

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Eliana Maria de Araújo Mariano da Silva

**USO DA SOLARIZAÇÃO NA REDUÇÃO DE
MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS NO EFLUENTE
DOMÉSTICO**

**Taubaté – SP
2007**

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Eliana Maria de Araújo Mariano da Silva

**USO DA SOLARIZAÇÃO NA REDUÇÃO DE
MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS NO EFLUENTE
DOMÉSTICO**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fortes Neto

**Taubaté - SP
2007**

**Ficha catalográfica elaborada pelo
SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

S586u Silva, Eliana Maria de Araújo Mariano da
 Uso da solarização na redução de microrganismos patogênicos no
 efluente doméstico / Eliana Maria de Araújo Mariano da Silva. - 2007.
 47f.: il.

 Dissertação (mestrado) - Universidade de Taubaté, Programa de Pós-
 graduação em Ciências Ambientais, 2007.
 Orientação: Prof. Dr. Paulo Fortes Neto, Departamento de Ciências
 Agrárias.

 1. Efluente. 2. Radiação solar. 3. Microrganismos patogênicos.
 4. Desinfecção. I. Título.

ELIANA MARIA DE ARAÚJO MARIANO DA SILVA

**USO DA SOLARIZAÇÃO NA REDUÇÃO DE MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS
EM EFLUENTES DOMÉSTICO**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Ciências Ambientais do
Departamento de Ciências Agrárias da
Universidade de Taubaté.
Área de Concentração: Ciências Ambientais

Dissertação aprovada em 13/09/2007

BANCA EXAMINADORA

Membro	Instituição
Prof. Dr. Paulo Fortes Neto	Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais/UNITAU
Prof ^ª . Dra. Hermínia Yohko Kanamura	Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais/UNITAU
Prof. Dr. André Luis de Paula Marques	Serviço Autônomo de Águas e Esgotos de Guaratinguetá/SAAAEG/Dir. Técnico.

Dedico este trabalho ao meu amado esposo Edivaldo, pela amizade, companheirismo e paciência durante o curso.

A minha querida mãe, que sempre me apoiou.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por refazer minhas forças na hora do desespero e aflição;

A toda minha família e à meu pai que de onde estiver está torcendo pelo meu sucesso;

Ao meu esposo pela paciência de me agüentar com mau humor, nervosismo e tudo mais;

A Maria da Biblioteca que me ajudou nas horas mais difíceis;

Às estagiárias Cléia, Fernanda, Letícia, Paula pelo companheirismo e dedicação;

A Maria Cristina pela sua amizade e ajuda na realização deste trabalho;

A Ana Paula Costa pela ajuda nas análises físico-químico e pela sua amizade;

Ao meu amigo Celso Catelani que tanto me apoiou e ajudou;

As Paula's (Teixeira e Leal) pela amizade;

Ao meu orientador Prof. Dr Paulo Fortes Neto pela paciência;

A Prof. Dra. Nara Lucia Perondi Fortes pela amizade e dedicação;

Aos Funcionários da Biblioteca;

A todos os funcionários da Fazenda Piloto em especial ao Domício e Valdir que me ajudaram nos trabalhos difíceis;

A todos os colegas de turma pela amizade e pelos momentos de descontração;

A Aline pela amizade;

Aos professores do curso pelo aprendizado passado;

A universidade de Taubaté pelo auxílio financeiro para realização desse sonho;

A KODAK pelo apoio financeiro na realização da prática do trabalho.

RESUMO

Solarização é uma alternativa para desinfecção de águas residuárias, pois a ação conjunta dos raios solares e da temperatura tende a inibir o crescimento de microrganismos. O objetivo desta pesquisa é verificar a eficácia do método na redução de microrganismos patogênicos em amostras de efluente doméstico. O experimento foi desenvolvido em condições de campo nos meses de julho, agosto, outubro e dezembro de 2006 e março e julho de 2007, na área da estação meteorológica localizada na Fazenda Piloto da Universidade de Taubaté. A análise de coliformes fecais e a leitura de turbidez foram realizadas no laboratório de Microbiologia Agrícola e Fitopatologia do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté. A temperatura do ar e a intensidade da radiação solar total acumulada foram fornecidas pela Plataforma de Coleta de Dados (PCD) uma parceria UNITAU e INPE através do Programa de Monitoramento Ambiental da Região do Eixo Rio-São Paulo. As amostras de efluentes foram condicionadas em 20 garrafas transparentes com capacidade para 2L tipo PET (Politereflato de Etileno), depois submetidas aos seguintes procedimentos: sem exposição ao sol e com 2, 4, 6 e 8 horas de exposição ao sol, com 4 repetições cada, totalizando 20 recipientes. A eficiência do tempo de exposição foi determinada pela quantificação do Número Mais Provável (NMP) para coliformes fecais nas amostras de efluentes. Quanto ao resultado pode-se observar que a exposição do efluente a radiação solar reduziu a ocorrência de coliformes fecais, na medida em que se aumentou o tempo de exposição. Sendo que para 2 horas de exposição à radiação solar houve uma redução média de 51,2% e com 8 horas de exposição essa média aumentou para 84% de redução para coliformes fecais. De acordo com os resultados pôde-se concluir que a solarização poderá ser utilizada para reduzir microrganismos patogênicos no efluente doméstico.

Palavras chave: Efluente. Radiação solar. Microrganismos patogênicos. Desinfecção.

ABSTRACT

Solarization is an alternative method for disinfection of wastewater, therefore the joint action of the solar rays and the temperature tends to inhibit the growth of microorganisms. The objective of this research is to verify the effectiveness of the method for the reduction of pathogenic microorganisms in domestic effluent samples. The experiment was developed in field conditions during the months of August, October and December of 2006 and March and July of 2007, in the area of the meteorological station located in the Pilot Farm of the University of Taubate. The fecal coliform counts and the turbidity readings were performed in the Agricultural Microbiology and Phytopathology Laboratory of the Agrarian Sciences Department of the University of Taubate. The air temperature and the intensity of the accumulated total solar radiation had been supplied by the Data Collection Platform (DCP), a partnership between UNITAU and INPE for the Program of Environmental Monitoring of the Rio-Sao Paulo Region. The effluent samples had been placed inside of 20 transparent 2-liter disposable bottles, and then submitted to the following procedures: without exposition to the sun and with 2, 4, 6 and 8 hours of exposition to the sun, four repetitions each, totalizing 20 experiments. The efficiency of the exposition time was determined by the fecal coliform counts in the effluent samples enumerated by the most probable number (MPN) method. It can be observed reduction of fecal coliform counts with the exposition of the effluent to the solar radiation, and this reduction was proportional to the increasing of the exposition time. It was observed an average reduction for fecal coliform counts of 51,2% with 2 hours of solar radiation exposition, and this average reduction increased to 84% with 8 hours of exposition. The results showed that the solarization can be used as a method for reduction of pathogenic microorganisms in the domestic effluent.

