;

capacidade de alimentação: 4 m³/h.

- dosagem do produto

bomba dosadora: Marca PULSATRON, diafragma de teflon, faixa de vazão de 0 - 500 mL/h, motor 110V, monofásico;

acessórios e linhas: aço inox.

- instrumentação do processo

medição da vazão de entrada através de 2 rotâmetros, faixa de medida de 0-2,5 m³/h

- especificação do produto

O produto empregado na primeira fase dos estudos foi o "Proxitane RFA", cuja composição é a seguinte:

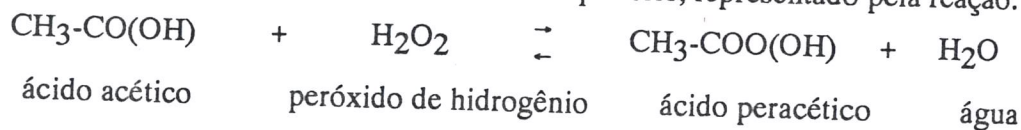
- ácido peracético: mín. 2%

- peróxido de hidrogênio: mín. 7%

- ácido acético: máx. 19%

- veículo estabilizante q.s.p: 100%

Neste produto os agentes encontram-se em equilíbrio, representado pela reação:



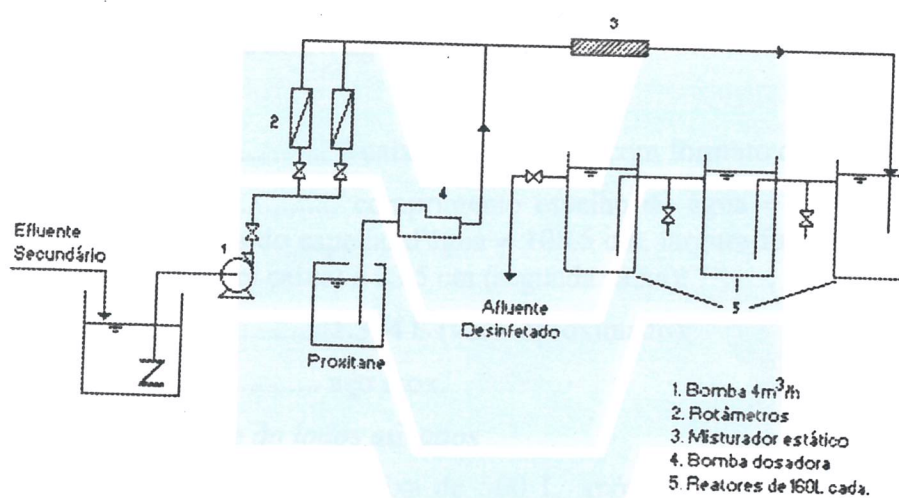


Figura 1 - Primeira unidade de aplicação de "Proxitane" (ácido peracético)

A operação da primeira unidade consistia em bombear o efluente do sistema de lodos ativados da caixa de acumulação, corrigindo-se a vazão através de dois rotâmetros instalados no sistema. A solução do produto "Proxitane RFA" era incorporada na tubulação, logo após a passagem do líquido pelos rotâmetros e enviado a um misturador estático, para a melhor homogeneização do efluente com a solução desinfetante, sendo enviado a seguir ao primeiro reator da unidade.

Os diferentes tempos de contato foram obtidos pela realização de amostragens ao fim ou entre os dois reatores, e por alterações na vazão da bomba alimentadora do sistema.

2.2.1.2. segunda unidade

Esta unidade também foi projetada e instalada pelos técnicos da Peróxidos do Brasil, para ser utilizada durante a segunda fase dos estudos, estando apresentada esquematicamente na Figura 2. As principais características da mesma são apresentadas a seguir:

- tanques de armazenamento do produto

capacidade: bombona de polietileno de alta densidade, com válvula de alívio, de 20 L, capacidade de 18 kg do produto.

- sistema de contato

reatores: 2 caixas de amianto, com formato de tronco prismático;

dimensões: comprimento espelho de água = 157,5 cm, comprimento fundo = 141,0 cm, largura do espelho d'água = 108,5 cm, largura fundo = 91,0 cm, altura do líquido = 70,0 cm (primeira caixa) e 23,5 cm (segunda caixa);

volume útil total 1.394 L (valor aproximado);

tubulações e acessórios: aço inox.

- alimentação do efluente do lodos ativados

ponto de captação: caixa de 500 L, após o decantador do sistema de lodos ativados, servindo como poço de sucção;

bomba de alimentação: centrífuga, Marca FABO, motor 220V, trifásico;

capacidade de alimentação: 4 m³/h.

- dosagem do produto

bomba dosadora: Marca PROMINENT, diafragma de teflon, faixa de vazão de 0 - 300 mL/h, motor 220V, monofásico;

acessórios e linhas: aço inox.

- instrumentação do processo

medição da vazão de entrada: ... através de 2 rotâmetros, para 0 - 2,5 m³/h.

A operação da segunda unidade era idêntica à da primeira, diferenciando-se após a mistura do esgoto com o produto no misturador estático. Após mistura, o efluente era encaminhado para o primeiro reator, passando em seguida por uma chicana, e sendo alimentado no segundo reator, depois do qual era descartado.

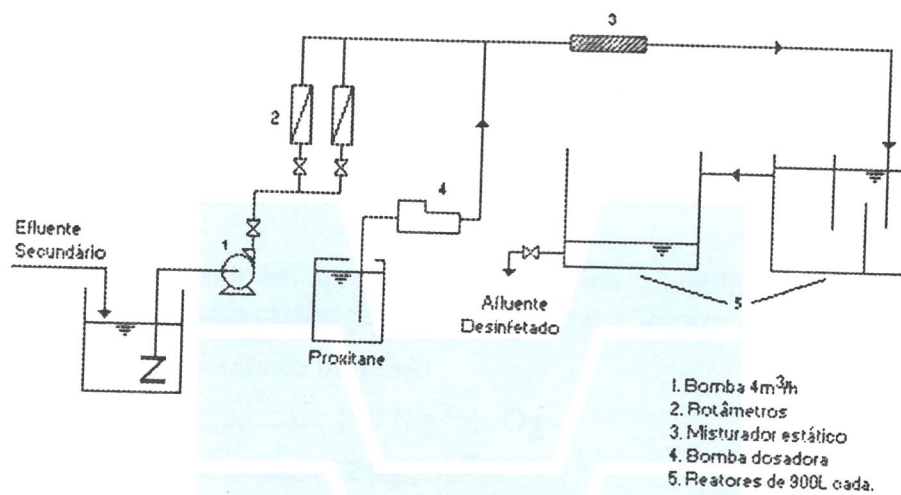


Figura 2 - Segunda unidade de desinfecção com "Proxitane" (ácido peracético)

- especificação do produto

O produto empregado na segunda fase dos estudos foi o "Proxitane 1512", contendo as mesmas substâncias que o "Proxitane RFA", mas com a seguinte composição:

- ácido peracético: mín. 15%
- peróxido de hidrogênio: mín. 23%
- ácido acético: máx. 16%
- veículo estabilizante q.s.p: 100%

2.2.2. Desinfecção por ozônio

A ozonização do efluente do sistema de lodos ativados foi realizada num sistema piloto, construído pela White-Martins Gases Industriais S.A., composto de três colunas de fluxo ascendente, sendo que nas duas primeiras colunas aplicou-se ozônio gasoso em contracorrente ao fluxo de líquido, enquanto que a última coluna serviu apenas para prolongar o tempo de contato.

Na Figura 3 pode-se apreciar o fluxograma simplificado da planta piloto de ozonização, cujas principais características são descritas a seguir:

- tanques de armazenamento de oxigênio

- capacidade: 100 Nm³ de O₂;
- pressão: 12 kgf/cm²;
- quantidade: 2.

- válvula redutora de pressão

- pressão de entrada: 12 kgf/cm²;
- pressão de saída: 3 kgf/cm²;
- quantidade: 2.

- gerador de ozônio

- modelo: GL-1 (PCI-USA);
- tipo: alta frequência, célula de aço inox, com dielétrico de vidro;
- vazão média de O₃: 47g/h a 3% (alimentação O₂ puro);
- vazão média de O₂: 32 ft³/h;
- pressão de operação: 15 psig;
- alimentação elétrica: 110 V, 50/60 Hz;
- quantidade: 1.

- analisador de ozônio

- modelo: HC-12 (PCI-USA);
- princípio: absorbância ao ultravioleta;
- quantidade: 1.

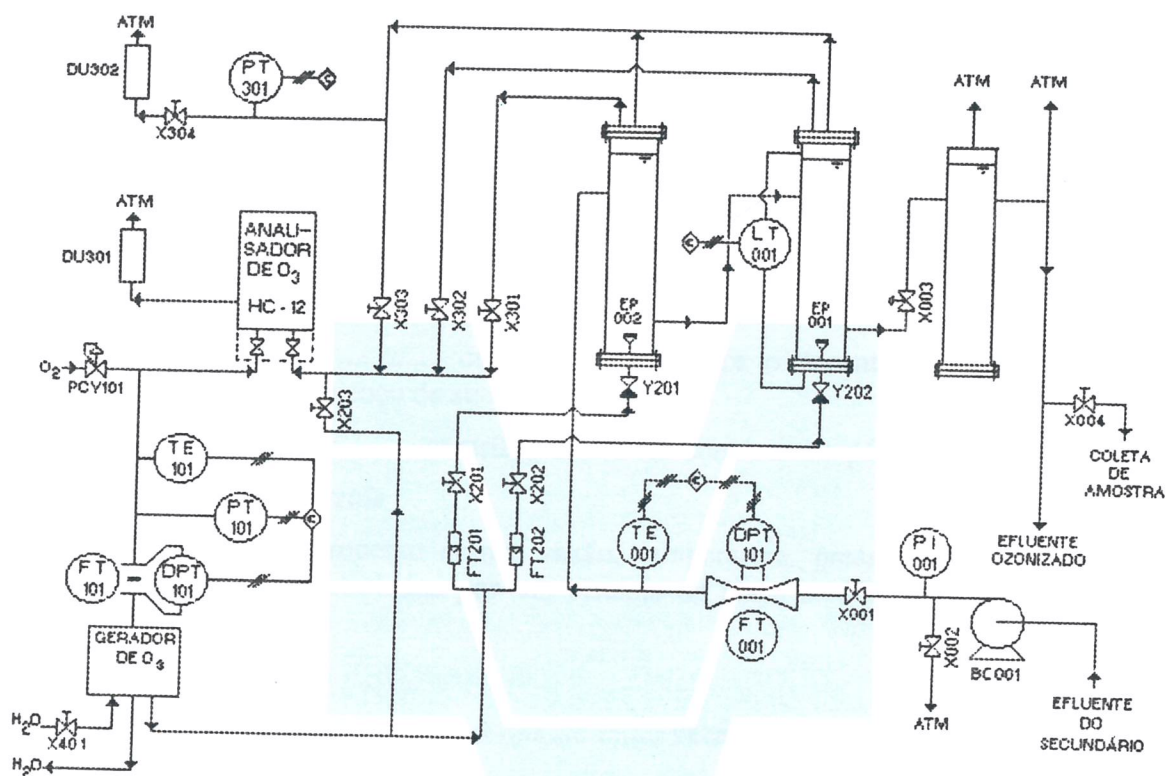


Figura 3 - Unidade de desinfecção com ozônio

- destruidor de ozônio

tipo: catalizador à temperatura ambiente (mistura de óxidos de cobre, alumínio e manganês);

quantidade: 2.

- sistema de contato

reatores: 3 tubos de polipropileno;

dimensões: diâmetro = 30 cm, altura = 5,5 m;

volume útil: 0,9 m³ total (3 x 0,3 m³);

difusores: dois, de disco, em polipropileno; diâmetro de 200 mm;

tubulações de líquido: PVC

- alimentação do sistema de desinfecção

ponto de captação: caixa de 500 L, após o decantador do sistema de lodos ativados, servindo como poço de sucção;

bomba: centrífuga, de 1 HP com válvula pé.

- instrumentação e controle

Os dados do processo como: vazão, temperatura, pressão e concentrações eram adquiridos e alguns controlados por um sistema de placa analógica/digital acoplada a um microcomputador.

- dados monitorados

efluente: vazão e temperatura;

oxigênio: vazão e temperatura;

gás de saída ("off-gas" das colunas e gerador): pressão e concentração.

- dados controlados

efluente: vazão e nível nas colunas.

- instrumentação do processo

medição do efluente: venturi com medidor diferencial de pressão (vazão); termopar (temperatura);

oxigênio: placa de orifício (vazão); termopar (temperatura); transmissor de pressão (pressão);

gás de alimentação: rotâmetros (vazão).

- intertravamentos

Tais sistemas desligavam a planta automaticamente no caso de uma ou várias das seguintes ocorrências:

- nível de líquido das colunas maior que 4,2 m;

- pressão baixa de oxigênio (ou falta de O₂);

- vazão baixa de água de resfriamento do gerador de ozônio;

- sobrecarga da bomba (falta de efluente).

O sistema de desinfecção por ozônio era alimentado através uma bomba centrífuga, com válvula de pé e crivo, para a primeira coluna, após passar por um venturi e válvulas de controle. A entrada nas colunas era feita por baixo, o que caracterizava, de certa forma, um fluxo pistonado.

O gás de ozonização era obtido a partir de oxigênio puro, estocado em recipientes na forma líquida, sob pressão. Após sua vaporização a temperatura ambiente nos trocadores de calor, o oxigênio, no estado gasoso, a baixa pressão, livre de impurezas era enviado ao gerador de ozônio. No gerador de ozônio parte do oxigênio (O_2) se transformava em ozônio (O_3), sob ação de descargas elétricas. O gerador de ozônio era refrigerado com água corrente.

A concentração de ozônio no gás era medida, através de um analisador de ozônio, pelo princípio da transmitância da mistura O_2/O_3 à luz ultravioleta. Quanto maior a porcentagem de O_3 na mistura maior a absorção da luz ultravioleta e menor a transmitância da mistura.

O gás contendo ozônio era então injetado nas duas primeiras colunas, sendo disperso em pequenas bolhas por meio de um difusor de bolha fina, para aumentar o contato do líquido com o gás.

O gás que saía do topo destas passava por um "destruidor de ozônio", que consistia em uma coluna contendo um catalizador para decompor rapidamente o O_3 em O_2 , antes de ser lançado na atmosfera. Uma parte desse gás passava pelo analisador de ozônio podendo-se então avaliar a eficiência global de transferência de ozônio do gás para o líquido, em cada coluna.

Todo o sistema era instrumentado, possuindo válvulas de controle e demais intertravamentos, todos controlados por um sistema de microcomputador, que podia operá-lo automaticamente, 24 horas por dia.

2.3. Operação e Testes dos Sistemas de Desinfecção

2.3.1. Primeira fase

Durante a fase inicial de testes, procurou-se otimizar o funcionamento dos sistemas de ozonização e aplicação de "Proxitane", tendo como base a dosagem definida para alcançar eficiência de remoção de coliformes fecais superior a 99,9% (3 unidades log). Com base nestes testes, determinou-se uma "dose ótima" na qual iria atingir-se a meta proposta, dentro de uma certa margem de segurança. A primeira fase da pesquisa teve início em 05/07/93 e encerrou-se em 16/08/93.

Para a unidade de ozonização, variou-se a porcentagem de ozônio na mistura com o oxigênio e a vazão de gás aplicada nas colunas, isto é, a dose de O_3 aplicada. Para efeitos comparativos, a vazão de efluente (e por consequência seu tempo de detenção hidráulico teórico) foi mantido o mesmo em praticamente todos ensaios.

No caso da aplicação de "Proxitane", variou-se a quantidade e a concentração do produto aplicado, a vazão de alimentação do sistema e o número de tanques de contato, alterando a dose aplicada e o tempo de retenção hidráulico.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

2.3.2. Segunda fase

Na segunda fase de testes, buscou-se operar os sistemas de forma contínua, durante 24 horas diárias, realizando-se amostragens de acordo com o esquema previsto e apresentado adiante. A duração desta etapa foi de cerca de 3 meses e meio, de 30/08/93 até 15/12/93. As condições adotadas para os testes foram as seguintes:

- ozonização: tempo de contato de 18 min e dose aplicada de 9,6 mg/L;
- aplicação de "Proxitane": tempo de contato de 27 min e doses aplicadas de 3 e 5 mg/L.

Durante a segunda fase de testes ocorreu uma série de problemas operacionais na unidade de ozonização, como retorno de água para a linha de gás e desgaste das colunas de contato com ozônio ocasionando intertravamentos de segurança e conseqüentemente paradas do sistema durante essa fase.