Keywords: Effluent. Solar Radiation. Pathogenic Microorganisms. Disinfection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fossa sanitária do Departamento de Ciências Agrárias – UNITAU	25
Figura 2 A. Solarizador	26
Figura 2 B. Garrafas com efluente expostos ao sol	26
Figura 3 A. Posto Metereológico Departamento Ciências Agrárias – UNITAU	30
Figura 3 B. Plataforma de Coleta de Dados (PCD) – convênio UNITAU e INPE	30
Figura 4. Variação da Intensidade da radiação solar total acumulada nos meses de agosto, outubro e dezembro de 2006 e março e julho de 2007	31
Figura 5. A variação da temperatura média do ar determinada nos meses s de agosto, outubro e dezembro de 2006 e março e julho de 2007	32
Figura 6. Variação no número de coliformes fecais (NMP/100ml) em amostras de efluentes submetidas a diferentes tempos de exposição à radiação solar nos meses de agosto, outubro e dezembro de 2006 e março e julho de 2007	34
Figura 7. Variação da temperatura nas amostras do efluente submetido a diferentes tempos de exposição nos meses de agosto, outubro e dezembro de 2006 e março e julho de 2007	36
Figura 8. Variação da turbidez determinada nas amostras do efluente submetido a diferentes tempos de exposição nos meses de agosto, outubro e dezembro de 2006 e março e julho de 2007	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 Recursos hídricos	13
2.2 Tratamento de águas residuárias	15
2.3 Técnicas para a desinfecção das águas residuárias	17
2.4 Efeito da radiação solar nos microrganismos	19
2.5 Tempo de exposição à radiação solar	20
2.6 Uso da radiação solar na desinfecção das águas	22
2.6.1 Para consumo	22
2.6.2 Para águas residuárias	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Local do experimento	25
3.2 Montagem do experimento	25
3.2.1 Solarizador	26
3.2.2 Recipientes Plásticos	26
3.2.3 Coleta das Amostras	27
3.3 Determinação do Número Mais Provável (NMP) de Coliformes totais, Coliformes fecais e <i>Escherichia coli</i>	27
3.3.1 NMP	27
3.3.2 Teste presuntivo	28
3.3.2.1 Inoculação do efluente	28
3.3.3 Confirmação de coliforme total	28
3.3.4 Confirmação de coliforme fecal	29
3.3.5 Confirmação de <i>Escherichia coli</i>	29
3.4 Análise físico-química	30
3.4.1 Turbidez	30
3.5 Dados meteorológicos	30
4 RESULTADO E DISCUSSÃO	31
4.1 Variação da radiação solar e da temperatura do ar	31
4.2 Influência do tempo de exposição sobre o crescimento de coliforme fecal	33
4.3 Influência da intensidade da radiação solar total acumulada sobre o crescimento bacteriano	35
4.4 Influência da temperatura das amostras do efluente sobre o crescimento bacteriano	36
4.5 Turbidez das amostras do efluente	38
5 CONCLUSÃO	40
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
7 ANEXO	46

1 INTRODUÇÃO

A expansão da atividade humana vem exercendo uma forte pressão sobre os recursos hídricos em várias regiões do mundo e principalmente nos países em desenvolvimento como o Brasil. Dentre as várias formas de poluição dos recursos hídricos, o despejo de esgoto domiciliar nos corpos d'água ocorre com frequência nas áreas urbanas periféricas das cidades e na zona rural.

Nas cidades, esses efluentes podem ser coletados e encaminhados para serem submetidos a diferentes tecnologias de tratamento, desde estações com sistema de lodo ativo a processos com reatores anaeróbios. Na zona rural os efluentes poderão ser coletados e encaminhados para fossas sépticas e filtros biológicos e depois para o polimento em lagoas ou leitos cultivados.

Deve-se ressaltar que nesses sistemas nem sempre os microrganismos são removidos com eficiência, sendo assim o efluente deverá ser submetido à desinfecção antes de ser lançado nos cursos da água.

A desinfecção da água poderá ser realizada pelo emprego de agentes químicos e físicos. Dentre os agentes químicos, temos o ozônio, peróxido de hidrogênio, permanganato de potássio, iodo, dióxido de cloro, derivados clorados e bromo. Dentre os agentes físicos, temos a radiação ultravioleta, calor e luz solar.

De todos esses métodos, o uso da radiação solar é o mais promissor para ser utilizado em pequenas comunidades rurais, pois, além de ser eficiente na redução de microrganismos patogênicos, ele não oferece riscos à saúde e ao meio ambiente durante a operacionalização.

Estudos com uso da desinfecção solar para inativar os microrganismos patogênicos na água vêm sendo testados desde 1985 em vários países da Ásia, África e América Latina. Tem

sido observado que o tempo de inativação dos microrganismos está relacionado à intensidade da radiação solar, temperatura, turbidez e o número de microrganismos existentes na água.

Alguns autores têm observado que a redução dos microrganismos ocorre a partir de 2 horas de exposição ao sol. Porém, outros ressaltam que a eficiência do processo ocorre após 12 horas de exposição ao sol, entretanto quando no sistema está acoplado o concentrador solar, o tempo de exposição ao sol reduz para 6 horas.

Analisando esses estudos, verifica-se que eles relatam apenas um período de exposição, ou seja, foram realizados em apenas uma época do ano. E também na maioria dos casos foram utilizadas amostras de água coletadas em cacimbas, poços, córregos, rios e na saída do tratamento terciário, sendo raros os estudos para verificar a eficiência da solarização em amostras de água coletadas na saída da fossa séptica, ou seja, após o tratamento primário.

Dessa forma, e com base no exposto acima, o presente projeto tem como objetivo verificar a eficiência da solarização na redução de microrganismos patogênicos em amostras de água coletadas na saída da fossa séptica nos períodos de inverno (agosto/06 e julho/07), primavera (outubro/06), verão (dezembro/06) e outono (março/07).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Recursos hídricos

A água se constitui em um dos bens naturais mais importantes encontrados na natureza, imprescindível para a vida. Contudo, em função da expansão populacional em conjunto com outros aspectos inerentes ao comportamento da sociedade atual, o produto passou a ser motivo de sérias preocupações, pois os efeitos das atividades humanas sobre as águas geralmente são poluidores. Assim, o abastecimento urbano e industrial provoca poluição orgânica e biológica, despeja substâncias tóxicas e eleva a temperatura do corpo d'água; a irrigação carrega agrotóxicos e fertilizantes; a navegação lança óleos e combustíveis; o lançamento de esgotos provoca poluição orgânica, física, química e microbiológica. A geração de energia elétrica, por sua vez, não é poluidora, mas provoca alteração no regime e na qualidade das águas. A construção de grandes represas, com inundação de áreas com vegetação abundante, não apenas compromete a qualidade da água, como pode repercutir em todo o meio ambiente.

A indisponibilidade da água não ocorre somente em quantidade, mas também em qualidade, que impede a sua imediata utilização, sendo necessário um pré-tratamento, por vezes complexo e oneroso para o poder público ou mesmo para o setor privado.

Ambientalistas e pesquisadores advertem que a água doce existente em nosso planeta não é um bem infinito, como se pensava. Do total de água existente, apenas 1% é água doce potável e 15% desse total estão em solo brasileiro (LIMA e KOLLNBERGER, 2004). Embora pareça uma grande quantidade, nossos recursos hídricos estão escasseando muito rapidamente, devido ao aumento da população, o que gera como consequência, o aumento da produção do esgoto doméstico, que na maioria dos aglomerados urbanos não são tratados e estão sendo descartados “in natura” nos recursos hídricos. A água em diversas regiões de nosso país e do globo terrestre está com histórico de

inexistência, com maior destaque para as regiões áridas e semi-áridas (OLIVEIRA, 2003). No Brasil, a falta de água não vai restringir-se apenas à região semi-árida do nordeste, mas também aos grandes centros, como Recife e São Paulo, que já estão em regime de racionamento periódico. Acredita-se que, em alguns anos, o desabastecimento irá atingir toda região da grande São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, além da maioria das áreas metropolitanas do país, em função da poluição dos mananciais, do uso sem planejamento e do desperdício.

Os principais tipos de organismos patogênicos existentes em águas residuárias são vírus, bactérias, fungos, protozoários e vermes, sendo a sua presença originada principalmente do lançamento de excretas humanas. Esses seres podem ser encontrados, em grande número, nos esgotos das cidades, assim como em águas de lagos, rios ou mar que recebam esses esgotos (BRANCO, 1974). No Brasil, 60% das internações anuais são resultados da falta de saneamento, 30% das mortes de crianças com menos de 1 ano ocorrem por diarreia, sendo que no mundo são 4 milhões de casos por ano, 72% das internações em hospitais são pacientes vítimas de doenças de origem hídrica, como disenteria, hepatite, febre tifóide, cólera e esquistossomose (MACÊDO, 2004).

O Brasil enfrenta uma situação crítica devido à falta de saneamento básico tanto nas zonas rurais quanto em pequenos núcleos urbanos onde vivem comunidades que não possuem rede coletora de esgoto, característica que dificulta e encarece a implantação de métodos convencionais de tratamento de esgotos.

Apenas 41,6 % dos municípios brasileiros dispõem de rede coletora de esgoto, dos quais 66,2 % não tratam seus esgotos sanitários. Esse dado, juntamente ao fato da qualidade da água potável estar cada vez menos presente em todo o mundo, tornará urgente a necessidade de uso mais consciente da água (BRASIL *et al.*, 2005).

Souza *et al.* (2004) alertam para a necessidade de destinação adequada do esgoto, caso contrário, haverá risco de poluição do solo e contaminação dos ecossistemas aquáticos. O aumento do consumo de água nos grandes centros urbanos gera uma maior quantidade de esgotos sanitários podendo agravar ainda mais a situação. Isso acelera a importância do desenvolvimento e adaptação de tecnologias economicamente viáveis de tratamento de águas residuárias.

Bollmann e Marques (2006) atentam para a poluição dos corpos d'água não somente pelo despejo de esgoto doméstico ou industrial, mas também pelo escoamento superficial das águas de chuva em áreas impermeáveis e em rede de drenagem. Esse escoamento carrega materiais orgânicos e inorgânicos em suspensão ou solúveis aos mananciais. Esses poluentes podem ter origem diversificada podendo ser de desgaste do asfalto pela passagem de veículos, lixo acumulado, resíduos de pássaros e animais domésticos, atividades de construção, combustíveis, óleos e graxas automotivos entre outros. Esse fato também foi observado por Amaral *et al.* (2003) que ressaltam a importância da construção de poços de água na zona rural, distantes de fossas e áreas de pastagens ocupadas por animais. Essa prática impede que a água do escoamento superficial durante o período de chuva contamine os poços de água de consumo por microrganismos presentes nas fezes dos animais e humanos.

2.2 Tratamentos de águas residuárias

Segundo Kawai (1991), para o processo de tratamento do esgoto podem-se adotar diferentes tecnologias para depuração do efluente, mas, de modo geral, segue-se um fluxo que compreende as seguintes etapas: Gradeamento (Remoção de sólidos), Caixa de areia (Remoção de areia), Decantador primário (Remoção de sólidos sedimentáveis), Filtro biológico (Oxidação biológica), Decantador secundário (Oxidação biológica), Digestor anaeróbio (Digestão do lodo) e Leito de secagem (Remoção da água do lodo). Lapolli et al

(2005) comentam que nem sempre os processos convencionais de tratamento de esgotos são suficientes para remoção de microrganismos patogênicos, sendo necessária à desinfecção do esgoto antes de ser lançado nos corpos hídricos.

Sampaio (2004) destaca algumas técnicas que estão sendo estudadas na tentativa de minimizar a presença de organismos patogênicos, nutrientes e matéria orgânica da água para reuso como, por exemplo, filtros anaeróbios com recheio de bambu, filtros de areia, leitos construídos com plantas aquáticas e reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB). Essas técnicas podem ser implantadas com baixo custo e são de fácil operação. Já Souza *et al.* (2004) afirmam que nos vários estudos já realizados na tentativa de pós-tratar efluente anaeróbio, o sistema de leito de raízes destaca-se pela sua capacidade de remover carga poluidora, manter a conservação dos ecossistemas terrestres e aquáticos, reduzir o aquecimento global da terra, fixar o carbono do meio ambiente, mantendo o equilíbrio do CO₂, além de conservar a biodiversidade.

Estudos realizados por Di Bernardo *et al.* (2002) confirmaram que a utilização de macrófitas em leito de raízes tem-se mostrado promissora, principalmente nos casos de pequenas comunidades de zonas urbanas e rurais, provavelmente por se tratar de um processo eficiente, com baixos custos de instalação, operação e manutenção. O uso de plantas aquáticas vasculares na depuração de águas servidas de origem doméstica e industrial já vem sendo estudado desde 1955, em que as plantas dos gêneros *Spiricus*, *Typha* e *Phalaris*, entre outros, apresentam propriedades depuradoras. A taboa (*Typha domingensis*), em particular, tem-se apresentado como sendo uma planta que responde significativamente a tais objetivos, atuando de modo eficiente na retenção de elementos químicos dissolvidos, como o fósforo e o potássio, além de atuar na redução da taxa de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de águas residuárias. Reduções da ordem de 85% nos valores da turbidez e de sólidos em suspensão podem ser alcançadas pelo uso da taboa no tratamento de águas. Quando

coliformes totais ou fecais forem detectados nas águas destinadas ao consumo humano, devem ser tomados cuidados especiais com a escolha da tecnologia de tratamento, por haver relação íntima entre turbidez e o número de coliformes nos efluentes de filtros rápidos. Em geral, quanto menor a turbidez da água tratada, menor o número de coliformes, o que contribui para melhorar a eficiência da desinfecção.

2.3 Técnica para a desinfecção das águas residuárias

O interesse na desinfecção dos efluentes sanitários é cada vez maior dada a crescente deterioração das fontes de abastecimento de água para uso humano. O objetivo principal da desinfecção é destruir os microrganismos enteropatogênicos que estão presentes no efluente tratado, melhorando, com isso, a qualidade da água (LAPOLLI et al., 2005).