A unidade de desinfecção pelo produto "Proxitane" sofreu uma alteração não prevista na dose aplicada, que foi aumentada de 3 para 5 mg/L. Houve também uma mudança de produto, da primeira para a segunda fase. O produto empregado na primeira fase possuía uma menor quantidade de ácido peracético (2%), exigindo maiores quantidades de aplicação para manter a dose desejada. Isto implicava na adição de quantidades apreciáveis de ácido acético, suficientes para alterar o pH do esgoto desinfetado. Passando-se a utilizar um produto mais concentrado (a 15 %), foi possível minimizar este problema.

2.3.3. Determinação do tempo de residência

O tempo de residência das unidades foi determinado com traçador radioativo o ^{82}Br , que apresenta meia vida de 35,4 horas, na forma de brometo de potássio (KBr), dissolvido numa solução de tiosulfato de sódio. A detecção do radioisótopo foi obtida através de um detector de cintilação com cristal de NaI (TI) acoplado a um escalímetro BASCIII.

Foi efetuada uma medição na coluna de aplicação de ozônio (dia 20/01/94) e duas no sistema de "Proxitane", segunda unidade (dias 20/01/94 e 16/03/94). A mangueira de sucção da bomba de alimentação dos sistemas de desinfecção foi o ponto escolhido para a injeção pontual do traçador.

As vazões foram medidas pelo método volumétrico, tendo-se efetuado seis medições no ensaio do dia 16/03/94 na unidade de "Proxitane".

Foram levantadas as curvas de distribuição do tempo de residência, calculados os tempos de residência médios, e os números de dispersão segundo método sugerido por Levenspiel.

2.4. Amostragens, Parâmetros Analisados e Metodologias Analíticas

Os pontos de amostragem eram os seguintes:

- entrada dos sistemas de desinfecção: localizado na saída do decantador do sistema de lodos ativados, antes da caixa de 500 L. Convencionou-se denominar este ponto de "entrada";
- saída do sistema de ozonização: derivação da tubulação de saída da terceira coluna tanto na primeira como na segunda fase dos ensaios. Este ponto foi nomeado de "saída da ozonização";
- saída do sistema de aplicação de "Proxitane": saída do segundo tanque de contato. Denominou-se este ponto de coleta de "saída da aplicação de Proxitane".

Foram realizados dois tipos de amostragem: instantâneas (ou ao acaso) e compostas, que ficaram sob responsabilidade da equipe da SABESP encarregada da operação da Estação Experimental Pedro de Jesus Netto.

As amostras instantâneas eram destinadas às análises microbiológicas e aos testes de toxicidade. Eram sempre coletadas à partir das 21 h, depois que os sistemas tivessem entrado em regime, e eram efetuadas antes da coleta de qualquer outro tipo de amostra, para evitar eventuais problemas de contaminação. O volume da alíquota dependia do tipo de análise a que a amostra se destinava.

As amostras compostas eram obtidas pela adição de 11 alíquotas de 700 mL, coletadas de duas em duas horas, no período das 21 às 7 h do dia seguinte, perfazendo um total de 22 horas de coleta.

As amostras para as análises microbiológicas, eram coletadas em frascos de polietileno esterilizados contendo uma solução de 5,0 mL de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ a 2 N e 3,0 mL de EDTA a 15% para frascos de 250ml, e 10,0mL de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ a 2N e 6,0 mL de EDTA a 15% para frascos de 1000 mL. Estes frascos eram preparados pela mesma equipe encarregada da execução das análises. A função da solução era reagir com o ozônio, ácido peracético e peróxido de hidrogênio residuais e bloquear sua ação desinfetante, após a coleta, preservando assim os microorganismos sobreviventes.

As amostras coletadas para as determinações físico-químicas e para os testes de toxicidade dispensavam frascaria esterilizada e preservantes.

As amostras para os testes de toxicidade e para os parâmetros microbiológicos eram coletadas instantaneamente e enviadas aos laboratórios da CETESB logo após a coleta, para que fosse efetuado o processamento das mesmas o mais rápido possível. Vale ressaltar que o tempo decorrido entre a coleta e a entrega das amostras no laboratório sempre foi inferior a 4 horas.

As amostras compostas eram mantidas sob refrigeração em geladeira, durante todo o período da coleta no próprio laboratório da SABESP, onde eram processadas. Os procedimentos de preservação foram os preconizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

As seguintes equipes foram responsáveis pela realização das análises:

- análises microbiológicas (coliformes totais e fecais, *Clostridium perfringens*, colifagos, *Salmonella* spp., ovos e larvas de helmintos e cistos de protozoários e toxicidade aguda com *Photobacterium phosphoreum* - MICROTOX), pela Divisão de Análises Microbiológicas da CETESB;
- análises físico-químicas (DQO total, DBO total, pH, sólidos totais, sólidos voláteis, sólidos em suspensão totais, sólidos em suspensão voláteis, resíduo não filtrável total e volátil, oxigênio dissolvido), pela Divisão de Controle Sanitário da Superintendência Regional Centro, da SABESP;
- análises de toxicidade (toxicidade aguda a *Daphnia similis* e larvas do peixe *Brachydario rerio*), pelo Setor de Toxicologia Aquática e Ensaio Biológicos, da CETESB.

As determinações de vazão e o controle das unidades, incluindo o acompanhamento analítico e operacional necessários, ficaram sob responsabilidade das empresas.

As análises realizadas foram as seguintes, para a primeira fase da pesquisa: pH, temperatura, coliformes totais, coliformes fecais, toxicidade aguda com *Daphnia similis* como CE(I)50, em 48h (em %). Estas análises foram realizadas nos três pontos de amostragem:

entrada dos sistemas de desinfecção, saída da ozonização e saída da aplicação de ácido peracético.

Na segunda fase, para os três pontos de amostragem acima citados, foram efetuadas as seguintes determinações: coliformes totais, coliformes fecais, clostrídios sulfito-redutores - como *Clostridium perfringens* -, colifagos, *Salmonella* spp., ovos e larvas de helmintos, cistos de protozoários, toxicidade aguda a *Photobacterium phosphoreum* - MICROTOX, *Daphnia similis* e a larvas de *Brachydanio rerio*; DQO total, DBO total, pH, sólidos totais, sólidos voláteis, sólidos em suspensão totais, sólidos em suspensão voláteis, resíduo não filtrável total e volátil e oxigênio dissolvido. O oxigênio dissolvido era medido pelo teste de Winkler em amostras instantâneas.

Nos dias de amostragens, instantâneas ou compostas, eram medidas as temperaturas do ambiente e das amostras líquidas de cada processo, bem como as vazões dos efluentes desinfetados.

Não foram medidos os residuais de ozônio e de ácido peracético na saída dos sistemas. No caso da ozonização, não havia condições de efetuar a análise no local de realização dos ensaios e durante o transporte das amostras até o laboratório da CETESB o residual de desinfetante seria consumido.

O método disponível para a análise do ácido peracético era o colorimétrico, método DPD, usando comparador Lovibond 2000 da Tintometer, cujo limite inferior de detecção é de 2,0mg/L. Uma vez que as doses aplicadas foram de 3 e 5 mg/L, julgou-se que o resultado do teste seria sempre menor que o limite de detecção e, portanto, sem interesse.

O número de amostragens e determinações efetuadas nas duas fases da pesquisa podem ser vistos nas Tabelas 1 e 2.

Para as determinações de coliformes totais, fecais e clostrídios sulfito redutores (como *Clostridium perfringens*), utilizou-se a técnica de tubos múltiplos para identificar o número mais provável (NMP), conforme o procedimento analítico indicado nas Normas CETESB de números L5.202 e L5.213, respectivamente.

A determinação do número de unidades formadoras de placa (UFP) de colifagos foi efetuada conforme metodologia da Norma CETESB L5.225.

A análise da presença ou ausência de *Salmonella* spp seguiu a Norma CETESB L5.218. O exame parasitológico, com identificação e contagem de ovos e larvas de helmintos e cistos de protozoários foi realizado conforme Norma CETESB L5.550.

Os testes de toxicidade aguda com *Photobacterium phosphoreum* - MICROTOX, foram efetuados conforme procedimento descrito no Manual Beckman (USA, 1982) e Norma CETESB L5.227, sendo os resultados expressos em EC 50 (concentração efetiva da amostra que causa 50% de redução na produção de luz). Os testes com *Daphnia similis* e larvas de *Brachydanio rerio* foram realizados segundo condições prescritas nas normas CETESB L5.018 e L5.019/II respectivamente. Os resultados foram calculados através do programa Trimmed Spearman Karber, sendo expressos em CE50; 48 h para *Daphnia similis* (porcentagem da amostra que causa imobilidade a 50% dos organismos - teste em 48 horas de exposição) e CL(I)50; 96 horas para larvas de *Brachydanio rerio* (porcentagem da amostra que causa letalidade a 50% dos organismos expostos pelo período de 96 horas).

Os métodos analíticos para a determinação dos parâmetros físico-químicos seguiram os procedimentos recomendados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18ª edição.

Tabela 1 - Número de amostragens e determinações efetuadas na primeira fase da pesquisa

Parâmetros analisados	Entrada	Saída da ozonização	Saída da aplicação de "Proxitane"
Coliformes totais (NMP/100 mL)	9	14	18
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	9	14	18
Toxicidade aguda com <i>Daphnia similis</i> (CE(I)50 de 48h, em %)	9	14	18

2.5. Tratamento da Informação Obtida

Para o processamento da informação obtida foram empregados os programas de computador Statgraphics e Statpac.

2.5.1. Controle da qualidade

Os dados microbiológicos, físico-químicos e operacionais, obtidos durante os ensaios, foram submetidos ao procedimento de Box-and-Whisker, para detecção de valores que estatisticamente estivessem fora dos respectivos universos. Os gráficos de Box-and-Whisker dividem os dados em quatro áreas de iguais frequências, apresentam as medianas, os primeiros e terceiros quartis e indicam os pontos situados a mais de uma faixa correspondente a três quartis, abaixo do primeiro ou acima do terceiro quartil. Os dados considerados suspeitos foram analisados individualmente e retirados quando considerados anômalos. No total, foram removidos 31 resultados, ou 2 % de um total de 1555 dados.

2.5.2. Análise da assimetria

A distribuição dos dados microbiológicos foi analisada através dos gráficos de Box-and-Whisker e do índice de assimetria de Pearson (A), que foi calculado segundo método indicado por Costa Neto (1977). Para este índice, adotou-se o seguinte critério, sugerido pelo autor:

$|A| < 0,15$ - distribuição praticamente simétrica

$0,15 < |A| < 1$ - assimetria moderada

$|A| > 1$ - assimetria forte

Tabela 2 - Número de amostragens e determinações efetuadas na segunda fase da pesquisa

Parâmetros analisados	Entrada	Saída da ozonização	Saída da aplicação de "Proxitane" *
Coliformes totais (NMP/100 mL)	32	23	31
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	32	23	31
<i>Clostridium perfringens</i> (NMP/100 mL)	32	23	30
Colifagos (UFP/100 mL)	30	22	28
<i>Salmonella</i> spp. (presença ou ausência)	5	2	5
Exame parasitológico (presença ou ausência de ovos, cistos e larvas)	5	0	1
Toxicidade aguda com <i>Daphnia similis</i> (CE(I)50 de 48h, em %)	11	10	11
Toxicidade aguda com <i>Photobacterium phosphoreum</i> -MICROTOX (EC50, em %)	12	10	12
Toxicidade aguda com larva do peixe <i>Brachydario rerio</i> (CL(I)50 de 96 h, em %)	9	7	9
Temperatura (°C)	32	32	32
pH	31	23	32
Sólidos totais (mg/L)	16	6	14
Sólidos voláteis (mg/L)	16	6	14
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	16	7	14
Sólidos em suspensão voláteis (mg/L)	14	7	13
Sólidos decantáveis (mg/L)			
DQO total (mg/L)	16	6	15
DBO total (mg/L)	17	6	15
Oxigênio dissolvido (mg/L)	26	22	31

* inclui as dosagens de 3 mg/L e 5 mg/L

O teste foi também aplicado aos valores dos logaritmos das contagens, para testar a possibilidade de distribuição log-normal. Os resultados obtidos estão nas Tabelas 3, 4 e 5. Quando as contagens eram < 2 NMP/100 mL ou < 1 UFP/100 mL, adotava-se o valor de 1 para o cálculo dos logaritmos. Os coeficientes calculados permitiram verificar que ocorreu, na maioria dos casos, assimetria moderada e que a aplicação dos logaritmos não normalizava, de maneira geral, a distribuição.

Pôde-se concluir que a distribuição dos dados microbiológicos não é normal ou log-normal. Devido a isto, é mais indicado empregar os valores das medianas para representar os centros dos conjuntos de dados, em lugar das médias aritméticas ou geométricas. Também é recomendável usar testes não paramétricos para estudar o comportamento das variáveis.

Para os parâmetros físico-químicos e operacionais foram utilizadas as médias aritméticas, segundo procedimento consagrado em trabalhos desta natureza. As Tabelas 6, 7 e 8, apresentadas no capítulo de "Resultados", mostram uma comparação entre os valores das médias aritméticas e das medianas, cuja coincidência é condição de normalidade.

2.5.3. Eficiência de remoção

A eficiência de remoção de microrganismos foi calculada como porcentagem de remoção e como unidades log dos valores das medianas, de acordo com as expressões:

$$\text{eficiência de remoção} = \{ [\text{Md (E)} - \text{Md (S)}] / \text{Md (E)} \} \times 100$$

$$\text{eficiência de remoção} = \log \text{Md (E)} - \log \text{Md (S)}, \text{ onde:}$$

Md (E) = mediana das contagens dos microorganismos na entrada dos sistemas de desinfecção;

Md (S) = mediana das contagens dos microorganismos na saída dos sistemas de desinfecção.

Para os parâmetros físico-químicos, quando indicado, foi calculada a eficiência de remoção em porcentagem com os valores das médias aritméticas.

2.5.4. Diferença entre valores de entrada e saída

Utilizou-se o teste de Wilcoxon para verificar se havia diferença estatisticamente significativa entre as contagens de microrganismos na entrada e na saída dos sistemas de desinfecção.

Para as variáveis operacionais e físico-químicas, foi utilizado o teste "t" para dados pareados.

Nos dois casos, os coeficientes obtidos foram testados a um nível de significância (α) de 5 % (ou 0,05) e teste bicaudal.

Tabela 3 - Índice de assimetria de Pearson para os resultados microbiológicos de desinfecção por ozônio

Parâmetro	Índice de Assimetria de Pearson	Índice de Assimetria de Pearson (valores dos log)
Coliformes totais (entrada)	- 0,22	- 0,76
Coliformes totais (saída)	- 0,34	- 0,74
Coliformes fecais (entrada)	0,40	0,21
Coliformes fecais (saída)	0,30	0,28
<i>Clostridium perfringens</i> (entrada)	0,61	1,08
<i>Clostridium perfringens</i> (saída)	0,17	- 0,60
Colifagos (entrada)	0,44	0,06
Colifagos (saída)	0,76	1,25

Tabela 4 - Índice de assimetria de Pearson para os resultados microbiológicos de desinfecção por "Proxitane" (ácido peracético a 3 mg/L)

Parâmetro	Índice de Assimetria de Pearson	Índice de Assimetria de Pearson (valores dos log)
Coliformes totais (entrada)	0,31	- 0,48
Coliformes totais (saída)	0,45	0,38
Coliformes fecais (entrada)	- 1,08	- 0,83
Coliformes fecais (saída)	0,23	- 0,42
<i>Clostridium perfringens</i> (entrada)	0,58	0,41
<i>Clostridium perfringens</i> (saída)	- 0,66	- 0,84
Colifagos (entrada)	0,67	0,21
Colifagos (saída)	0,44	- 0,04

Tabela 5 - Índice de assimetria de Pearson para os resultados microbiológicos de desinfecção por "Proxitane" (ácido peracético a 5 mg/L)

Parâmetro	Índice de Assimetria de Pearson	Índice de Assimetria de Pearson (valores dos log)
Coliformes totais (entrada)	0,31	- 0,60
Coliformes totais (saída)	0,69	- 0,02
Coliformes fecais (entrada)	0,32	- 0,54
Coliformes fecais (saída)	0,58	0,13
<i>Clostridium perfringens</i> (entrada)	0,57	- 0,29
<i>Clostridium perfringens</i> (saída)	- 0,59	- 1,41
Colifagos (entrada)	0,20	- 0,81
Colifagos (saída)	0,37	0,97

2.5.5. Correlação entre contagens de microrganismos na entrada e na saída

O objetivo de se testar as correlações entre entrada e saída de microrganismos dos sistemas de desinfecção, era o de verificar se à entrada de maiores concentrações de organismos corresponderia uma elevação dos níveis dos mesmos nos efluentes desinfetados.