Para a realização da desinfecção das águas de abastecimento e residuárias, é necessário o emprego de um agente físico ou químico que tem como objetivo eliminar os microrganismos patogênicos transmissores de doenças (AZEVEDO NETO, 1974). Dentre os agentes químicos temos ozônio, peróxido de hidrogênio, permanganato de potássio, iodo, dióxido de cloro, derivados clorados e bromo. O desinfetante mais empregado na desinfecção de águas residuárias é o cloro, porque é facilmente disponível, barato, fácil de aplicar devido à sua alta solubilidade, deixa um residual em solução, de concentração facilmente determinável e é capaz de eliminar a maioria dos microrganismos patogênicos. Porém, segundo Daniel (2000), deve-se ter cautela em relação ao processo de cloração, pois a dissociação do cloro poderá gerar um subproduto como o trialometanos que será muito mais perigoso para a saúde pública do que o próprio agente utilizado para desinfetar a água. Além do trialometanos (THMs), a reação do cloro com as substâncias orgânicas como os ácidos húmicos e fúlvicos presentes na água podem formar também o triclorometano (TCM), bromodiclorometano (BDCM), o dibromoclorometano (DBCM) e o tribromometano (TBM). A esse respeito,

Tominaga & Midio (1999) observaram, a partir de dados epidemiológicos, que os subprodutos da cloração podem aumentar a incidência de certos tipos de câncer na população humana. Além de apresentar riscos à saúde, o cloro poderá corroer as estruturas do sistema de tratamento e alterar o gosto e odor da água.

A eficiência dos agentes químicos na desinfecção da água depende da natureza e concentração do agente desinfetante, tempo de contato, temperatura, número e tipo de microrganismos presentes e a qualidade da água a ser desinfetada (BASSANI, 2003).

Dentre os agentes físicos para a desinfecção podemos citar dois métodos, o artificial com o emprego da radiação ultravioleta e o método natural com a luz solar, denominado de desinfecção solar ou SODIS (AZEVEDO NETO, 1974; TOMINAGA & MIDIO, 1999; RICHTER & AZEVEDO NETTO, 2002).

A desinfecção de águas residuais por radiação ultravioleta consiste, fundamentalmente, na transferência de energia eletromagnética com origem nas lâmpadas de mercúrio até as células dos microrganismos. A radiação, ao penetrar nas paredes das células, é absorvida pelo ácido nucléico, o que provoca alterações no material genético e conseqüentemente destrói a capacidade de reprodução dos microrganismos (LOJE, et. al. 1996; US, 1999).

Na ozonização, o ozônio se decompõe e reage com as moléculas da água, os radicais livres que se formam, tais como peróxido de hidrogênio e hidróxido por terem uma grande capacidade de oxidação, oxidam as células dos microrganismos que estão presentes na água (EPA, 1999).

Em relação ao emprego da radiação ultravioleta e à ozonização, deve-se ressaltar que essas tecnologias podem levar, conforme o teor de matéria orgânica presente na água, à formação de aldeídos, ácidos caboxílicos, peróxido de hidrogênio, bromato, bromometanos,

ácidos acéticos bromados, acetonitrilos bromados e acetonas, porém os seus efeitos na saúde humana ainda não foram completamente avaliados (TOMINAGA & MIDIO, 1999).

Na desinfecção solar, a redução dos microrganismos patogênicos ocorre pela ação conjunta da radiação ultravioleta e infravermelha provenientes do sol. A radiação ultravioleta promove a desnaturação dos compostos protéicos existentes nas células dos microrganismos e a radiação infravermelha ocasiona o aquecimento da água para temperatura acima de 50°C, tornando assim o meio incompatível para o desenvolvimento da maioria dos microrganismos patogênicos (ACRA, et al. 1984; WENGELIN, et al. 1994; SOMMER, et al. 1997).

2.4 Efeito da radiação solar nos microrganismos

A desinfecção solar da água ocorre pela ação conjunta de radiações de dois comprimentos de ondas. O primeiro, a radiação ultravioleta, tem um efeito de germicida. O segundo componente, a radiação infravermelha, é responsável pelo aumento da temperatura da água que pode chegar a valores de até 70 e 75°C. O uso combinado da radiação ultravioleta com a produção de calor causa um efeito em conjunto e conseqüentemente aumenta a eficiência do processo, pois a luz ultravioleta mesmo sendo artificial tem um efeito letal sobre os agentes patogênicos e demais organismos presentes nos efluentes, pois esses agentes patogênicos não são bem adaptados às condições ambientais existentes fora do sistema gastrointestinal humano. Por isso, então, são mais sensíveis à luz solar que os demais organismos comumente abundantes no ambiente. A radiação ultravioleta interage diretamente com o ácido nucléico (DNA) e enzimas das células vivas, mudando a estrutura molecular e conduzindo a célula à morte, impedindo assim a sua reprodução no meio. A radiação ultravioleta também reage com o oxigênio dissolvido na água e produz formas altamente reativas de oxigênio (oxigênio dos radicais livres e peróxido de hidrogênio). Essas moléculas

reativas também interferem nas estruturas das células e matam os agentes patogênicos (ACRA et al., 1984; BRYANT et al., 1992; MEIERHOFER e WEGELIN, 2002).

Os resultados têm demonstrado que a taxa de inativação das células dos microrganismos cresce com a magnitude do aumento do comprimento de onda até a radiação ultravioleta na faixa de 320 a 400 nm (ACRA et al., 1984).

2.5 Tempo de exposição à radiação solar

A eficiência da radiação solar está também associada ao tempo de exposição em que os organismos ficam expostos à ação da radiação conjunta do ultravioleta e infravermelho e também à espécie dos organismos. Com relação a esse fato, Lawand (1988), realizando um estudo com diferentes organismos e tempo de exposição, obteve os seguintes tempos para a destruição de alguns organismos: *Pseudomonas aeruginosa* - 15 minutos; *Salmonella flexneri* - 30 minutos; *Salmonella typhi* e *Salmonella enteritidis* - 60 minutos; *Escherichia coli* - 75 minutos e *Cândida spp* - 3 horas. Macedo (2004), realizando um estudo similar, constatou que após duas horas de exposição solar direta de 600 W/m^2 ocorreu uma eliminação completa de todos os microrganismos patogênicos.

Já Amaral et al. (2006) verificaram que, após 12 horas de exposição, ocorreram reduções de 98,2%, 99,9% e 100% nos números de microrganismos mesófilos, coliformes totais e *E. coli*, respectivamente. Para confirmar a eficiência, foi constatada a ausência de recrescimento de todos os microrganismos pesquisados após 12 horas de exposição ao sol.

O tempo de exposição solar poderá diminuir caso seja utilizado um concentrador solar. Nesse sentido, Moreira e Paterniani (2005) observaram que o uso do concentrador solar permitiu reduzir o tempo de exposição ao sol de 6 horas para 4 horas. O concentrador elevou a temperatura da água até 70°C e promoveu uma inativação de 99,8% de coliformes totais e

100% de *E. coli*. O uso do concentrador solar também evitou o recrescimento bacteriano após 24 horas do término do processo.