Foi utilizado o método de correlação linear de postos, com os resultados ordenados, determinando-se os coeficientes de correlação de Spearman, r_s (Costa Neto, 1977). Os coeficientes foram testados a um nível de significância de 5 %, com n-2 graus de liberdade e teste bicaudal.

2.5.6. Correlação entre sobrevivência de microrganismos no efluente desinfetado, eficiência de remoção e variáveis físico-químicas

Com o objetivo de estabelecer se as características físico-químicas do esgoto que alimentava as unidades de desinfecção, poderiam afetar a remoção ou a sobrevivência de microrganismos aos processos de desinfecção, foram testadas as seguintes correlações entre os parâmetros microbiológicos e as variáveis físico-químicas, duas a duas:

- sobrevivência de coliformes totais, coliformes fecais, *Clostridium perfringens* e colifagos (medida como contagem no efluente desinfetado) X sólidos totais, sólidos em suspensão, resíduos não filtrável, sólidos totais voláteis, sólidos em suspensão voláteis, resíduo não filtrável volátil, DBO, DQO e pH na alimentação, temperatura da amostra, além de oxigênio dissolvido no efluente e, no caso da ozonização, dose aplicada, dose consumida e tempo de contato;

- eficiência de remoção de coliformes totais, coliformes fecais, *Clostridium perfringens* e colifagos (medida em unidades log) X sólidos totais, sólidos em suspensão, resíduos não filtrável, sólidos totais voláteis, sólidos em suspensão voláteis, resíduo não filtrável volátil, DBO, DQO e pH na alimentação, temperatura da amostra, além de oxigênio dissolvido no efluente e, no caso da ozonização, dose aplicada, dose consumida e tempo de contato.

Também foi empregado o método da correlação linear de postos, com determinação e teste bicaudal (para $\alpha = 0,05$) dos coeficientes de Spearman.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos durante a primeira fase dos estudos podem ser vistos nas Tabelas A2 e A3 em anexo.

As tabelas com os dados individuais obtidos na segunda fase dos estudos estão apresentadas em anexo, numeradas da seguinte maneira:

- para a aplicação de ozônio:

- Tabela A4 - dados microbiológicos de entrada e saída (NMP/100 mL de coliformes totais, coliformes fecais, *Clostridium perfringens*, UFP/100 mL de colifagos, presença ou ausência de *Salmonella* spp., ovos e larvas de helmintos e cistos de protozoários);

- Tabela A5 - dados de toxicidade na entrada e na saída, referentes a CE(I) 50, 48h, em %, em *Daphnia similis*; Microtox EC 50, em %, em *Photobacterium phosphoreum* e CL(I) 50, 96h, em %, em peixe *Brachydario rerio*;

- Tabela A6 - dados físico-químicos de entrada e saída da unidade, conforme parâmetros indicados no capítulo de metodologia;

- Tabela A7 - dados operacionais (dose aplicada e consumida, tempo de contato, temperaturas).

- para aplicação de ácido peracético na dosagem de 3 mg/L:

- Tabela A8 - correspondente à Tabela A4;

- Tabela A9 - correspondente à Tabela A5;

- Tabela A10 - correspondente à Tabela A6, incluindo temperaturas.

- para aplicação de ácido peracético na dosagem de 5 mg/L:

- Tabela A11 - correspondente à Tabela A4;

- Tabela A12 - correspondente à tabela A5;

- Tabela A13 - correspondente à Tabela A6, incluindo temperaturas.

Para os ensaios com ácido peracético não foram elaboradas as tabelas correspondentes aos parâmetros operacionais, uma vez que as dosagens e os tempos de contato foram fixos. Os dados de temperatura foram incluídos nas tabelas dos parâmetros físico-químicos, conforme indicado.

3.1. Resultados dos Testes com Traçadores

Foram obtidos os seguintes resultados:

- colunas de ozonização: vazão de teste de $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ou $33,36 \text{ L/min}$, volume total da colunas de $0,900 \text{ m}^3$, tempo de residência médio de 28 minutos, número de dispersão de 0,0885;
- segunda unidade de aplicação de "Proxitane":
 - ensaio do dia 20/01/94: vazão do teste de $1,0 \text{ L/s}$ ou 60 L/min volume total dos reatores de $1,0 \text{ m}^3$, tempo de residência médio de 24 minutos, número de dispersão de 0,21815;
 - ensaio do dia 16/03/94: vazão do teste (seis medições) de $1,0 \text{ L/s}$ ou 60 L/min , volume total dos reatores de $1,0 \text{ m}^3$, tempo de residência médio de 27 minutos, número de dispersão de 0,1901.

Para o sistema de ozonização, pode-se observar que existe boa coincidência entre os valores medido e calculado de tempo de residência, respectivamente de 28 minutos e 27 minutos ($900/33,36$). Na verdade, durante o ensaio de desinfecção propriamente dito, a vazão de entrada foi, em média, de $0,8 \text{ L/s}$ ou 48 L/min , maior do que a empregada no teste com traçador; não foi possível, por problemas da unidade, ajustar a mesma vazão. O tempo de residência teórico correspondente foi de 18 min, podendo-se aceitar o mesmo como correto, tendo em vista o resultado do teste com o radioisótopo.

No caso da unidade de aplicação de "Proxitane", a vazão durante os teste com traçadores foi exatamente a mesma utilizada durante a segunda fase dos ensaios de desinfecção. Houve dificuldades durante a execução do primeiro teste, como a parada da bomba de alimentação durante cerca de 1 minuto. Além disto, a concentração do traçador na saída da unidade foi medida na saída do mangote, e não exatamente na extravasão do segundo tanque, como foi feito no segundo teste. Por estes motivos, a aplicação de radioisótopo foi repetida, considerando-se que o segundo resultado é mais significativo. O valor do tempo de residência obtido, de 27 minutos, é um pouco maior que o teórico, calculado em 23,2 min ($1.394/60$). Deve-se considerar que o volume calculado dos reatores é aproximado, tendo em vista que a forma dos mesmos não é de um tronco de pirâmide perfeito. Assim, optou-se por admitir que o resultado obtido através do traçador era mais correto, e que o tempo de detenção na unidade de aplicação de "Proxitane" era de 27 minutos.

3.2. Resultados Físico-Químicos

Os valores médios dos parâmetros operacionais e físico-químicos estão apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8, respectivamente para a desinfecção com ozônio, "Proxitane" a 3 mg/L de ácido peracético e "Proxitane" a 5 mg/L de ácido peracético. Apesar de existirem diferenças entre os valores de entrada e os de saída para diversos parâmetros nem sempre as mesmas foram estatisticamente significativas.

Tabela 6 - Médias aritméticas, medianas, mínimos e máximos para os parâmetros operacionais e físico-químicos - resultados com ozônio

Parâmetro	Entrada do sistema					Saída do Sistema				
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Nº dados
Sólidos totais	215,4	221,0	175,0	266,0	14	193,8	192,0	180,0	211,0	5
Sólidos em suspensão totais	14,4	11,0	4,0	31,5	15	6,0	6,0	3,0	8,0	5
Sólidos dissolvidos totais	201,0	208,0	171,0	241,6	15	188,3	187,0	173,0	206,1	4
Sólidos voláteis	70,2	61,0	14,0	136,0	15	46,5	46,0	38,0	56,0	4
Sólidos em suspensão voláteis	9,5	8,0	2,3	19,2	13	3,2	3,0	1,5	5,0	5
Sólidos dissolvidos voláteis	61,4	57,0	3,0	121,0	13	43,8	43,5	36,5	51,0	4
Sólidos decantáveis	0,1	0,1	0,1	0,1	14	0,1	0,1	0,1	0,1	5
DBO	15,6	17,0	1,0	29,0	15	16,8	13,0	6,0	31,0	5
DQO	36,8	38,0	10,0	68,0	14	26,4	29,0	18,0	37,0	5
Oxigênio dissolvido	2,7	2,9	0,2	4,6	27	14,2	13,6	11,6	18,0	18
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Nº de dados					
Temp. amostra	23,1	24,0	20,0	27,0	29					
Temp. ambiente	21,3	22,0	14,0	26,0	29					
Tempo de contato	18,0	18,0	18,0	18,6	14					
Dose aplicada	9,6	9,2	9,0	10,6	14					
Dose consumida	5,2	5,4	4,4	5,9	14					

* valores em mg/L, exceto para sólidos decantáveis (mL/L), temperatura (°C), tempo de contato (min)

Tabela 7 - Médias aritméticas, medianas, mínimos e máximos para os parâmetros operacionais e físico químicos - resultados com "Proxitane" (3 mg/L de ácido peracético, tempo de contato de 27 minutos)

Parâmetro	Entrada do sistema					Saída do sistema				
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Nº dados
Sólidos totais	226,7	235,0	184,0	261,0	3	220,0	220,0	182,0	258,0	2
Sólidos em suspensão totais	20,5	22,0	8,0	31,5	3	15,0	15,0	5,0	25,0	2
Sólidos dissolvidos totais	206,2	213,0	176,0	229,5	3	157	157,0	157,0	157,0	1
Sólidos voláteis	55,7	61,0	36,0	70,0	3	63,5	63,5,0	38,0	89,0	2
Sólidos em suspensão voláteis	16,0	16,0	16,0	16,0	1	12,0	12,0	16,0	16,0	1
Sólidos dissolvidos voláteis	20,0	20,0	20,0	20,0	1	27,0	27,0	20,0	20,0	1
Sólidos decantáveis	0,1	0,1	0,1	0,1	3	0,1	0,1	0,1	0,1	3
DBO	19,3	19,0	17,0	22,0	3	15,0	15,0	13,0	17,0	3
DQO	54,3	56,0	39,0	68,0	3	42,7	40,0	34,0	54,0	3
Oxigênio dissolvido	3,4	3,3	2,8	4,4	5	9,1	9,6	6,5	11,8	6
Temp. amostra	21,7	21,0			20,0					7
Temp. ambiente	19,7	19,0			18,0					7

* valores em mg/L, exceto para sólidos decantáveis (mL/L), temperatura (°C)

Tabela 8 - Médias aritméticas, medianas, mínimos e máximos para os parâmetros operacionais e físico químicos - resultados com "Proxitane" (5 mg/L de ácido peracético)

Parâmetro	Entrada do sistema					Saída do sistema				
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Nº dados
Sólidos totais	213,5	221,0	175,0	266,0	13	216,1	213,0	163,0	277,0	11
Sólidos em suspensão totais	12,4	7,0	4,0	27,0	13	10,8	10,0	4,0	20,0	11
Sólidos dissolvidos totais	201,1	208,0	171,0	241,6	13	205,2	203,0	146,0	271,6	11
Sólidos voláteis	73,4	68,0	14,0	136	13	72,8	56,0	14,0	138,0	11
Sólidos em suspensão voláteis	8,8	6,0	2,3	19,2	13	8,0	7,0	2,5	18,0	11
Sólidos dissolvidos voláteis	64,6	60,0	3,0	121,0	13	64,8	53,5	1,0	124,0	11
Sólidos decantáveis	0,1	0,1	0,1	0,1	12	0,1	0,1	0,1	0,1	11
DBO	14,8	16,0	1,0	29,0	13	11,5	11,3	7,0	23,0	12
DQO	32,0	33,0	10,0	46,0	12	40,7	41,5	28,0	56,0	12
Oxigênio dissolvido	2,4	2,4	0,2	4,6	20	11,5	11,3	8,0	15,6	24
Temp. amostra					Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Nº de dados	
Temp. ambiente					23,7	24,0	20,0	27,0	25	
					22,1	23,0	14,0	26,0	25	

* valores em mg/L, exceto para sólidos decantáveis (mL/L), temperatura (°C), tempo de contato (min)

Os resultados do teste "t" para dados pareados indicaram que as únicas diferenças que atingiram o nível de significância pré estabelecido foram as seguintes:

- aumento na concentração de oxigênio dissolvido, para os três processos, com nível de significância (α) de 0,01;
- redução de DQO para a ozonização, com nível de significância (α) de 0,04;
- redução de DBO para a aplicação de "Proxitane" com 5 mg/L de ácido peracético, com nível de significância (α) de 0,05.

Assim, pode-se afirmar que a aplicação de 9,6 mg/L de ozônio (com consumo efetivo de 5,2 mg/L) removeu 28,3 % da DQO, e que a desinfecção com "Proxitane" a 5 mg/L de ácido peracético removeu 22,3 % da DBO.

A introdução de oxigênio não é de surpreender, uma vez que tanto o ozônio como o peróxido de hidrogênio fornecem oxigênio molecular.

3.3. Resultados Microbiológicos

Os valores das medianas das contagens dos microrganismos, bem como dos logaritmos, na entrada e na saída dos sistemas de desinfecção, estão apresentados nas Tabelas 9, 10 e 11, respectivamente para aplicação de ozônio a 9,6 mg/L, ácido peracético a 3 mg/L e ácido peracético a 5 mg/L.

Foram retirados três dias de resultados do ensaio de ozonização (16/11, 08/12 e 13/12), porque nesses dias a unidade operou em condições muito diferentes das demais. As condições observadas para todos os outros dias foram de tempo de contato entre 18,0 e 18,6 min e dose aplicada na faixa de 9,1 a 10,6 mg O₃/L. No dia 16/11 a dose aplicada foi de 54,0 mg O₃/L e o tempo de contato de 27,2 minutos. Nos dias 08/12 e 13/12 as doses aplicadas foram, respectivamente, de 49,1 e 36,0 mg O₃/L. Ponderou-se que o objetivo do estudo era de obter o melhor rendimento e que, portanto, não interessaria estudar a desinfecção com dosagens tão elevadas de ozônio.

Pode-se verificar que para o ensaio com aplicação de 3 mg/L de ácido peracético havia uma concentração um pouco maior de coliformes fecais e colifagos na alimentação, mas os valores obtidos são típicos de um efluente doméstico secundário.

3.3.1. Eficiências de remoção e sobrevivência

Os resultados sobre a diferença estatística entre as contagens de entrada e saída, obtidos através do teste de Wilcoxon, podem ser vistos na Tabela 12, que mostra o nível de significância obtido para a redução observada dos parâmetros microbiológicos.

Tabela 9 - Sumário dos resultados microbiológicos para desinfecção com ozônio (dose aplicada de 9,6 mg/L e tempo de contato de 18 minutos)

Parâmetro	Entrada do sistema			Saída do sistema				
	Contagem *	Log **	Mínimo	Máximo	Contagem *	Log **	Mínimo	Máximo
Coliformes totais	3,0 x 10 ⁵	5,48	4,48	6,48	800	2,90	2,04	3,70
Coliformes fecais	3,0 x 10 ⁴	4,48	3,05	5,85	25	1,49	0,00	2,48
<i>Clostridium perfringens</i>	1,4 x 10 ³	3,15	1,15	4,48	105	2,00	0,00	3,90
Colifagos	6,0 x 10 ³	3,78	2,29	4,90	11	1,08	0,00	1,93

* medianas das contagens, em NMP/100 mL, exceto para colifagos (em UFP/100 mL); **log das contagens

Tabela 10 - Sumário dos resultados microbiológicos para desinfecção com "Proxitane" (dose aplicada de 3 mg/L de ácido peracético e tempo de contato de 27 minutos)

Parâmetro	Entrada do sistema			Saída do sistema				
	Contagem *	Log **	Mínimo	Máximo	Contagem *	Log **	Mínimo	Máximo
Coliformes totais	8,0 x 10 ⁵	5,90	4,90	6,15	1,7 x 10 ⁴	4,23	3,48	5,48
Coliformes fecais	1,1 x 10 ⁵	5,04	3,90	5,23	500	2,70	1,43	4,11
<i>Clostridium perfringens</i>	3,0 x 10 ³	3,48	2,70	4,48	2,2 x 10 ³	3,34	2,34	4,11
Colifagos	2,45 x 10 ⁴	4,35	3,08	4,90	1,55 x 10 ³	3,19	1,49	3,89

* medianas das contagens, em NMP/100 mL, exceto para colifagos (em UFP/100 mL); **log das contagens

* medianas das contagens, em NMP/100 mL, exceto para colifagos (em UFP/100 mL); **log das contagens

Tabela 11 - Sumário dos resultados microbiológicos para desinfecção com "Proxitane" (dose aplicada de 5 mg/L de ácido peracético e tempo de contato de 27 minutos)

minutos)

Parâmetro	Entrada do sistema			Saída do sistema				
	Contagem *	Log **	Mínimo	Máximo	Contagem *	Log **	Mínimo	Máximo
Coliformes totais	2,3 x 10 ⁵	5,36	4,48	6,48	1,3 x 10 ³	3,11	1,95	4,11
Coliformes fecais	2,4 x 10 ⁴	4,37	3,70	5,85	4	0,70	0,00	1,96
<i>Clostridium perfringens</i>	1,3 x 10 ³	3,11	0,30	4,48	500	2,70	1,43	3,90
Colifagos	4,0 x 10 ³	3,60	2,04	4,70	150	2,18	0	3,53

* medianas das contagens, em NMP/100 mL, exceto para colifagos (em UFP/100 mL); **log das contagens

Tabela 12 - Valores da significância (α) da redução dos parâmetros microbiológicos, segundo teste de Wilcoxon

Parâmetro	"Proxitane" (3 mg/L de ácido peracético)	"Proxitane" (5 mg/L de ácido peracético)	Ozônio (9,6 mg/L*)
Coliformes totais	0,05	0,01	0,01
Coliformes fecais	0,02	0,01	0,01
<i>C. perfringens</i>	n.s.	n.s.	0,01
Colifagos	0,05	0,01	0,01

n.s. = não significativo; * dose consumida de 5,2 mg/L

Para a aplicação de ozônio, houve diferença estatisticamente significativa entre a alimentação e o efluente para coliformes totais, coliformes fecais, *Clostridium perfringens* e colifagos. No caso da desinfecção com "Proxitane", para dosagens de ácido peracético a 3 mg/L e 5 mg/L, também houve diferença estatisticamente significativa para as contagens microbiológicas, com exceção de *Clostridium perfringens*. Foi interessante observar que o aumento da dosagem de 3 mg/L para 5 mg/L em ácido peracético resultou em uma melhoria no nível de significância estatística da diferença entre as contagens na alimentação e no efluente.