Como fator de segurança, principalmente em locais com características tropicais úmidas, exige-se no mínimo um período de 5 horas de exposição, levando sempre em consideração que nuvens, fumaça, e outras formas de sombreamento afetam sensivelmente o processo. Para as águas com elevada contaminação e com alta turbidez, não se conseguem resultados satisfatórios que garantam qualidade microbiológica para consumo humano. Além da radiação solar, a temperatura é um fator preponderante na inativação de organismos patogênicos. Assim, Wegelin et al. (1994), analisando duas amostras de águas submetidas à mesma radiação solar, constataram uma redução de 99% de enterovirus após 42 minutos de exposição ao sol para uma temperatura da água em torno de 40° C. Porém quando a mesma água foi submetida à mesma radiação e a 20°C de temperatura, o tempo para atingir o mesmo índice de inativação foi de 150 minutos.

Vários autores relatam que a temperatura ideal para inativar os microrganismos patogênicos é quando ela atinge valores acima de 50° C nas amostras de água submetidas à desinfecção solar (Acra et al. 1984; Wengelin et al. 1994; Sommer et al. 1997). Em relação à temperatura ideal para inibir o crescimento de microrganismos, convém ter cautela quando se estabelece um valor, pois Tanaka et al. (2003), em um trabalho usando a solarização da água para inibir o crescimento de fitopatógenos, constataram que a temperatura de inibição está relacionada com a espécie de microrganismos. Assim, demonstraram que *Colletotrichum acutatum*, *Colletotrichum lindemuthianum* e *Phythium* sp. são inibidos quando a temperatura atinge os 45°C e os *Fusarium solani*, *Fusarium subglutinans* e *Fusarium* spp sobrevivem a temperaturas acima de 55°C.

Além da temperatura, a presença de oxigênio disponível na água submetida à exposição solar aumenta a eficiência na inativação de bactérias fecais, reduzindo o tempo de

exposição para cerca de três horas (REED et al. 2000). Isso ocorre provavelmente devido ao fornecimento de oxigênio para o desenvolvimento de organismos antagonistas aos patogênicos presentes na água.

2.6 Uso da radiação solar na desinfecção das águas

2.6.1 Para consumo

A desinfecção solar conhecida como SODIS (*Solar Disinfection*) é uma técnica que consiste em colocar amostra de água em um recipiente transparente de vidro ou plástico e depois submetê-la à radiação solar por um determinado período de tempo e tem com o objetivo inativar as células dos microrganismos patogênicos existentes na água (ACRA et al. 1984).

Meierhofer e Wegelin (2002) relatam, no guia de aplicações SODIS, que a pesquisa com a desinfecção solar da água foi iniciada pelo Professor Aftim Acra, na Universidade Americana de Beirute. O trabalho de Acra motivou a Associação de Sistemas de Energia Rural Integrada (Integrated Rural Energy Systems Association – INRESA) a lançar um projeto em rede no ano de 1985. O Instituto de Suporte de Pesquisa (Brace Research Institute), localizado em Montreal, organizou um seminário em 1988 para rever os resultados dessa pesquisa de campo. Em 1991, uma equipe interdisciplinar composta de engenheiros sanitários, fotoquímicos, bacteriologistas e virologistas da Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology e Water & Sanitation in Developing Countries (EAWAG/SANDEC) elaborou um extenso teste de laboratório para avaliar o potencial do SODIS e desenvolveu um método efetivo, sustentável e barato de tratamento de água para o consumo humano.

Os resultados dessas pesquisas revelaram que a inativação dos microrganismos patogênicos ocorreu pela ação conjunta da radiação ultravioleta e o aumento da temperatura da água armazenada nos recipientes plásticos transparentes submetidos à radiação solar (ACRA et al. 1984).

Posteriormente foram realizados mais testes de campo e novamente se confirmaram esses efeitos. Esse processo simples de tratamento de água foi posteriormente testado a campo em projetos de demonstração para avaliar sua aceitação sociocultural e acessibilidade pela população-alvo. A resposta e o interesse a respeito do SODIS foram muito positivos. A técnica da desinfecção solar foi desenvolvida para melhorar a qualidade sanitária das águas coletadas das chuvas, córregos, rios e poços localizados nas zonas rurais de países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento (WEGELIN et al. 1994).

Um resultado prático da utilização da desinfecção solar foi obtido em um estudo realizado por Conroy et al. (1999) com crianças da comunidade Massai na África. Nesse trabalho, um grupo de crianças foi submetido ao consumo de água tratada pela radiação solar e um outro grupo consumiu água sem passar pela exposição solar. Como resultado, foi observada uma alta incidência de diarreias em crianças que consumiram a água sem a desinfecção solar.

Com base nos resultados obtidos por vários pesquisadores, o EAWAG/SANDEC iniciou a divulgação do SODIS visando promover o uso dessa tecnologia em áreas localizadas em países subdesenvolvidos onde a água potável está contaminada com descarte de esgoto domiciliar. Nesse sentido, desde 1999, foram lançadas iniciativas locais e atividades do SODIS em vários países da América Latina, como também na Indonésia, Sri Lanka, Índia, Nepal, Paquistão, Uzbequistão, Quênia, África do Sul e Angola (ACRA et al., 1984; WEGELIN et al., 1994; CONROY et al., 1999).

2.4.2 Para águas residuárias

A utilização da desinfecção solar também poderá ser empregada em águas residuárias de efluentes provenientes do tratamento de esgoto em pequenas comunidades rurais. A esse respeito, Odeyemi (1986), Zapp (1988) e Paterniani e Silva (2005) observaram que os microrganismos patogênicos presentes nas águas residuárias foram reduzidos pela ação do aquecimento e da radiação ultravioleta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O trabalho foi desenvolvido em condições de campo, em uma área localizada no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, no município de Taubaté, SP. As análises microbiológicas do efluente foram realizadas no Laboratório de Microbiologia Agrícola e Fitopatologia da Universidade de Taubaté - Departamento de Ciências Agrárias. O efluente utilizado foi proveniente da fossa sanitária do Departamento de Ciências Agrárias (Figura 1) que recebe os despejos das águas residuárias geradas pelo uso de sanitários e atividades de laboratório.



Figura 1. Fossa sanitária – Agronomia - UNITAU.

3.2 Montagem do experimento

3.2.1 Solarizador

O solarizador foi constituído por um suporte de madeira e uma chapa metálica ondulada de forma retangular (Figura 2A) que foi colocado com exposição para a face norte em um ângulo de inclinação semelhante à latitude local com acréscimo de 10° , ou seja, 33° N, em que foram colocadas as garrafas plásticas transparentes com a água residuária.