A Tabela 13 mostra uma comparação entre as eficiências de remoção e as sobrevivências obtidas nos três ensaios. Não foram indicadas as eficiências de remoção de *Clostridium perfringens* para a aplicação de "Proxitane", porque as mesmas, apesar de poderem ser calculadas, não são significativas. Na Tabela 14, a remoção é indicada em porcentagem.

Tanto a aplicação de ozônio como a de "Proxitane" a 5 mg/L de ácido peracético atingiram o objetivo do trabalho, que era de remover 3 unidades log de coliformes fecais. A aplicação de 3 mg/L de ácido peracético, apesar de efetiva na remoção de coliformes fecais, ficou abaixo da expectativa de remoção. O produto "Proxitane" foi mais eficiente na remoção de coliformes fecais, enquanto que o ozônio reduziu melhor os colifagos e os clostrídios.

A remoção de *Salmonella* e formas resistentes de parasitas (ovos e larvas de helmintos e cistos de protozoários) não pode ser avaliada porque na saída do sistema de lodos ativados tais organismos já eram encontrados apenas eventualmente.

Foram efetuadas cinco análises de *Salmonella* spp. no esgoto tratado que alimentava as unidades de desinfecção, constatando-se a presença da bactéria em apenas uma. A mesma foi detectada em uma das três análises no efluente do sistema com ácido peracético a 3 mg/L. Para a desinfecção com ozônio e "Proxitane" a 5 mg/L de ácido peracético, analisou-se a presença de *Salmonella* spp. em apenas duas oportunidades, não sendo a mesma detectada em nenhuma delas.

Tabela 13 - Comparação entre as eficiências de remoção (em unidades log) e sobrevivência de microrganismos nos ensaios de desinfecção por ozônio e ácido peracético

Parâmetro	Eficiência de remoção (unidades log)			Sobrevivência (contagem no efluente, NMP ou UFP/100mL)		
	"Proxitane" (PAA 3 mg/L)	"Proxitane" (PAA 5 mg/L)	Ozônio (9,6mg/L)*	"Proxitane" (PAA 3 mg/L)	"Proxitane" (PAA 5 mg/L)	Ozônio (9,6mg/L)*
Coliformes totais	1,67	2,25	2,58	17000	1300	800
Coliformes fecais	2,34	3,67	2,99	500	4	25
<i>Clostridium perfringens</i>	-	-	1,15	2200	500	105
Colifagos	1,16	1,42	2,70	1550	150	11

PAA = ácido peracético; * dose aplicada de 9,6 mg/L e consumida de 5,2 mg/L

Tabela 14 - Eficiência de remoção de microrganismos, em porcentagem

Parâmetro	Eficiência de remoção (em %)		
	"Proxitane" (ácido peracético 3 mg/L)	"Proxitane" (ácido peracético 5 mg/L)	Ozônio (9,6 mg/L)*
Coliformes totais	98 %	99,4 %	99,7 %
Coliformes fecais	99,5 %	99,98 %	99,92 %
<i>Clostridium perfringens</i>	27 % **	62 % **	93 %
Colifagos	94 %	96 %	99,8 %

* dose aplicada de 9,6 mg/L e consumida de 5,2 mg/L

** diferença não significativa do ponto de vista estatístico

Os ovos e larvas de helmintos e cistos de protozoários foram analisados em cinco oportunidades no efluente do lodos ativados, não tendo sido encontrados em nenhuma das amostras. Assim, optou-se por suspender a realização de determinações desses parâmetros.

3.3.2. Correlação entre contagens de microrganismos na entrada e na saída

Foram testadas todas as correlações entre contagens de microrganismos na entrada e na saída para os três ensaios realizados, tendo sido significativas as seguintes:

- *Clostridium perfringens* para a aplicação de "Proxitane" a 5 mg/L de ácido peracético, com coeficiente de Spearman de 0,653, 23 casos válidos e nível de significância atingido (α) de 0,01 (coeficiente crítico = 0,532);
- colifagos para a aplicação de "Proxitane" a 5 mg/L de ácido peracético, com coeficiente de Spearman calculado de 0,489, 21 casos válidos e nível de significância (α) de 0,05 (coeficiente crítico = 0,437).

Em ambos os casos os coeficientes foram positivos, indicando que quando havia maior concentração de clostrídios e colifagos na entrada da desinfecção, havia maior contagem também no efluente desinfetado.

3.3.3. Correlação entre sobrevivência de microrganismos no efluente desinfetado, eficiência de remoção e variáveis físico-químicas

Apenas foram obtidas correlações significativas para o ensaio com "Proxitane" a 5 mg/L de ácido peracético, que estão resumidas na Tabela 15, a seguir. Todas as demais correlações não atingiram o nível de significância estabelecido de 0,05. Acredita-se que o pequeno número de dados para os ensaios com ozônio e "Proxitane" a 3 mg/L não permitiu a obtenção de outras correlações.

No caso do ensaio com aplicação com "Proxitane" a 3 mg/L de ácido peracético, houve correlação significativa entre a sobrevivência de colifagos e o pH do esgoto. No entanto, esta não foi confirmada no ensaio com dosagem de 5 mg/L, nem foi obtida correlação entre remoção dos fagos e pH, razões pelas quais a discussão não foi aprofundada.

Pode-se afirmar que, nas condições dos ensaios, a remoção de coliformes fecais estava relacionada à concentração de oxigênio dissolvido na saída do sistema, e quanto maior esta concentração maior a remoção, e menor a sobrevivência.

O sinal negativo da correlação entre remoção de colifagos e SST significa que quanto maior a concentração de sólidos em suspensão, menor a eficiência de remoção. Por outro lado, valores mais elevados de SSV na entrada na unidade de desinfecção correspondiam a valores maiores de sobrevivência de colifagos, medida como contagem no efluente desinfetado. Isto significa que a presença de sólidos em suspensão na entrada do processo de desinfecção por "Proxitane" prejudicava a remoção de colifagos. A correlação está ilustrada na Figura 4

Tabela 15 - Correlações significativas entre a sobrevivência de microrganismos no efluente desinfetado por "Proxitane" (à dosagem de 5 mg/L de ácido peracético), eficiência de remoção e variáveis físico-químicas

Correlação	Coefficiente Spearman calculado	Coefficiente Spearman crítico	Número de dados	Nível de significância atingido
Remoção coli fecal (log) X OD saída	0,645	0,544	22	0,01
Sobrevivência coli fecal (contagem efluente) X OD saída	- 0,499	0,426	23	0,05
Remoção colifagos (log) X SST entrada	- 0,741	0,619	11	0,05
Sobrevivência colifagos (contagem efluente) X SSV entrada	0,620	0,619	11	0,05

3.4. Resultados de Toxicidade

Na Tabela 16, estão apresentados os resultados de toxicidade aguda para três organismos aquáticos, representativos dos diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar, obtidos para as amostras de efluente de lodos ativados sem tratamento e dos efluentes desinfetados por ozônio e ácido peracético.

Como pode ser observado pelos resultados de toxicidade aguda às bactérias luminescentes *P. phosphoreum*., os efluentes sem tratamento ou aqueles tratados com ozônio não apresentaram toxicidade aguda para as bactérias luminescentes. Por outro lado, para a quase totalidade das amostras de efluentes tratados com ácido peracético, foram obtidos valores de CE50 relativamente baixos, o que indica que esse produto químico apresenta toxicidade elevada para *P. phosphoreum*. Nota-se também que ao aumento da dosagem de 3 para 5 mg/L de ácido peracético, corresponde um aumento da toxicidade aguda de 66,7 % das amostras para 87,5 % no intervalo de > 0 - 10, e de 33,3 % das amostras para 12,5 % no intervalo de >10 - 20 de CE50. Os resultados individuais podem ser vistos nas tabelas específicas (tabelas 17, 18, e 19).

Tabela 16 - Resultados da toxicidade aguda para *Photobacterium phosphoreum* (sistema Microtox) nos efluentes de lodos ativados e tratados com ácido peracético e ozônio

Ponto de coleta	Resultados (% amostras) em intervalos de CE(D)50; 48h e de CL(D)50; 96h										
	Número análises	>0-10	>10-20	>20-30	>30-40	>40-50	>50-60	>60-70	>70-80	>80-90	NT
Efluente de lodos ativados	12										NT
Ácido peracético (3 mg/L)	3	66,7	33,3								100
Ácido peracético (5 mg/L)	8	87,5	12,5								
Ozônio (9,6 mg/L)	10								10,0		90

NT = não tóxico.

Verifica-se pelos resultados apresentados nas Tabelas 17 e 19, que a desinfecção por ozônio nas concentrações empregadas neste estudo, não causou efeito tóxico agudo a *Daphnia similis* e larvas de *Brachydanio rerio*.

Em algumas amostras o efluente não desinfetado apresentou baixa toxicidade a *Daphnia similis*, não decorrente dos níveis de oxigênio dissolvido ou pH, sendo a mesma removida após o tratamento com ozônio (Tabela 17).

Registrou-se toxicidade aguda para *Daphnia similis* em uma única amostra ozonizada (nº7), embora semelhante em relação àquela obtida para o efluente sem desinfecção (Tabela 17).

O segundo desinfetante alternativo testado - ácido peracético - com concentração inicial de 3 mg/L, apresentou uma CE50; 48 h após a desinfecção na faixa de 16 a 27% para *Daphnia similis*, não causando efeito tóxico agudo para larvas de *Brachydanio rerio*. Com o aumento da concentração aplicada para 5 mg/L, observa-se que após a desinfecção, a toxicidade para *Daphnia similis* elevou-se e a CE50; 48 h passou para a faixa de 2,8 a 17,9 (Tabela 18).

Nos testes com larvas de *Brachydanio rerio*, excetuando-se a amostra nº9, o efluente desinfetado com 5 mg/L de ácido peracético apresentou baixa toxicidade em comparação a *Daphnia similis* (Tabela 19).

Tabela 17 - Resultados da Toxicidade aguda com *Daphnia similis* nos efluentes de lodos ativados e tratado com ozônio

AMOSTRA Nº	EFLUENTE					
	ANTES DA DESINFECÇÃO POR OZÔNIO			APÓS DESINFECÇÃO POR OZÔNIO		
	pH	OD mg/L	CE 50, 48h (%) <i>D. similis</i>	pH	OD mg/L	CE 50, 48h (%) <i>D. similis</i>
1	5,7	4,7	NT	5,7	9,8	NT
2	5,7	6,5	NT	-	-	-
3	5,9	6,0	29,9	5,4	8,3	NT
4	6,3	6,3	89,9	5,6	10,0	NT
5	5,9	6,4	NT	5,5	7,8	NT
6	6,2	6,0	NT	-	-	-
7	4,6	5,6	48,2	4,3	10,1	69,9
8	5,5	5,3	20,5	5,0	9,0	NT
9	5,6	3,6	81,0	5,2	8,5	NT
10	5,7	4,1	71,6	6,8	11,0	NT
11	7,1	4,0	48,3	7,2	9,3	NT
12	6,8	3,9	NT	7,0	12,0	NT

NT: A amostra não apresentou efeito tóxico agudo

- : Amostragem não efetuada

Tabela 18 - Resultados da Toxicidade aguda com *Daphnia similis* nos efluentes de lodos ativados e tratado com ácido peracético

AMOSTRA Nº	EFLUENTE						
	ANTES DA DESINFECÇÃO			APÓS DESINFECÇÃO POR ÁCIDO PERACÉTICO			
	pH	OD mg/L	CE 50, 48h (%) <u>D. similis</u>	pH	OD mg/L	CONC. APLICADA	CE 50, 48h (%) <u>D. similis</u>
1	5,7	4,7	NT	5,8	6,0	3 mg/L	27,3
2	5,7	6,5	NT	5,8	7,2	3 mg/L	14,1
3	5,9	6,0	29,9	5,0	6,7	3 mg/L	16,1
4	6,3	6,3	89,9	5,1	7,2	5 mg/L	6,8
5	5,9	6,4	NT	4,6	6,7	5 mg/L	5,9
6	6,2	6,0	NT	5,5	6,8	5 mg/L	17,9
7	4,6	5,6	48,2	4,3	6,9	5 mg/L	12,9
8	5,5	5,3	20,5	4,6	6,8	5 mg/L	5,8
9	5,6	3,6	81,0	4,9	6,2	5 mg/L	4,7
10	5,7	4,1	71,6	4,6	6,1	5 mg/L	3,6
11	7,1	4,0	48,3	7,1	6,6	5 mg/L	9,6
12	6,8	3,9	NT	6,9	6,5	5 mg/L	2,8

NT: A amostra não apresentou efeito tóxico agudo

Tabela 19 - CL(I)50; 96h, em % para larvas de *Brachydanio rerio*

AMOSTRA Nº	EFLUENTE		
	ANTES DA DESINFECÇÃO	APÓS TRATAMENTO ÁCIDO PERACÉTICO	APÓS TRATAMENTO COM OZÔNIO
1	NT*	NT	NT*
2	NT	NT	NT
3	NT	NT	NT
4	NT	77,1	NT
5	NT	71,6	NT
6	NT	IT**	NT
7	NT	IT	NT
8	NT	IT	NT
9	NT	NT	NT

* : NT = A amostra não apresentou efeito tóxico agudo

** : IT = Indícios de toxicidade

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

4. DISCUSSÃO

4.1. Remoção de Microrganismos

4.1.1. Desinfecção com ácido peracético

Baldry e French (1989, b) estudaram a atividade do ácido peracético em microrganismos indicadores de contaminação fecal, e propuseram condições mínimas para a desinfecção de efluentes, de forma a se obter uma redução de pelo menos 3 unidades log de coliformes fecais. Para efluentes de sistemas de lodos ativados com decantador secundário, os autores indicaram que 1 mg/L de ácido peracético e 5 minutos de contato para um efluente contendo uma concentração original de $3,0 \times 10^5$ cfu/100 cm³, ou 2 mg/L e tempo de contato de 5 minutos para uma concentração inicial de $1,5 \times 10^3$ cfu/100 cm³, seriam suficientes para atingir os níveis desejados. Os resultados obtidos neste trabalho não confirmaram essas sugestões. Para remover 3,7 unidades log de coliformes fecais foram necessários 5 mg/L de aplicação de ácido peracético e tempo de contato de 27 minutos, a uma temperatura média do líquido de 23,7 °C (faixa de variação de 20 a 27 °C).