3.2.2 Recipientes plásticos

Os recipientes utilizados para armazenar o efluente foram garrafas com capacidade para 2000 ml, totalmente transparentes (figura 2 B). Elas foram lavadas com detergente e água corrente e deixadas para secar naturalmente. Após o uso com o efluente, as garrafas foram deixadas de molho com hipoclorito de sódio por dois dias e lavadas em água corrente e secas naturalmente.



Figura 2 A. Solarizador



Figura 2 B. Garrafas expostas ao sol.

3.2.3 Coleta das amostras

As amostras do efluente foram coletadas da fossa sanitária com um balde e colocadas em 20 garrafas com o auxílio de um funil de vidro. As garrafas foram acondicionadas em caixas e levadas para o solarizador, onde foram submetidas à ação dos raios solares a intervalos de 2h, 4h, 6h e 8 horas. Foram privilegiados os dias com céu sem nuvens e o horário de início para a exposição ao sol foi às 08h30min da manhã, sempre na segunda quinzena dos meses de agosto, outubro e dezembro de 2006 e março e julho de 2007. Dentro de uma garrafa foi colocado um termômetro com escala de -10°C a 250°C para que a cada intervalo de exposição aos raios solares a temperatura fosse medida.

As análises bacteriológicas e físico-químicas foram realizadas segundo metodologia padronizada do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APWA 2005).

3.3 Determinação do Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais, coliformes fecais e *Escherichia coli*

3.3.1 Número Mais Provável

É a estimativa da densidade de bactérias em uma amostra, calculada a partir da combinação de resultados positivos e negativos, obtidos mediante o código formado na tabela de NMP (APWA, 2005)

3.3.2 Teste presuntivo

Para realização do teste presuntivo foram preparados 100 tubos de ensaio com capacidade para 20 ml, com caldo lactosado concentrado e 200 tubos de ensaio com capacidade para 10 ml, com caldo lactosado de concentração simples. Todos os tubos possuíam tubos de Duhran invertido em seu interior, para se verificar a liberação de gás que indicaria a presença de microrganismos do grupo coliformes. Todos os tubos com meio de cultura foram esterilizados em autoclave a $\pm 121^{\circ}\text{C}$ durante 15 minutos.

3.3.2.1 Inoculação do efluente

Foi retirada de cada garrafa uma amostra de 100 ml do efluente e colocada em frascos previamente esterilizados, sendo que, para cada amostra, foram utilizados 5 tubos contendo 10 ml do caldo lactosado concentrado e adicionado 10 ml da amostra do efluente (pipeta de vidro esterilizada), 5 tubos com 9 ml do caldo lactosado com concentração simples e adicionado 1 ml da amostra do efluente (pipeta automática com ponteiros esterilizados) e 5 tubos com 9,9 ml do caldo lactosado com concentração simples e adicionado 0,1 ml da amostra do efluente (pipeta automática com ponteiros esterilizados). Após a inoculação, os tubos foram colocados em estufa de cultura $\pm 37^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Completadas as 24 horas, foi realizada a contagem dos tubos com liberação de gás, sendo considerado positivo para coliformes.

3.3.3 Confirmação de coliforme total

Para confirmação de coliformes totais, foi preparado meio de cultura caldo verde brilhante bile (VB). Para cada tubo de ensaio com capacidade de 10 ml, foram adicionados 6 ml do meio, todos os tubos com tubos de Duhran invertidos em seu interior. O meio de cultura foi esterilizado em autoclave a $\pm 121^{\circ}\text{C}$ durante 15 minutos.

A partir dos tubos com caldo lactosado que produziram gás, foi transferida, por meio de alça de platina, uma alíquota para tubos com meio de cultura VB os quais foram incubados a $\pm 37^{\circ}\text{C}$ em estufa de cultura por 24 – 48 horas. Foi observado, em todos os tubos, se houve produção de gás confirmando a presença de coliformes totais e a partir desses tubos positivos foi determinado o Número Mais Provável / 100 ml.

3.3.4 Confirmação de coliforme fecal

Para confirmação de coliformes fecais, foi preparado meio de cultura caldo *Escherichia coli* (EC). Para cada tubo de ensaio com capacidade de 10 ml, foram adicionados 6 ml do meio, todos os tubos com tubos de Duhran invertidos em seu interior. O meio de cultura foi esterilizado em autoclave a $\pm 121^{\circ}\text{C}$ durante 15 minutos.

A partir dos tubos com caldo lactosado que produziram gás, foi transferida, por meio de alça de platina, uma alíquota para tubos com meio de cultura EC os quais foram incubados a $\pm 45^{\circ}\text{C}$ em Banho Maria por 24 – 48 horas. Foi observado, em todos os tubos, se houve produção de gás confirmando a presença de coliformes fecais e a partir desses tubos positivos foi determinado o Número Mais Provável / 100 ml.

3.3.5 Confirmação de *Escherichia coli*

Para confirmação de *E. coli*, foi preparado meio de cultura Agar Eosina Azul de Metileno (EAM) que foi esterilizado em autoclave a $\pm 121^{\circ}\text{C}$ durante 15 minutos. Após resfriamento, foi distribuído ± 20 ml em cada placa de Petri.

A partir dos tubos com EC, que apresentaram crescimento microbiano com liberação de gás entre 24 e 48 horas, retirou-se, com o auxílio de uma alça de platina, uma alíquota do meio a qual foi distribuída em placas com meio de cultura EAM. As placas foram incubadas

em estufa de cultura a $\pm 37^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Após esse período, foi realizada a confirmação de *E.coli* em placas com desenvolvimento de colônias típicas, ou seja, colônias com centro preto e com e sem brilho metálico.

3.4 Análise Físico-Química

3.4.1 Turbidez

Para determinar a turbidez, foi utilizado um Turbidímetro da marca Digimed DM C2, e o processo ocorreu da seguinte forma: a amostra foi agitada cuidadosamente evitando a formação de bolhas; antes da realização da medida de turbidez, a amostra foi colocada na cubeta, limpando-se bem suas paredes externas e colocando-a no turbidímetro; em seguida, foi lido o resultado da turbidez diretamente da escala do próprio aparelho, expresso em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT).

3.5 Dados Meteorológicos

Dados de radiação solar total acumulada e temperatura do ar foram fornecidos pela Plataforma de Coleta de Dados (PCD) (figura 3B) instalada no posto meteorológico (figura 3A) do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté.



Figura 3 A-Posto Meteorológico



Figura 3B-Plataforma de Coleta de Dados (PCD)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variação da radiação solar e da temperatura do ar

A ação da radiação solar total acumulada e da temperatura sobre a inativação de coliformes fecais apresentou diferença significativa entre os períodos de exposição nos meses que representa as estações primavera (outubro/06), verão (dezembro/06) e outono (março/07).

No inverno, representado pelos meses de agosto de 2006 e julho de 2007, não foi observado variação na redução de coliformes fecais. Valores de radiação solar e temperatura mais elevadas foram observados nos meses do ano representando as estações primavera (outubro/06), verão (dezembro/06) e outono (março/07), como apresentado na figura 4 e5.