Em outro trabalho, da autoria de Morris (1993), esgoto doméstico decantado foi utilizado para verificar a redução de coliformes totais, coliformes fecais e poliovirus tipo 2, na presença de cloro e ácido peracético. O esgoto decantado possuía características médias de DBO de 34 mg/L (faixa de variação de 18 a 55 mg/L), de sólidos em suspensão de 63 mg/L (variando entre 21 e 152 mg/L), pH na faixa de 6,9 a 7,5, e carbono orgânico total de 25,4 mg/L (variação de 14,9 até 56,1 mg/L). No Brasil, tais valores corresponderiam não a esgoto decantado, mas a efluente tratado a nível secundário. A aplicação de 5,3 mg/L do produto "Oxymaster" (que tem a mesma fórmula que o "Proxitane"), a uma temperatura de cerca de 21 °C, obteve as seguintes reduções após 20 minutos de contacto: > 99,997 % de coliformes totais, > 99,994 % de coliformes fecais e 61,91 % de poliovirus tipo 2. Deve-se ressaltar que os testes foram efetuados em bancada, com 180 mL de amostra e aplicação de 20 mL de produto na concentração necessária para obter o residual desejado.

Mathieu e colaboradores (1990) utilizaram teste padrão em laboratório para verificar o efeito de ácido peracético em bactérias presentes em esgotos domésticos e em biofilmes desenvolvidos em laboratório. O produto empregado, à semelhança do "Proxitane", continha peróxido de hidrogênio e ácido acético em equilíbrio. Foi obtida uma remoção de 99 % de coliformes termotolerantes (coliformes fecais), em despejos secundários de esgotos, com aplicação de 2,5 mg/L de ácido peracético, tempo de contato de 60 minutos e temperatura de 30 °C; resultado semelhante foi apresentado pela cloração.

Os dados de Morris e Mathieu, apesar de resultarem de ensaios executados em laboratório e não em operação contínua, apresentaram maior concordância com os obtidos neste estudo, em relação aos coliformes fecais. Comparando-se o produto da dose aplicada e do tempo de contato ($C \times t$) com a remoção de coliformes fecais em unidades log, Morris obteve remoção de 4 unidades com 106 mg-min/L, Mathieu 2 unidades com 150 mg-min/L, e neste estudo foram observadas remoção de 2,3 unidades para 81 mg-min/L e de 3,7 unidades para 135 mg-min/L. A sugestão de Baldry e French para efluentes de lodos ativados seria de 3 unidades log de remoção para valores de ($C \times t$) entre 5 e 10 mg-min/L, o que parece demasiado otimista para condições de operação contínua.

Morris obteve remoções de coliformes fecais e totais igualmente boas. Os resultados aqui apresentados indicaram que a remoção de coliformes fecais é mais acentuada que a de coliformes totais; isto se repetiu para o estudo com aplicação de ozônio. O mesmo fato foi

observado em estudos anteriores de desinfecção desenvolvidos pela CETESB com efluente de reator anaeróbio, através dos processos de cloração e ozonização (Gasi et al., 1991). Os dados levam a confirmar que os coliformes totais não se constituem em um bom indicador para a desinfecção de efluentes de estações de tratamento de esgotos. Feachem et al. (1980, 1983) consideram que os coliformes totais são inapropriados para indicar a presença de organismos patogênicos nos esgotos, e que apenas os coliformes fecais devem ser empregados como indicadores de bactérias patogênicas.

A aplicação de "Proxitane" não removeu com eficiência o grupo de clostrídios sulfito redutores. Deve-se considerar que esta bactéria, pela capacidade de esporulação, é mais resistente que os outros indicadores bacterianos. A escolha da mesma para o teste pretendia verificar se haveria correlação com outros organismos mais resistentes, como cistos e ovos, que na verdade não estiveram presentes na entrada da desinfecção, por serem eficientemente removidos no próprio processo de lodos ativados.

Os resultados obtidos demonstraram que havia correlação entre a remoção de bactérias e a dose aplicada. Para coliformes totais e fecais, o aumento da dose de 3 para 5 mg/L resultou em um aumento nas eficiências de remoção, respectivamente de 1,7 para 2,3 unidades log, e de 2,3 para 3,7 unidades log. Mesmo para *Clostridium perfringens*, cuja remoção não foi estatisticamente significativa, houve melhoria na mortalidade, aumentando a remoção de 27 % para 62 %. Deve-se ressaltar, entretanto, que o aumento na eficiência de remoção de fagos foi inexpressiva, de apenas 1,2 para 1,4 unidades log, sugerindo que a remoção de vírus não seria afetada pela dose aplicada. Isto confirma as observações de Morris (1993), que sugeriu que a inativação de vírus estaria correlacionada com o tempo de contato e não com a dose aplicada.

A literatura aponta divergências com relação à eficiência do ácido peracético na inativação de vírus. Baldry, French e Slater (1991) ressaltaram que o produto era efetivo contra bacteriófagos e os vírus comumente encontrados no esgoto. A atividade virucida, comparada com a do cloro, seria pouco afetada pela presença de matéria orgânica e continuaria atuando por até uma hora após a adição do ácido peracético. Os tempos de contato e as doses aplicadas, em teste em laboratório com água desmineralizada, foram os seguintes, para obter as remoções indicadas:

- 5 min e 12-15 mg/L para remoção de 4 unidades log de fago MS2 ($C \times t = 60$ a 75 mg-min/L);
- 5 min e 25-30 mg/L para remoção de 4 unidades log de fago γ x174 ($C \times t = 75$ a 150 mg-min/L);
- 10 min e 1.500-2.250 mg/L para remoção de 4 unidades log de poliovírus ($C \times t = 15.000$ a 22.500 mg-min/L);
- 15 min e 750-1.500 mg/L para remoção de 4 unidades log de poliovírus ($C \times t = 11.250$ a 22.500 mg-min/L);
- 60 min e 150-375 mg/L para remoção de 4 unidades log de poliovírus ($C \times t = 9.000$ a 22.500 mg-min/L);
- 60 min e 100-375 mg/L para remoção de 3 unidades log de echovírus ($C \times t = 6.000$ a 22.500 mg-min/L);

- 15 min e 250-500 mg/L para remoção total de coxsackievirus ($C \times t = 3.750$ a 7.500 mg-min/L);

- 60 min e 100-375 mg/L para remoção total de coxsackievirus ($C \times t = 6.000$ a 22.500 mg-min/L).

Pode-se observar que boas remoções de vírus só foram obtidas com a aplicação de doses elevadas de ácido peracético, e que os mesmos eram bem mais resistentes que os bacteriófagos. Segundo Baldry e colaboradores (1991), a desinfecção prática de esgotos e efluentes tratados, conforme estabelecido previamente, iria requerer doses bem menores que as empregadas nos testes rigorosos de laboratório, e seriam da ordem de 4 a 15 mg/L. Os autores também indicaram que os fagos não deveriam ser empregados como indicadores de vírus na desinfecção com ácido peracético.

Um aspecto relevante apontado por Baldry, French e Slater (1991) foi a verificação de que a presença de matéria orgânica, na forma de extrato de levedura, afetava negativamente muito mais a eficiência virucida do cloro que do ácido peracético. Assim, a desinfecção de esgoto bruto com ácido peracético seria vantajosa quando comparada à cloração. Os autores indicaram a previsão de realizar outros estudos para estabelecer as doses necessárias de ácido peracético para remoção satisfatória de vírus em esgotos e efluentes tratados.

Morris (1993), realizou pesquisa com esgoto, comparando a eficiência do ácido peracético e do cloro. Conforme indicado anteriormente o autor testou a desinfecção de esgoto decantado com "Oxymaster" a dosagem de 5,3 mg/L de ácido peracético e tempo de contato de 20 minutos ($C \times t = 106$ mg-min/L), obtendo 61,91 % de remoção de poliovirus tipo 2. O teste com hipoclorito de sódio, com residual de 5,6 mg/L e tempo de contato de 20 minutos, removeu 92,95 % do mesmo vírus. O autor concluiu que o produto peroxidado, no que se referia à capacidade virucida, não seria uma alternativa viável para desinfecção de esgotos. Em outras palavras, o comportamento observado por Baldry et al. para água desmineralizada e extrato de levedura não se repetiu para o padrão complexo de matéria orgânica que é encontrado nos esgotos domésticos.

As remoções de fagos observadas neste trabalho foram de 94 % e 96 % para 27 minutos de contato e, respectivamente, 3 e 5 mg/L de ácido peracético, e indicam que o produto tem menor poder virucida que bactericida. Pode-se esperar, à luz dos dados de literatura, que as remoções de vírus tenham sido significativamente menores.

Deve-se também ressaltar, confirmando em parte as afirmações de Baldry et al. (1991), que a eficiência de remoção dos microrganismos não esteve relacionada às flutuações na concentração de matéria orgânica, na faixa de variação de DBO de 1,0 a 29,0 mg/L e DQO de 10,0 a 46,0 mg/L. Não se deve, entretanto, pressupor que ocorreria o mesmo com esgoto bruto.

Para o ensaio com aplicação de 5 mg/L de ácido peracético, observou-se correlação entre as contagens de *Clostridium perfringens* na entrada e na saída da unidade, ocorrendo o mesmo para colifagos. Estes foram justamente os organismos que não foram removidos com eficiência. Pode-se dizer que a sobrevivência dos organismos mais resistentes à aplicação do produto peroxidado dependia das concentrações dos mesmos no esgoto a ser desinfetado.

As condições hidráulicas dos tanques de contato têm uma importância relevante na eficiência da desinfecção de líquidos. Venosa (1993) relata experiência com um reator piloto para cloração de esgotos, considerando alguns aspectos ótimos de projeto, como: mistura

inicial rápida, controle da dose aplicada, controle automático do residual e tanque de contato com regime tubular (*plug flow*). Comparando as doses aplicadas em seis plantas de desinfecção em escala real, com as condições ótimas obtidas no reator piloto, o autor concluiu que seria possível, através de melhoramento hidráulico nas câmaras de contato, reduzir a dose aplicada de cloro em 46,7 % e de residual em 42,9 %, em média. Gasi et al. (1986), estudando a cloração de efluentes anaeróbios, subdividiram cada um dos três tanques de contato em 10 compartimentos, para que o regime hidráulico do sistema fosse próximo a um tubular. Sobsey (1989) também cita a importância das condições hidráulicas para a eficiência da desinfecção, como o projeto do reator, o grau de mistura e outros fatores. Diferenças na cinética da desinfecção foram observadas, quando se comparou o regime tubular com o de mistura completa; Collins e Selleck (1972) acharam que a desinfecção de bactérias coliformes era mais rápida no regime tubular.

A Tabela 17 apresenta alguns dados de dispersão obtidos na literatura, comparados ao sistema "Proxitane" empregado neste estudo. Nota-se que o valor de dispersão calculado para o tanque de contato com ácido peracético é alto em relação aos demais. De acordo com Levenspiel (1974), o valor do número de dispersão encontrado para o sistema estudado corresponde a uma quantidade grande de dispersão. As relações entre comprimento, largura e altura, e velocidade do líquido também se diferenciam dos obtidos em literatura.

Tabela 17 - Características hidráulicas de tanques de contato

Referência	Tanque de contato	Desinfetante	L/W	H/W	Velocidade (cm/min)	D/uL	t (min)
Venosa (1993)	1	cloro	135	2,0	46	0,023	60
	2		270	2,0	46	0,021	120
Gasi et al. (1986)	1	cloro	34	0,75	21	0,026	20
	1+2		68	0,75	21	0,015	40
	1+2+3		102	0,75	21	0,010	60
Sistema "Proxitane"	1+2	ácido peracético	2,6	0,5 (1 ^o) 0,17 (2 ^o)	10	0,190	27

L = comprimento do reator; W = largura do reator; H = altura do reator; t = tempo de residência

Verificou-se que a presença de sólidos em suspensão prejudicava a remoção de vírus (ver Figura 4). A influência de material particulado nos processos de desinfecção é relatada por Sobsey (1989), que aponta que os sólidos em suspensão protegem os micróbios do desinfetante. Segundo o autor, este fenômeno não é observado consistentemente e pode depender do tipo da partícula e do tipo de associação entre o microrganismo e o material em suspensão.

Obteve-se correlação entre a sobrevivência e remoção de microrganismos com as concentrações de oxigênio dissolvido na saída do sistema. Pode-se argumentar que as concentrações de OD no efluente desinfetado podem ser entendidas como uma medida indireta

da dose de desinfetante aplicada. Sabe-se que um dos usos do peróxido de hidrogênio é a introdução de oxigênio em sistemas biológicos aeróbios (INTEROX, 1979), explicada pela seguinte reação:



Uma vez que o produto "Proxitane" aplicado continha uma composição estabelecida em termos de ácido peracético e peróxido de hidrogênio, uma maior dosagem de ácido peracético implicaria em um correspondente aumento na dose de peróxido de hidrogênio, que poderia ser indiretamente avaliada pelas concentrações de oxigênio dissolvido na saída da unidade de desinfecção.

Segundo Fraser (1987), a adição do ácido peracético não aumentava a carga poluidora. Os resultados obtidos neste trabalho puderam confirmar esta afirmação no que se refere à matéria biodegradável, acrescendo-se que havia remoção de 22,3 % de DBO. Observou-se aumento na concentração da DQO, devendo-se ressaltar que este acréscimo não foi estatisticamente significativo.

4.1.2. Desinfecção com ozônio

A ozonização de efluente de lodos ativados, nas condições dos testes desenvolvidos durante este trabalho, obteve remoções de 3,0 unidades log de coliformes fecais, 2,6 de coliformes totais, 1,2 de *Clostridium perfringens* e 2,7 de colifagos, para uma dose aplicada de 9,6 mg/L, consumida de 5,2 mg/L e tempo de contato de 18 minutos. Tais valores estão bastante coerentes com os obtidos em literatura.

Venosa et al. (1984) acompanharam uma unidade piloto de ozonização que recebia efluente secundário da estação de tratamento de Fairfield, uma planta de lodos ativados típica (DQO de 64 mg/L e SST de 12 mg/L, no efluente). Ozônio gerado com O_2 puro a uma vazão de 35 L/min tratava uma vazão de 70 L/min e, posteriormente, 130 L/min de efluente, com tempos de contato de 9,75 e 5,25 min, respectivamente. Os reatores consistiam em três colunas de alumínio em série, difusores de bolha, e fluxo líquido-gás em contracorrente. Numa das corridas o sistema foi operado com uma dose de 10 mg/L e obteve redução de 3 logs nas contagens de coliformes fecais para concentrações iniciais da ordem de 10^5 NMP/100 mL.

A estação de tratamento de esgotos de Southport, em Indiana, Estados Unidos, emprega tratamento biológico, remoção de amônia, filtração terciária e desinfecção com ozônio (Rakness, K et al., 1993). A estação foi acompanhada durante 4 anos, entre 1989 e 1992, e os resultados das médias geométricas semanais das contagens de coliformes fecais no esgoto afluente à unidade de desinfecção variavam entre 1.000 e 100.000 NMP/100 mL. Os limites requeridos para o efluente eram de 400 NMP/100 mL (média geométrica semanal) e de 200 NMP/100 mL (média geométrica mensal). Os dados médios mensais mostraram que a desinfecção removia 2 unidades log de coliformes fecais para uma dose aplicada de ozônio entre 3 e 5 mg/L.

Em Montreal, Canadá, foi instalada uma unidade piloto de ozonização para desinfetar o efluente de uma estação de tratamento físico-químico de esgotos domésticos (Absi et al., 1993). O efluente da estação apresentava as seguintes características: DBO médio de 33 mg/L (faixa de 26 - 48 mg/L), DQO médio de 99 mg/L (40 - 170 mg/L), média de coliformes fecais de $1,6 \times 10^6$ CFU/100 mL (variação de $0,4$ a 4×10^6 CFU/100 mL). A aplicação de uma dose de 15 mg/L reduzia, em 90 % dos casos, a concentração de coliformes fecais no efluente para

valores menores que 5.000 CFU/100 mL; uma dose de 19 mg/L era necessária para 99 % dos casos. Pode-se também dizer que para uma sobrevivência de $3,1 \times 10^{-3}$ (contagem no efluente/contagem na alimentação, ou remoção de 3 unidades log) era necessário um valor de C/t de 0,15 mg/L.min. A redução de pelo menos 4 unidades log iria requerer valores de C/t de 2,3 e 2,9 mg/L.min, para 90 % e 98 % dos casos testados. O valor de C/t obtido no experimento da estação Jesus Neto, para uma redução de 3 unidades log de coliformes fecais, foi de 0,29 mg/L.min (ou de 0,53 mg/L.min, se considerada a dose aplicada), o que está dentro da faixa indicada por Absi e colaboradores.