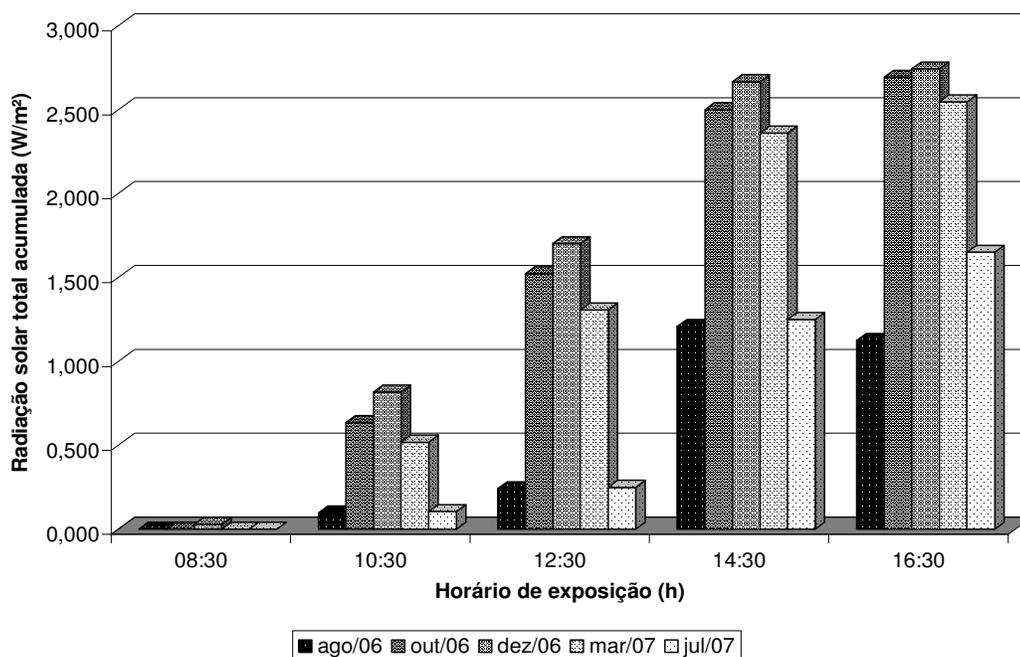


Figura 4. Variação da Intensidade da radiação solar total acumulada nos meses de agosto, outubro e dezembro de 2006 e março e julho de 2007.

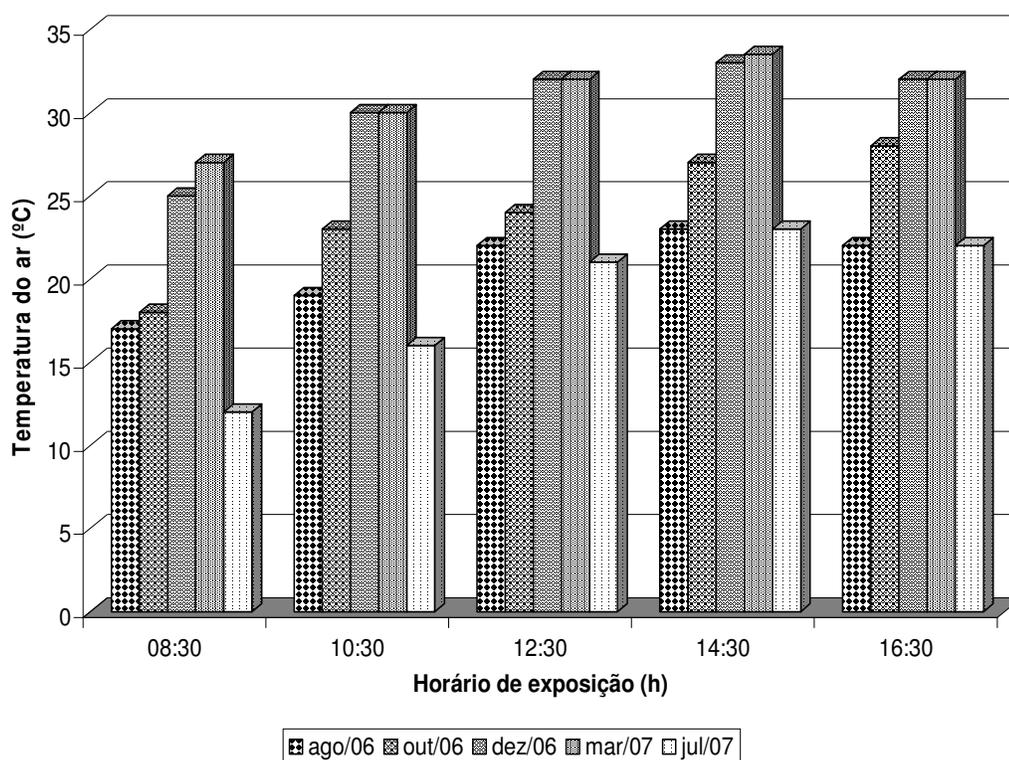


Figura 5. A variação da temperatura média do ar determinada nos meses de agosto, outubro e dezembro de 2006 e março e julho de 2007.

A variação entre os valores da radiação solar e temperatura observada no presente trabalho estão relacionadas às condições climáticas predominantes nos períodos em que as amostras do efluente foram coletadas e que, segundo os estudos da Fundação Sodis, a sazonalidade climática tem ação direta sobre a eficiência na inibição do desenvolvimento de células de coliformes fecais (SODIS, 1998). Assim, observa-se na Figura 5 que as menores temperaturas foram determinadas no mês de agosto de 2006. Nesse período, elas variam de 17 °C às 08h30min horas para cerca de 22 °C às 16:30 horas e também no mês de julho de 2007, com variação entre 14°C e 23°C. Esses baixos valores na temperatura estão relacionados ao período de inverno e as maiores temperaturas foram verificadas nos meses de dezembro de 2006 e março de 2007 com os valores variando entre 25 e 27°C às 08h30min horas respectivamente e 32°C às 16:30 horas. Isso ocorre porque esse período é correspondente à

estação do verão. Ainda na Figura 5 nota-se que a variação da temperatura no mês de outubro apresentou um comportamento intermediário com a temperatura variando acima dos valores observados nos meses de inverno e abaixo dos valores verificados nos meses de verão.

4.2 Influencia do tempo de exposição sobre o crescimento de coliformes fecais

Na Figura 6, estão apresentados os valores de coliformes fecais determinados em amostras de efluentes submetidas a 0 (sem exposição) 2, 4, 6 e 8 horas de exposição à incidência dos raios solares. Observa-se que, nos três meses relativo aos períodos de primavera (outubro/06), verão (dezembro/06) e outono (março/07), o número de coliformes fecais apresenta uma redução expressiva a partir de 2 horas de exposição ao sol. Essa tendência também foi notada por Amaral, et al. (2006), em amostras de água de poço submetidas à solarização por cerca de 2 e 5 horas.