Nebel et al. (1973) estudaram a desinfecção do efluente de uma estação de tratamento de esgotos domésticos e industriais, pelo processo de aeração prolongada. O sistema de ozonização que atingiu a eficiência desejada possuía uma coluna com fluxo em contra corrente, com 15 câmaras de mistura dotadas de misturadores individuais. Foi requerida uma dose de aplicação variando entre 6 e 14 mg/L para atingir o limite bacteriológico, estabelecido em 200 coliformes fecais por 100 mL. A necessidade de uma concentração tão elevada era explicada pela grande contribuição industrial, que representava 60 % da DBO. O tempo de contato empregado era de 22 minutos. O processo removeu pelo menos 3 unidades log de coliformes fecais para aplicação de 15 ppm de ozônio. A destruição de vírus, medida em cinco oportunidades, foi completa.

O efluente de uma estação de tratamento de esgotos, composta por tratamento primário, equalização, lodos ativados e nitrificação, foi desinfetado por ozônio, para atender aos limites de lançamento de coliformes fecais de 6.000/100 mL (média mensal) e de 12.000/100 mL (média semanal). Devido às características excelentes do efluente, com DBO e sólidos em suspensão totais de cerca de 6 mg/L, foi possível atingir o objetivo com dose de apenas 1,5 mg/L de ozônio e tempo de contato de 22 min (Rakness, Stover e Krenek, 1984).

Diversos autores têm proposto equações para relacionar a eficiência de desinfecção por ozônio com a aplicação do desinfetante. Tem-se correlacionado a remoção de microrganismos com a dose de ozônio transferida ou aplicada. Mais recentemente tem sido sugerido o controle de ozônio no *off gas*, como estratégia operacional (EPA, 1986). Este tipo de controle foi empregado por Venosa et al. (1985) na estação de tratamento Lebanon a nordeste de Cincinnati, Ohio. Segundo os autores, o efluente da estação caracterizava-se por: DBO de 16 a 25 mg/L e sólidos em suspensão de 12 mg/L, em média. Experimentos com ozonização foram feitos durante 7 meses, com temperaturas de 12,9 °C a 14,4 °C, e vazões de 70 L/min e 130 L/min. A concentração de ozônio no *off-gas* do sistema foi variada e registrada, mostrando-se um bom parâmetro para medir a eficiência da desinfecção. Os autores demonstraram que os dados adaptavam-se a uma equação do tipo:

$$\log N = 6,40 - 3,15 \log Y_2.t \quad (r^2 = 0,85)$$

onde: N = contagens de coliformes fecais na saída do sistema

Y_2 = concentração de ozônio no *off-gas*

t = tempo de residência

Não foi possível obter uma equação semelhante para os dados obtidos no presente trabalho. Uma das possíveis razões é que o sistema de ozonização perdia uma quantidade apreciável de ozônio no *off gas*. No entanto, foi possível relacionar coliformes totais com a dose transferida de ozônio, obtendo-se a equação (ver figura 5):

$$\log \text{CTS} = 10,61 - 4,04 \log \text{DT.t} \quad (r^2 = 0,60)$$

onde: CTS = contagem de coliformes totais na saída do sistema (NMP/100 mL)

DT = dose transferida de ozônio (mg/L)

t = tempo de contato (min)

A correlação para coliformes fecais apresentou uma correlação não significativa ($r^2=0,19$). Um dos possíveis motivos pelos quais as correlações obtiveram um coeficiente de correlação pequeno, poderia ser debitado à menor quantidade de dados obtidos (25 dados, somando os da primeira e da segunda fases) em relação ao trabalho de Venosa (73 dados).

A eficiência da desinfecção depende, entre outros fatores, das características hidráulicas do reator, sendo mais eficientes as configurações que se aproximam do regime tubular (Sobsey, 1989). Uma das modernas tendências na ozonização é adicionar uma coluna, sem introdução de ozônio, para melhorar as características hidráulicas do sistema. A unidade estudada por Absi e colaboradores (1993) possuía duas colunas com 5,8 m de altura e 0,15 m de diâmetro cada, sendo que somente na primeira havia introdução de ozônio. Estudos com traçadores indicaram um tempo de residência de 12,3 min na primeira coluna e número de dispersão de 0,124. O sistema empregado neste trabalho era composto por três colunas, com 0,30 m de diâmetro e 5,5 m de altura, e a última coluna não recebia ozônio. Os dados obtidos do teste com traçadores forneceram um número de dispersão de 0,0885 e um tempo de contato, no dia do teste, de 28 minutos. Pode-se dizer que o sistema de ozonização implantado apresentava boas características hidráulicas.

Um aspecto constantemente referido no literatura é que a aplicação de ozônio implica em aumento da demanda bioquímica de oxigênio, o que é atribuído à maior biodegradabilidade dos sub produtos formados (EPA, 1986). Absi et al. (1993) observaram que a aplicação de cerca de 14 mg/L de ozônio reduzia cerca de 5 % de DQO e que a dose de 18 mg/L aumentava a DBO de cerca de 14 %. Em estudos de Nebel et al. (1973), havia remoção de DBO, mas em alguns casos observava-se aumento do parâmetro, o que foi atribuído à maior biodegradabilidade do efluente ozonizado. No presente trabalho, a diferença entre DBO na entrada e na saída da desinfecção não foi estatisticamente significativa; entretanto, vale ressaltar que pôde-se observar uma tendência em aumentar a DBO e reduzir a DQO.

Figura 4 - Variação da remoção de coliformes com a concentração de sólidos suspensos totais no efluente para a desinfecção com ácido peracético (dose = 5 mg/L , tempo de contato = 27 min)

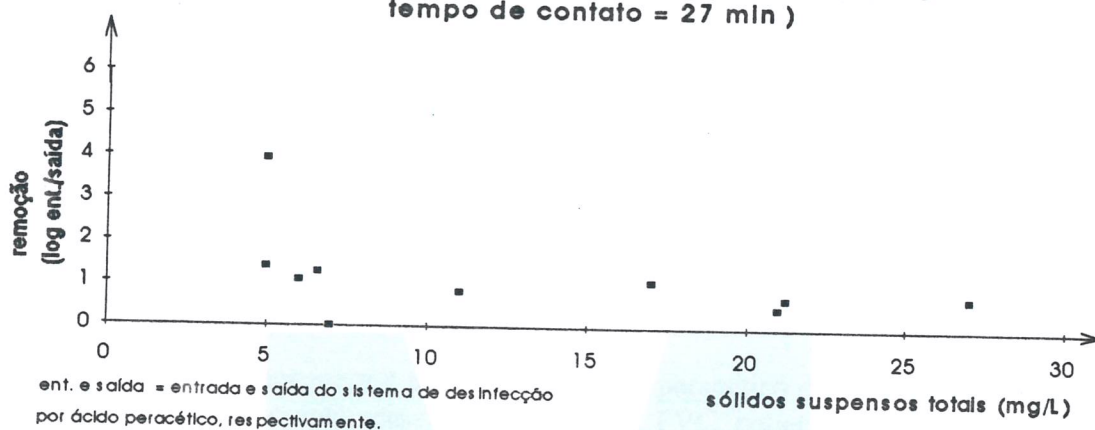
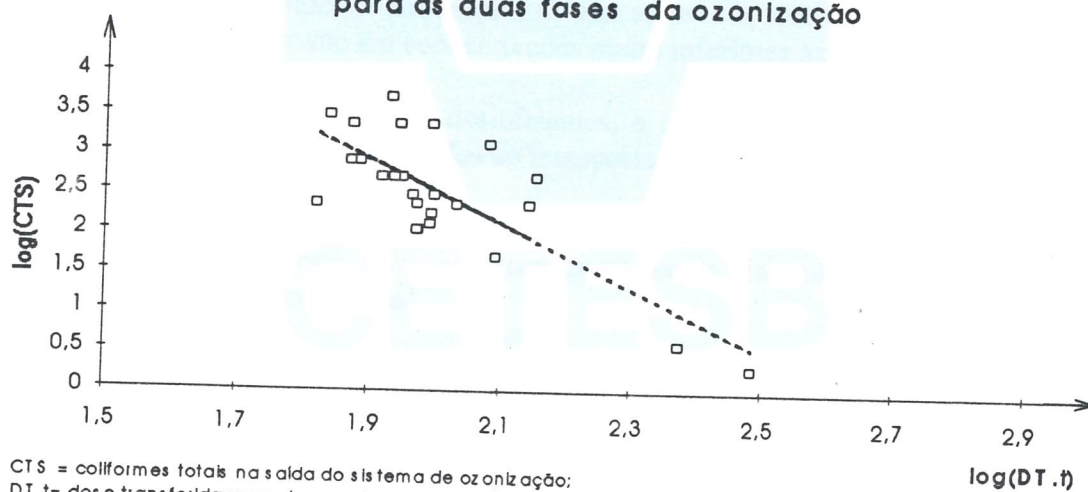


Figura 5 - Variação das contagens de coliformes totais em função da dose transferida vezes o tempo de contato para as duas fases da ozonização



4.2. Aspectos Operacionais

4.2.1. Segurança

4.2.1.1. Ácido Peracético

O ácido peracético apresenta propriedades corrosivas e oxidantes, levando à necessidade de adoção de procedimentos adequados em seu transporte, manuseio e estocagem.

O produto deve ser mantido em sua embalagem original, em local fresco, ventilado, afastado da luz direta do sol, fontes de calor e materiais incompatíveis. Deve-se evitar igualmente a estocagem junto a gases comprimidos e combustíveis.

O produto utilizado ('Proxitane' 1512) é bastante estável, podendo ser estocado em temperaturas de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ pelo prazo de validade de 6 meses, mantendo sua especificação.

O transporte, estocagem e manuseio do ácido peracético devem ser sempre efetuados utilizando-se materiais compatíveis. Vidro, porcelana, PVC, polietileno, polipropileno e PTFE (Teflon) são usados em laboratório. Para uso industrial são recomendados PVC, polietileno e aço inox.

4.2.1.2. Ozônio

O gás ozônio é tóxico, podendo causar graves enfermidades e até morte, dependendo das concentrações e tempo de exposição. O gás apresenta, entretanto, odor característico, detectado pelo olfato humano em concentrações muito inferiores às tóxicas.

Ao contrário da maioria dos desinfetantes, o ozônio é sempre produzido no local de aplicação, eliminando os riscos associados ao transporte.

As câmaras de contato devem ser cobertas, de forma a possibilitar o controle das descargas de "off-gas", que deve ser convenientemente destruído mediante emprego de processos térmicos e/ou catalíticos.

4.2.2. Controle da dosagem

4.2.2.1 Ácido Peracético

Devido à inexistência de métodos de análise contínua, torna-se impossível o ajuste da dosagem em função da concentração de ozônio residual no efluente. Desse modo, o controle só pode ser realizado, manual ou automaticamente, em função da vazão, não levando em consideração as variações qualitativas do afluente.

4.2.2.2. Ozônio

Além do controle em função da vazão, a dosagem de ozônio pode ser ajustada através da concentração residual no efluente ou pela concentração de ozônio no "off-gas" da câmara de contato.

O método de controle por ozônio residual assegura níveis de controle sobre o processo de desinfecção maiores do que quando se ajusta a dosagem exclusivamente através da vazão, uma vez que o residual está intimamente relacionado à variação na composição do afluente.

Entretanto, a utilização desse método apresenta problemas relacionados à necessidade de constante calibração do equipamento de medição, devido à sensibilidade da sonda. Outra desvantagem do método é que a variação da dosagem é realizada com atraso igual ao tempo de detenção da câmara de contato. Essas desvantagens não existem quando se emprega o método da concentração de ozônio no "off-gas", recentemente desenvolvido para controle de dosagem de ozônio.

4.2.3. Outras considerações

A operação do processo de desinfecção com ácido peracético é bastante simples, e exige basicamente os mesmos recursos humanos e materiais utilizados na cloração. Por outro lado, a complexidade da unidade de desinfecção por ozônio e suas características de altos níveis de automação, requer rígido programa de manutenção, além de pessoal qualificado.

A adaptação de outras unidades de desinfecção para desinfecção com ácido peracético é relativamente simples, já que se necessita somente de tanque de contato e local para instalação de bombas dosadoras. No entanto, a unidade de desinfecção por ozônio nada tem a ver com outros processos de desinfecção e requer local coberto para instalação dos equipamentos necessários.

CETESB

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As seguintes conclusões foram obtidas com o estudo de desinfecção de efluente doméstico de lodos ativados através da ozonização (9,6mg/L de dose aplicada e tempo de contato de 18min.) e da aplicação de ácido peracético (3 e 5mg/L e tempo de contato de 27min.):

- 1) Ozônio e ácido peracético (a 5mg/L) atingiram as eficiências de remoção de coliformes fecais de 3,0 e 3,7 unidades log respectivamente, atendendo ao objetivo proposto para este trabalho, de redução de 3 unidades log de coliformes fecais;
- 2) os produtos também foram eficientes para reduzir coliformes totais (99,4% para ácido peracético a 5 mg/L e 99,7% para o ozônio) e colifagos (96% para ácido peracético a 5 mg/L e 99,8% para o ozônio);
- 3) *Clostridium perfringens* sofreu pequena redução pela aplicação de ozônio (93%) e foi ainda mais resistente ao ácido peracético (27% para 3mg/L e 62% para 5mg/L);
- 4) o aumento na dosagem de ácido peracético, de 3 para 5mg/L, ocasionou a melhoria na eficiência de remoção de todos os parâmetros microbiológicos;
- 5) observou-se correlação positiva entre remoção de coliformes fecais e concentração de OD no efluente da desinfecção com ácido peracético a 5mg/L. A concentração de OD pode ser entendida como uma medida indireta da dose aplicada de ácido peracético, justificando a correlação;
- 6) a presença de sólidos em suspensão totais prejudicou a remoção de colifagos, durante a aplicação de 5mg/L de ácido peracético;
- 7) não foram observadas correlações entre os parâmetros microbiológicos e as variáveis operacionais e físico-químicas para a ozonização e o ensaio com ácido peracético a 3mg/L;
- 8) a aplicação de 5mg/L de ácido peracético implicou na remoção de 22% de DBO, em média;
- 9) a ozonização foi acompanhada de remoção de 28% de DQO. Verificou-se tendência de aumento nos valores de DBO, o que pode estar relacionado ao aumento de biodegradabilidade do efluente desinfetado;
- 10) considerou-se que a eficiência de desinfecção da unidade de aplicação de ácido peracético poderia ser melhorada através de otimização hidráulica do reator;
- 11) ambos os processos testados produziram efluentes com teores de oxigênio dissolvido acima do limite de saturação;
- 12) o efluente ozonizado não apresentou toxicidade aquática apreciável, tendo reduzido a toxidez à *Daphnia* eventualmente presente no efluente de lodos ativados;
- 13) observou-se elevada toxicidade para os organismos aquáticos testados no efluente desinfetado com ácido peracético. Ocorreu aumento significativo de toxicidade com a elevação da dose aplicada de 3mg/L para 5mg/L. Recomenda-se que a desinfecção com produtos contendo ácido peracético seja precedida de estudos específicos com relação ao efluente e ao corpo receptor.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABSI, F et alii. Pilot plant investigation of ozone disinfection of physico-chemically treated municipal wastewater. In: ELEVENTH OZONE WORLD CONGRESS. San Francisco, 1993. *Proceedings...* p. S-7-33 - S-7-42
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, Estados Unidos. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 16th ed. Washington, D.C., 1985. 1268 p.
- BALDRY, M.G.C. & FRENCH, M.S. Disinfection of sewage effluent with peracetic acid. *Water Science Technology*, 21 (3): 203-206, 1989
- BALDRY, M.G.C. & FRENCH, M.S. Activity of peracetic acid against sewage indicator organisms. *Water Science Technology*, 21 (6/8): 1747-1749, 1989
- BALDRY, M.G.C.; FRENCH, M.S. & SLATER, D. The activity of peracetic acid on sewage indicator bacteria and viruses. *Water Science Technology*, 24 (2): 353-357, 1991
- FEACHEM, R.G. et alii. *Sanitation and disease - health aspects of excreta and wastewater management*. Chichester, John Wiley & Sons, 1983. 501 p.
- FRASER, J.A.L. *Alternative disinfection processes for sea outfalls and bathing beaches*. Warrington. 11 p. (Apresentado ao Innovative Chemicals in Environmental Protection Conference, no Imperial College of Science and Technology, London, nov. 1987)
- GASI, T.M.T. et alii. *Pós tratamento de efluente de digestor anaeróbio de fluxo ascendente tratando esgotos domésticos*. São Paulo, CETESB, 1986 (Relatório Interno, Convênio DAEE - CETESB, OS 140200)
- GASI, T.M.T.; ARAÚJO, R.P.A.; AMARAL, L.A.V.; PACHECO, C.E.M. Effluent disinfection from UASB - anaerobic upflow sludge blanket reactor. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANAEROBIC DIGESTION, 6. São Paulo, SP, 1991. *Poster abstracts ...*, ABES, (São Paulo), 1991
- INTEROX. Advantages of peroxygen products in pollution control. *Effluent + Water Treatment Journal*, 4-11, aug. 1979
- LEVENSPIEL, O. *Engenharia das reações químicas*. São Paulo, Edgard Blücher/USP, 1974
- MATHIEU, L. et alii. Effect de l'acide peracetique sur des bacteries en suspension et fixees. *Journal Français d'Hydrologie*, 21 (1): 101-111, 1990
- MORRIS, R. Reduction of microbial levels in sewage effluents using chlorine and peracetic acid disinfectants. *Water Science Technology*, 27 (3/4): 387-393, 1993
- NEBEL, C. et alii. Ozone disinfection of industrial-municipal secondary effluents. *Journal Water Pollution Control Federation*, 45 (12): 2493-
- RAKNESS, K.L.; STOVER, E.L. & KRENEK, D.L. Design, start-up, and operation of an ozone disinfection unit. *Journal Water Pollution Control Federation*, 56 (11): 1152-1159, nov. 1984

- RAKNESS, K.L.; CORSARO, K.M.; HALE, G.; BLANK, B.D. Wastewater disinfection with ozone - process control and operating results. In: ELEVENTH OZONE WORLD CONGRESS. San Francisco, 1993. *Proceedings...* p. S-7-16 - S-7-32
- SOBSEY, M.D. Inactivation of health-related microorganisms in water disinfection processes. *Water Science Technology*, 21 (3): 179-195, 1989
- VENOSA, A.D. Current state-of-the-art of wastewater disinfection. *Journal Water Pollution Control Federation*, 55 (5): 457-466, 1983
- VENOSA, A.D. Disinfection of secondary effluent with ozone/UV. *Journal Water Pollution Control Federation*, 56 (2):137-142, feb. 1984
- VENOSA, A.D. Reliable ozone disinfection using off-gas control. *Journal Water Pollution Control Federation*, 57 (9):929-934, sept. 1985
- WOLFE, R.L. et alii. Disinfection of model indicator organisms in a drinking water pilot plant by using PEROXONE. *Applied and Environmental Microbiology*, 55 (9): 2230-2241, sep. 1989



CETESB - COM. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

ANEXOS

CETESB

Tabela 1 - Resultados preliminares da eficiência do "Proxitane" na remoção de coliformes totais/fecais em efluente secundário com diferentes dosagens

Data	Vazão de afluente (m³/h)	Dose aplicada (ppm)	Vazão de Proxitane (mL/h)	T.R.H. (min)	Residual (ppm)	Coliforme totais (NMP/100mL)		Remoção (Log)	Coliforme fecais (NMP/100mL)		Remoção (Log)	Toxicidade	
						entrada	saída		entrada	saída		entrada	saída
06/07		10,0			5,0	5,0E+06	1,3E+03	3,6	1,3E+06	4,0E+00	5,5	NT	<1,0
06/07		10,0			3,0		3,0E+05	1,2		3,0E+04	1,6	NT	<1,0
19/07	2,0	10,0	950,0	11,0	4,0	3,0E+05	1,7E+02	3,2	2,3E+04	<1	4,4	NT	1,88
19/07	2,0	5,0	500,0	11,0	2,0		1,1E+01	4,4		<1	4,4	NT	1,73
20/07	2,0	5,0	500,0	11,0	2,0	8,0E+04	3,3E+01	3,4	5,0E+03	<1	3,7	NT	1,63
20/07	2,0	5,0	500,0	5,0	2,0		1,3E+04	0,8		1,7E+02	1,5		1,96
21/07	2,0	20,0	1900,0	11,0	10,0	3,0E+05	8,0E+00	4,6	8,0E+03	<1	3,9	NT	1,04
21/07	2,0	5,0	500,0	11,0	10,0		3,0E+01	4,0		2,0E+00	3,6		2,27
02/08	2,0	5,0	500,0	5,0	2,0	1,7E+06	8,0E+04	1,3	1,1E+06	1,4E+04	1,9	NT	2,18
02/08	2,0	5,0	500,0	5,0	2,0		5,0E+05	0,5		1,1E+05	1,0		3,02
03/08	4,0	3,0	600,0	2,5	2,0	7,0E+05	3,0E+05	0,4	3,0E+05	7,0E+03	1,6	NT	2,93
03/08	4,0	3,0	600,0	5,0	2,0		8,0E+04	0,9		8,0E+04	0,6		4,32
04/08	4,0	3,0	600,0	5,0	2,0	2,3E+06	1,7E+05	1,1	1,3E+05	2,2E+04	0,8	NT	5,89
04/08	2,0	3,0	300,0	11,0	2,0		3,5E+02	3,8		2,0E+00	4,8		4,78
16/08	1,0	1,0	50,0	20,0	<2	8,0E+05	7,0E+03	2,1	3,0E+04	2,2E+02	2,1	NT	56,2
16/08	1,0	1,0	50,0	10,0	<2		5,0E+04	1,2		8,0E+03	0,6		12,8
16/08	1,0	2,0	100,0	20,0	<2		1,3E+04	1,8		3,3E+01	3,0		
16/08	1,0	2,0	100,0	10,0	<2		1,6E+05	0,7		3,0E+04	0,0		

T.R.H. = Tempo de Residência Hidráulica

Log = logaritmo de base 10

NT = não tóxico

Tabela 2 - Resultados preliminares da eficiência do ozônio na remoção de coliformes totais/fecais em efluente secundário com diferentes dosagens

Data	Vazão de afluente (m³/h)	Dose aplicada (mg/L)	Dosagem Consumida (mg/L)	T.R.H. (min)	Coliforme totais (NMP/100mL)		Remoção (Log)	Coliforme fecais (NMP/100mL)		Remoção (Log)	Toxicidade	
					entrada	saída		entrada	saída		entrada	saída
06/07	3,0	14,4	8,4	18	5,0E+06	2,3E+05	1,3	1,3E+06	1,3E+04	2,0	NT	NT
06/07	3,0	17,1	7,8	18		1,3E+03	3,6		1,3E+02	4,0		NT
19/07	3,0	8,2	5,6	18	3,0E+05	1,1E+01	4,4	2,3E+04	2	4,1	NT	52,4
19/07	2,7	10,6	6,6	20		1,7E+01	4,2		<1	4,4		NT
20/07	3,4	8,3	4,6	15	8,0E+04	5,0E+01	3,2	5,0E+03	<1	3,7	NT	NT
20/07	3,5					2,3E+03	1,5		5,0E+01	2,0		NT
21/07	1,8	21,6	11	30	3,0E+05	2	5,2	8,0E+03	<1	3,9	NT	NT
21/07	2,1	18,0	9,8	26		4	4,9		<1	3,9		NT
02/08	2,5	9,7	6,7	22	1,7E+06	5,0E+02	3,5	1,1E+06	2,3E+01	4,7	NT	NT
02/08	2,5	8,1	5,1	22		2,2E+02	3,9		2,3E+01	4,7		NT
03/08	0,8	12,2		68	7,00E+05	1,4E+03	2,7	3,0E+05	3,0E+02	3,0	NT	NT
03/08	1,8	22,3		30		7,0E+02	3,0		1,7E+02	3,2		NT
10/08	3,2	13,3	7,7	17	3,00E+06	5,0E+01	4,8	2,8E+05	<1	5,4		
10/08	3,5	11,3	6,7	15		1,3E+02	4,4		<1	5,4		
11/08	3,0	10,6	5,8	18	8,0E+05	3,0E+02	3,4	1,3E+05	1,3E+01	4,0		
11/08	3,0	8,6	4,4	18		8,0E+02	3,0		1,3E+01	4,0		

entrada = efluente tratado na entrada do sistema de desinfecção;

saída = efluente tratado na saída do sistema de desinfecção;

T.R.H. = Tempo de Residência Hidráulica

Log = logaritmo de base 10

NT = não tóxico

Tabela A1 - Resultados microbiológicos do ensaio de desinfecção com ozônio (aplicação de 9,1mg/L de ozônio com consumo de 4,5mg/L e tempo de contato de 18 minutos)

Data	Coliformes totais		Coliformes fecais		Clostridium perfringens		Colifagos		Salmonella	spp.	Helmintos		Protozoários	
	entrada	saída	entrada	saída	entrada	saída	entrada	saída	entrada	saída	ent.lativ.	entrada	ent.lativ.	entrada
30/08	8,0E+05	3,0E+02	1,4E+05	4,0E+00	1,3E+04	1,4E+03	1,3E+04		A					
01/09	8,0E+05		1,7E+05		1,4E+03		3,5E+04		A					
08/09	3,0E+05		5,0E+04		2,2E+03		5,5E+04		A					
13/09	5,0E+05		8,0E+03		3,0E+03		1,2E+03							
14/09	8,0E+04		3,0E+04		8,0E+03		8,0E+03		A					
15/09	1,4E+06		1,7E+05		3,0E+03		1,4E+04							
20/09	8,0E+05	2,3E+03	1,1E+05	1,3E+01	3,0E+04	2,3E+02	5,0E+00							
22/09	2,3E+05	1,3E+03	1,7E+04	8,0E+00	1,1E+03	2,8E+02	7,7E+03							
27/09	3,0E+05	5,0E+03	2,3E+04	3,0E+01	1,7E+02	5,0E+01	3,0E+03							
29/09	1,3E+06	5,0E+03	8,0E+04	3,0E+02	3,0E+04	8,0E+03	6,5E+03							
04/10	3,0E+05	2,3E+03	2,3E+05	7,0E+00	5,0E+03	3,0E+02	7,5E+03		P	A				
06/10	3,0E+06	8,0E+02	7,0E+05	8,0E+00	1,3E+03	4,0E+00	3,1E+04							
13/10	3,0E+06	5,0E+02	3,0E+05	1,3E+01	1,4E+02	3,0E+01	1,8E+04							
18/10	3,0E+04		8,0E+03		2,3E+03		7,5E+02		A					
19/10	1,0E+05		1,7E+04		3,0E+03		4,0E+03							
20/10	1,7E+05	3,0E+02	8,0E+03	2,7E+01	5,0E+02	1,3E+02	5,0E+04							
25/10	1,6E+05	2,3E+03	2,4E+04	2,0E+00	9,0E+03	3,0E+02	8,5E+03							
27/10	5,0E+04		2,2E+04	0	1,3E+04	8,0E+00	3,6E+03							
03/11	1,3E+06	2,3E+02	3,0E+04	3,0E+01	8,3E+03	0	5,5E+03							
08/11	3,4E+04	5,0E+02	1,3E+04	1,1E+02	2,2E+02	1,3E+01	1,1E+01		A	A				
09/11	1,3E+05		5,0E+04		8,0E+01		0							
10/11	2,2E+05	5,0E+03	1,3E+04	1,7E+02	2,3E+02	8,0E+01	2,3E+03							
17/11	1,7E+05	1,1E+02	7,0E+03	0	2,3E+02	8,0E+01	8,0E+03							
22/11	2,3E+05	5,0E+02	3,0E+04	1,3E+02	7,0E+03	3,0E+02	5,5E+03							
24/11	1,3E+06	2,3E+03	3,0E+04	3,0E+01	1,4E+02	5,0E+02	1,7E+03							
29/11	1,1E+05	5,0E+02	3,0E+04	2,3E+01	5,0E+01	3,5E+02	2,0E+02							
01/12	8,0E+05	2,2E+02	1,3E+04	2,6E+01	5,0E+01	3,0E+01	3,6E+03							
06/12	3,0E+05	3,0E+03	7,0E+04	1,3E+02	1,4E+02	1,3E+01	0							
15/12	1,3E+05		5,0E+04		3,5E+03	3,0E+01	6,0E+02							
							5,4E+03							
							2,1E+03							

resultados expressos em NMP/100 ml (coliformes totais/fecais) ou UFP/100 ml (colifagos);

ent.lativ = estolo bruto na entrada do sistema de todos ativados;

entrada = efluente tratado na entrada do sistema de desinfecção;

saída = efluente tratado na saída do sistema de desinfecção;

0 = ausência de crescimento do microrganismo.

Tabela B1 - Resultados microbiológicos do ensaio de desinfecção com Proxitane (aplicação de 3mg/L de ácido peracético e tempo de contato de 27 minutos)

Data	Coliformes Totais		Coliformes fecais		Clostridium perfringens		Coliformos		Salmonella		Helmintos		Protozoários	
	entrada	saída	entrada	saída	entrada	saída	entrada	saída	ent.l.ativ.	saída	ent.l.ativ.	saída	ent.l.ativ.	saída
30/08	8,0E+05	5,0E+04	1,4E+05	1,3E+04	1,3E+04	3,0E+02	1,3E+04	1,8E+03						
01/09	8,0E+05	1,1E+04	1,7E+05	1,3E+03	1,4E+03	8,0E+03	1,3E+04	1,6E+03						
08/09	3,0E+05	3,0E+05	5,0E+04	1,3E+03	2,2E+03	2,2E+03	3,5E+04	1,6E+03						
13/09	5,0E+05	5,0E+03	8,0E+03	5,0E+02	5,0E+02	2,2E+02	5,5E+04	1,5E+03						
14/09	8,0E+04	3,0E+03	3,0E+04	2,6E+01	3,0E+03	1,1E+03	1,2E+03	3,0E+01						
15/09	1,4E+06	2,8E+04	1,7E+05	5,0E+02	8,0E+03	1,3E+04	8,0E+04	7,7E+03						
20/09	8,0E+05	1,7E+04	1,1E+05	1,4E+02	3,0E+04	8,0E+03	1,4E+04	1,1E+03						

resultados expressos em NMP/100 ml (Coliformes totais/fecais) ou UFP/100 ml (Coliformos)

ent.l.ativ = esgoto bruto na entrada do sistema de todas as atividades;

entrada = efluente tratado na entrada do sistema de desinfecção;

saída = efluente tratado na saída do sistema de desinfecção;

A, P = ausência, presença do microrganismo;

Tabela C1 - Resultados microbiológicos do ensaio de desinfecção com Proxitane (aplicação de 5mg/L de ácido peracético e tempo de contato de 27 minutos)

Data	Coliformes Totais		Coliformes fecais		Clostridium perfringens		Coliformos		Salmonella		Helmintos		Protozoários	
	entrada	saída	entrada	saída	entrada	saída	entrada	saída	ent.l.ativ.	saída	ent.l.ativ.	saída	ent.l.ativ.	saída
22/09	2,3E+05	8,0E+02	1,7E+04	2,0E+00	1,1E+03	1,3E+03	7,7E+03	1,5E+03						
27/09	3,0E+05	3,0E+03	2,3E+04	2,0E+00	1,7E+02	2,3E+02	6,5E+03	1,1E+02						
29/09	1,3E+06	1,3E+03	8,0E+04	4,0E+00	3,0E+04	8,0E+03	7,5E+03	6,5E+02						
04/10	3,0E+05	5,0E+03	2,3E+05	<1	5,0E+03	1,4E+03	3,1E+04	1,7E+02						
06/10	3,0E+06	5,0E+03	7,0E+05	7,0E+00	1,3E+03	2,3E+02	1,8E+04	3,4E+03						
31/10	3,0E+06	3,0E+02	3,0E+05	3,3E+01	1,4E+02	1,3E+03	7,5E+02	2,5E+02						
18/11	3,0E+04	2,8E+02	8,0E+03	2,0E+00	2,3E+03	3,0E+03	4,0E+03	1,5E+02						
20/10	1,0E+05	3,0E+03	1,7E+04	4,0E+00	3,0E+03	8,0E+03	5,0E+04	6,5E+02						
28/10	1,7E+05	3,0E+02	8,0E+03	<1	5,0E+02	5,0E+02	8,5E+03	>						
27/11	5,0E+04	1,1E+03	2,2E+04	7,0E+00	9,0E+03	3,0E+03	3,6E+03	5,0E+00						
11/03	1,3E+06	7,0E+03	3,0E+04	4,0E+00	1,3E+04	1,1E+03	5,5E+03	8,0E+02						
08/08	3,5E+03	1,3E+04	1,7E+04	7,0E+00	8,3E+03	6,5E+01	2,3E+03	1,7E+01						
11/10	1,3E+05	1,3E+04	5,0E+04	1,0E+01	2,2E+02	2,2E+02	8,0E+03	1,5E+02						
22/11	1,1E+05	9,0E+03	1,3E+04	2,6E+01	2,3E+02	2,2E+02	8,0E+03	2,8E+02						
16/11	1,1E+05	9,0E+01	6,0E+03	<1	2,0E+00	2,7E+01	3,9E+03	3,0E+01						
22/11	1,7E+05	1,1E+02	7,0E+03	<1	1,4E+01	3,0E+02	1,7E+03	7,0E+01						
24/11	1,3E+06	2,2E+03	3,0E+04	9,0E+01	7,0E+03	3,0E+03	2,0E+02	5,5E+01						
29/11	1,1E+05	1,7E+03	3,0E+04	1,1E+01	1,4E+02	7,0E+01	3,6E+03	3,1E+02						
01/12	8,0E+05	6,0E+02	1,3E+04	<1	6,0E+01	2,3E+03	6,0E+02	1,2E+02						
12/12	3,0E+05	2,8E+03	7,0E+04	1,4E+03	1,4E+02	6,0E+02	9,0E+02	4,0E+02						
12/12	3,0E+05	1,4E+03	1,1E+04	1,7E+01	3,0E+03	2,2E+02	5,4E+03	2,7E+02						
13/12	3,0E+05	1,4E+03	1,1E+04	1,7E+01	3,0E+03	2,2E+02	5,4E+03	2,7E+02						
15/12	1,3E+05	1,3E+02	5,0E+04	<1	3,5E+03	2,3E+03	2,1E+03	1,2E+02						

resultados expressos em NMP/100 ml (Coliformes totais/fecais) ou UFP/100 ml (Coliformos)

ent.l.ativ = esgoto bruto na entrada do sistema de todas as atividades;

entrada = efluente tratado na entrada do sistema de desinfecção;

saída = efluente tratado na saída do sistema de desinfecção;

A, P = ausência, presença do microrganismo;

Tabela A2 - Resultados de Toxicidade do ensaio de desinfecção com ozônio (a) de 9,1mg/L de ozônio com consumo de 5,2mg/L e tempo de contato de 1

Data	CL(l) 50, 96h (em %) (<i>Brachydario rerio</i>)		CE(l) 50, 48h (em %) (<i>Daphnia similis</i>)		Microtox EC 50, (em %) (<i>Photobacterium phosphore</i>)	
	entrada	saída	entrada	saída	entrada	saída
30/08	NT	NT	NT	NT	NT	NT
01/09						
08/09						
13/09	NT		NT		NT	
14/09						
15/09						
20/09	NT	NT	29,8	NT	NT	NT
22/09						
27/09	NT	NT	90,0	NT	NT	NT
29/09						
04/10	NT	NT	NT	NT	NT	NT
06/10						
13/10						
18/10	NT		NT		NT	
19/10						
20/10						
25/10			48,2	69,9	NT	74,5
27/10						
03/11						
08/11			20,5	NT	NT	NT
09/11					NT	
10/11						
17/11						
22/11	NT	NT	81,0	NT	NT	NT
24/11						
29/11			71,6	NT	NT	NT
01/12						
06/12			48,2	NT	NT	NT
15/12						

entrada = efluente tratado na entrada do sistema de desinfecção;
saída = efluente tratado na saída do sistema de desinfecção;
NT = efluente não tóxico.

Tabela B2 - Resultados de toxicidade do ensaio de desinfecção com Proxitane (aplicação de 3mg/L de ácido peracético e tempo de contato de 27 minutos)

Data	CL(l) 50, 96h em % (<i>Brachydarlo rerlo</i>)		CE(l) 50, 48h em % (<i>Daphnia similis</i>)		Microtox EC 50, % (<i>Photobacterium phosphoreum</i>)	
	entrada	saída	entrada	saída	entrada	saída
30/08	NT	NT	NT	27,3	NT	11,1
01/09						
08/09						
13/09	NT	NT	NT	14,1	NT	6,4
14/09						
15/09						
20/09	NT	NT	29,8	16,1	NT	7,2

entrada = efluente tratado na entrada do sistema de desinfecção;

saída = efluente tratado na saída do sistema de desinfecção;

NT = efluente não tóxico.

Tabela C2 - Resultados de toxicidade do ensaio de desinfecção com Proxitane (aplicação de 5mg/L de ácido peracético e tempo de contato de 27 minutos)

Data	CL(l) 50, 96h em % (<i>Brachydarlo rerlo</i>)		CE(l) 50, 48h em % (<i>Daphnia similis</i>)		Microtox EC 50, % (<i>Photobacterium phosphoreum</i>)	
	entrada	saída	entrada	saída	entrada	saída
22/09						
27/09	NT		90,0	6,8	NT	3,5
29/09	NT	NT	NT	14,1	NT	6,4
04/10	NT		NT	5,9	NT	2,6
06/10						
13/10	NT	NT	29,8	16,1	NT	7,2
18/10	NT		NT	16,7	NT	4,3
19/10						
20/10						
25/10			48,2		NT	2,8
27/10						
03/11						
08/11			20,5	5,8	NT	3,4
09/11					NT	2,5
10/11						
16/11						
17/11						
22/11	NT		81,0	4,7	NT	
24/11						
29/11			71,6	3,6	NT	2,6
01/12						
06/12			48,2	9,3	NT	
08/12						
13/12			NT	2,8	NT	11,4
15/12						

entrada = efluente tratado na entrada do sistema de desinfecção;

saída = efluente tratado na saída do sistema de desinfecção;

NT = efluente não tóxico.

Tabela A3 - Resultados físico-químicos do ensaio de desinfecção com ozônio (aplicação de 9,1mg/L de ozônio com consumo de 5,2mg/L e tempo de contato de 18 minutos)

Data	pH		Sólidos decantáveis		Sólidos totais		Sólidos em suspensão totais		Resíduo não filtrável total		Sólidos voláteis		Sólidos em suspensão voláteis		Resíduo não filtrável volátil		DQO		DBO		OD	
	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída
30/08	5,9	5,9																				
01/09	6,6	6,6	0,1	184	8	176	70	20	56	22	61	16	39	19	28	13,4	4,4	3,3				
08/09	6,6	6,6	0,1	235	22	213	61	20	68	17												
13/09	5,8	5,8																				
14/09																						
15/09	6,8	6,8	0,1	261	32	230	36	20														
20/09	5,3	5,4																				
22/09	6,4	5,2		202	21	181	89	19	43	19												
27/09	5,5	5,0																				
29/09	6,8	6,8	0,1	225	17	208	136	15	121													
04/10	5,8	6,1																				
06/10	6,6	5,9	0,1	245	27	218	135	17	41	19												
13/10	6,4	5,8	0,1	215	21	194	14	11	10	2												
18/10	5,9																					
19/10	6,0																					
20/10	6,3	6,2	0,1	221	5	216	83	3	38	16												
25/10	4,9	4,9																				
27/10	5,8	5,7	0,1	182	11	171	68	8	60	10												
03/11	5,8	5,8	0,1	266	24	242	108	16	46	25												
08/11	5,3	5,2																				
09/11	6,9																					
10/11	6,8	7,0	0,1	199	6	193	60	4	56	29												
17/11	6,6		0,1	222	5	217	61	4	57	11												
22/11	5,0	4,9																				
24/11	6,8	6,9	0,1	178	6	172	37	4	33	5												
29/11	5,5	5,0																				
01/12	6,6	6,8	0,1	175	4	171	41	2	19	16												
06/12	6,7	6,8																				
15/12	6,7	6,9	0,1	221	7	214	54	5	33	29												

resultados expressos em mg/L, exceto pH;

ent. = efluente tratado na entrada do sistema de desinfecção;

saída = efluente tratado na saída do sistema de desinfecção;

DQO = Demanda Química de Oxigênio;

OD = Oxigênio Dissolvido;

Tabela B3 - Resultados físico-químicos do ensaio de desinfecção com Proxitane (aplicação de 3mg/L de ácido peracético e tempo de contato de 27 minutos)

Data	Temperaturas (°C)		pH		Sólidos Decantáveis		Sólidos Totais		Sólidos Suspensos Totais		Resíduo não Filtrável Total		Sólidos Voláteis		Resíduo não Filtrável Volátil		DQO		DBO		OD	
	Amb.	ent.	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída
30/08	22	21	5,9	6,5	0,1	0,1	184	258	8	5	176	213	70	89								
01/09	20	21	6,6	6,5	0,1	0,1	235	258	22				61				56	40	22	16	3,3	4,4
08/09	19	20	6,6	6,6	0,1	0,1											68	54	17	17	3,3	7,4
13/09	18	21	5,8	5,9																		
14/09	18	22	4,4	4,4																		
15/09	18	21	6,8	6,9	0,1	0,1	261	182	32	25	230	157	36	38			39	34	19	13	3,2	9,6
20/09	23	26	5,3	5,0																		

resultados expressos em mg/L exceto pH e temperatura;
ent. = efluente tratado na entrada do sistema de desinfecção;
saída = efluente tratado na saída do sistema de desinfecção;
Amb. = ambiente; Am. = amostra.

Tabela C3 - Resultados físico-químicos do ensaio de desinfecção com Proxitane (aplicação de 5mg/L de ácido peracético e tempo de contato de 27 minutos)

Data	Temperaturas (°C)		pH		Sólidos Decantáveis		Sólidos Totais		Sólidos Suspensos Totais		Resíduo não Filtrável Total		Sólidos Voláteis		Resíduo não Filtrável Volátil		DQO		DBO		OD	
	Amb.	ent.	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída	ent.	saída
22/09	17	22	6,4	6,5	0,1	0,1	202	243	21	20	181	223	89	138								
27/09	20	22	5,5	5,0																		
29/09	22	20	6,8	6,9	0,1	0,1	225	218	17	15	208	203	136	138								
04/10	24	22	5,8	5,3	0,1	0,1	245	247	27	14	218	233	135	86								
06/10	14	22	6,6	6,6	0,1	0,1	215	163	21	17	194	146	14	14								
13/10	26	24	6,4	6,4	0,1	0,1																
18/10	26	24	5,9	5,4																		
19/10	24	24	6,0	6,1																		
20/10	24	24	6,3	6,3	0,1	0,1	221	226	5	5	216	222	83	84								
25/10	20	22	4,9	4,5																		
27/10	16	22	5,8	5,7	0,1	0,1	182	198	11	13	171	185	68	88								
30/10	20	23	5,8	5,6	0,1	0,1	266		24		242		108									
06/11	18	24	5,3	4,8																		
09/11	22	24	6,9	7,0																		
10/11	20	24	6,8	7,0	0,1	0,1	199	207	6	4	193	203	60	64								
16/11	26	24	6,2	6,3																		
17/11	24	26	6,6	6,8	0,1	0,1	222	194	5	8	217	186	61	50								
22/11	24	24	5,0	4,7																		
24/11	24	24	6,8	6,9	0,1	0,1	178	191	6	8	172	183	37	37								
29/11	22	24	5,5	5,5																		
01/12	23	26	6,6	6,9	0,1	0,1	175		4		171		41									
06/12	24	26	6,7	6,9																		
09/12	24	26	6,6	6,7	0,1	0,1	225	213	7	10	218	203	68	56								
13/12	26	24	6,5	6,5																		
15/12	26	27	6,7	6,7	0,1	0,1	221	277	7	6	214	271	54	56								

resultados expressos em mg/L exceto pH e temperatura;
ent. = efluente tratado na entrada do sistema de desinfecção;
saída = efluente tratado na saída do sistema de desinfecção;
Amb. = ambiente; Am. = amostra.

Tabela A4 a - Dados operacionais relativos à aplicação de ozônio durante a fase preliminar de testes

Temperatura				Coluna 1				Coluna 2			
Data	Vazão de ambiente (m³/h)	Tempo de contato (s)	Geração de O3 (mg/min)	Dose aplicada (mg/L)	Dose consumida (mg/L)	Eficiência (%)	Vazão de ozônio			Vazão de ozônio	
							entrada da coluna	saída da coluna	Eficiência (%)	entrada da coluna	saída da coluna
							% geração de O3	% geração de O3		% geração de O3	% geração de O3
05/07	3,0	18	699	14,0	8,4	60,1	50	162	53,6	50	110
05/07	3,0	18	857	17,1	7,8	45,5	50	271	36,8	50	177
19/07	3,0	18	411	8,2	5,6	68,1	50	75	63,5	50	0
19/07	2,7	20	477	10,6	6,6	62,3	50	78	67,3	50	82
20/07	3,4	16	585	10,3		0,0	50			50	
20/07	3,5	15	483	8,3	4,6	55,6	50	49	79,7	50	111
21/07	1,8	30	647	21,6	11,0	51,0	50	24	92,6	50	159
21/07	2,1	26	631	18,0	9,8	54,4	50	32	89,9	50	149
02/08	2,5	22	406	9,7	6,7	68,8	50	52	74,4	50	82
02/08	2,5	22	337	8,1	5,1	63,1	50	56	66,8	50	71
10/08	3,2	17	710	13,3	7,7	57,8	70	189	62,0	30	93
10/08	3,5	15	660	11,3	6,7	59,2	70	173	62,6	30	85
11/08	3,0	18	530	10,6	5,8	54,7	50	126	52,5	50	118
11/08	3,0	18	430	8,6	4,4	51,2	50	110	48,8	50	97

Tabela A4 b - Dados operacionais relativos à aplicação de ozônio durante a segunda fase de testes

Temperatura				Vazão de Tempo de Geração				Dose			
Data	amostra (°C)	ambiente (°C)	Vazão de efluente (m³/h)	contato (s)	de O3 (mg/min)	Dose aplicada (mg/L)	Dose consumida (mg/L)	Eficiência (%)	Vazão de ozônio		
									entrada da coluna	saída da coluna	Eficiência (%)
									% geração de O3	% geração de O3	
04/10	22	24	3,0	18	456	9,1	4,6	50,4			
06/10	22	14	3,0	18	454	9,1	4,6	50,7			
13/10	24	25	3,0	18	454	9,1	5,4	59,5			
18/10	24	26									
19/10	24	24									
20/10	24	24	3,0	18	454	9,1	5,5	60,6			
25/10	22	20	3,0	18	531	10,6	5,9	55,6			
27/10	22	16	3,0	18	531	10,6	5,9	55,6			
03/11	23	20	3,0	18	504	10,1	5,5	54,6			
08/11	24	18	3,0	18	448	9,0	4,9	54,7			
09/11	24	22									
10/11	24	20	3,0	18	508	10,2	5,4	53,1			
17/11	25	24	3,0	18	504	10,1	5,7	56,5			
22/11	24	24	3,0	18	454	9,1	5,2	57,3			
24/11	24	24	2,9	19	451	9,3	5,5	58,9			
29/11	24	22									
01/12	26	23	3,0	18	460	9,2	4,9	53,3			
06/12	26	24	3,0	18	491	9,8	4,4	44,8			
15/12	27	26									

Intervalos de CE50 obtidos nos testes de Toxicidade Aguda de larvas de *Brachydarío reio*(A) ,*Daphnia similis* (B) e *Microtox* (C) em efluente de Lodos Ativados, desinfetados com ác. peracético e ozônio.

Pto coleta	Análises. efetuadas	Resultados (% de amostras) intervalos de CE 50									
		>0-10	>10-20	>20-30	>30-100	>100					
(A)											
Efl. Lodos Ativados	3	0	0	0	0	>100					
Desinf. peracético (3mg)	3	0	0	0	0	100					
(B)											
Efl. Lodos Ativados	3	0	0	33,3	0	66,7					
Desinf. peracético (3mg)	3	0	66,7	33,3	0	0					
(C)											
Efl. Lodos Ativados	3	0	0	0	0	100					
Desinf. peracético (3mg)	3	66,7	33,3	0	0	0					
(A)											
Efl. Lodos Ativados	9	0	0	0	0	>100					
Desinf. peracético (5mg)	6	0	0	50	0	100					
Desinf. ozônio	7	0	0	0	0	16,7					
(B)											
Efl. Lodos Ativados	12	0	0	16,7	8,3	100					
Desinf. peracético (5mg)	9	77,8	22,2	0	0	50					
Desinf. ozônio	9	0	0	0	0	16,7					
(C)											
Efl. Lodos Ativados	13	0	0	0	0	88,9					
Desinf. peracético (5mg)	9	88,9	11,1	0	0	100					
Desinf. ozônio	9	0	0	0	0	100					

Data aquis.:	5/1/95
Indic.:	Memo 115/94
Livreria:	DT-PP
Preço:	Cr\$
Data Tomba:	5/1/95