Ainda na Figura 6 verifica-se que o número de coliformes fecais diminui à medida que se aumentam os tempos de exposição à radiação solar e também se nota que a eficiência na inativação das células microbianas está relacionada à quantidade inicial de coliformes fecais observada no efluente antes de ser submetido à solarização. Nesse sentido, observa-se, na Figura 6, que no mês de outubro de 2006, em duas horas de exposição, o número de coliformes fecais foi reduzido em 74,3%, no mês de dezembro 2006 em 26,5% e em março de 2007 em 55%. O baixo percentual de redução de coliformes fecais observado na amostra submetida a duas horas de exposição no mês de dezembro de 2006 está associado ao fato de que, nesse período, o número de coliformes fecais na amostra inicial foi de 90 NMP/100 mL de efluente, ao passo que nos períodos de outubro de 2006 o valor de coliformes fecais foi de 17 NMP/100 mL de efluente e em março de 2007 o valor foi de 19 NMP/100 mL de efluente. Isso ocorre porque, segundo Acra. (1990), quanto maior o número de microrganismos na água menor será a sensibilidade dos microrganismos á radiação solar. Já com oito horas de

exposição, as reduções no número de coliformes fecais foram de 78,5% em outubro de 2006, 86,5% em dezembro de 2006 e 83,3% em março de 2007. Esses valores provavelmente estão relacionados à variação da temperatura observada no interior das amostras (Figura 8), pois alguns autores relatam que temperaturas acima de 50°C são letais para a maioria dos microrganismos patogênicos (ACRA et al. 1984; WENGELIN et al. 1994; SOMMER et al. 1997). Além da temperatura, o tempo de exposição também é um fator preponderante na inativação das células microbianas. Assim, Lawand (1988), estudando diferentes tempos de exposição ao sol, verificou os seguintes tempos para a destruição de alguns microrganismos: *Pseudomonas aeruginosa* - 15 minutos; *Salmonela flexneri* - 30 minutos; *Salmonela typhi* e *Salmonela enteritidis* - 60 minutos; *Escherichia coli* - 75 minutos e *Cândida spp* - 3 horas.

Comparando os resultados do presente estudo com os observados por outros autores quando submetem as amostras de água coletadas de poços, córregos e da saída de efluentes do tratamento terciário à desinfecção através da radiação solar, verifica-se que os valores de eficiência referentes à redução de coliformes fecais ficaram abaixo de 90% (MARTIN-DOMINGUES et al., 2005; PATERNIANI et al., 2005; AMARAL et al., 2006).

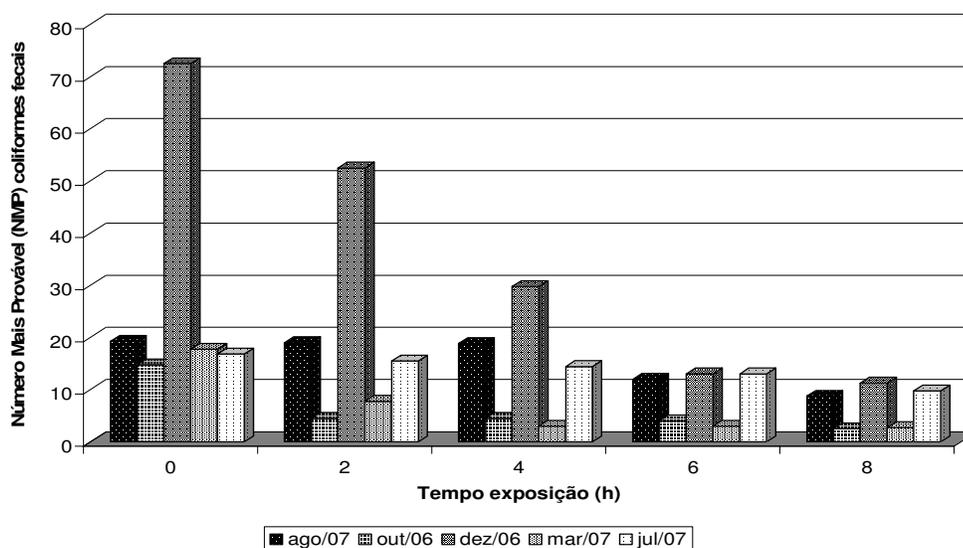


Figura 6. Variação no número de coliformes fecais (NMP/1000ml) em amostras de efluentes submetidas em diferentes tempos de exposição à radiação solar nos meses de agosto, outubro e dezembro de 2006 e março e julho de 2007.

4.3 Influência da intensidade da radiação solar total acumulada sobre o crescimento bacteriano

Confrontando os resultados das Figuras 4 e 6 , constata-se que a redução no número de coliformes fecal foi devido provavelmente ao aumento da radiação solar, pois a ação da radiação sobre as células microbianas ocorre pela combinação de dois comprimentos de ondas, o ultravioleta que tem ação germicida, e o infravermelho, responsável pelo aumento da temperatura das amostras de água expostas ao sol (MEIERHOFER e WEGELIN, 2002).

O comprimento de onda ultravioleta age diretamente sobre o ácido nucléico (DNA) e também sobre as enzimas existentes nas células vivas, mudando assim a estrutura molecular e, por conseqüência, provocando a desnaturação das proteínas, e dessa forma, a morte das células e impedindo a multiplicação dos microrganismos (BRYANT et al.; 1992). Além de ocasionar a desnaturação das proteínas, a radiação ultravioleta reage com o oxigênio dissolvido na água e produz formas altamente reativas de oxigênio (oxigênio dos radicais livres e peróxido de hidrogênio). Essa forma reativa do oxigênio também interfere nas estruturas das células, pois oxidam os componentes orgânicos que compõem as organelas que estão imersas no suco celular dos microrganismos (MEIERHOFER e WEGELIN, 2002; PATERNIANI et al., 2005; AMARAL et al, 2006).

Deve-se ressaltar que a maioria dos microrganismos patogênicos é sensível à radiação solar e ao ambiente com temperatura acima de 36°C, pois esses organismos sobrevivem naturalmente dentro do trato gastrointestinal humano. Entretanto, dentre os microrganismos patogênicos, *E.coli* é a mais resistente aos efeitos letais da luz solar do que outras bactérias como a *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella thypi* e *Salmonella enteritidis* e por isso *E.coli* pode ser considerada como um indicador para o tratamento da água com a utilização da energia solar (Acra et al., 1984).

Entretanto, apesar dos resultados serem favoráveis à inativação de *E coli*, devemos levar em consideração que a radiação ultravioleta é capaz de inativar bactérias e vírus patogênicos, porém não se mostra adequada à inativação de cistos de protozoários e ovos de nematóides (REIFF e WITT, 1995). Nesse sentido, futuros trabalhos deverão ser realizados para observar a eficiência da solarização na redução de protozoários e vírus.

4.4 Influência da temperatura das amostras do efluente sobre o crescimento bacteriano

Os valores da temperatura nas amostras do efluente durante a exposição ao sol encontram-se apresentadas na Figura 7. Observa-se que os valores apresentaram variação em função do tempo e período de exposição à radiação solar, sendo que a menor temperatura 18°C foi determinada em dezembro antes da exposição ao sol e a maior 53°C foi verificada em março após 6 horas de exposição à radiação solar.

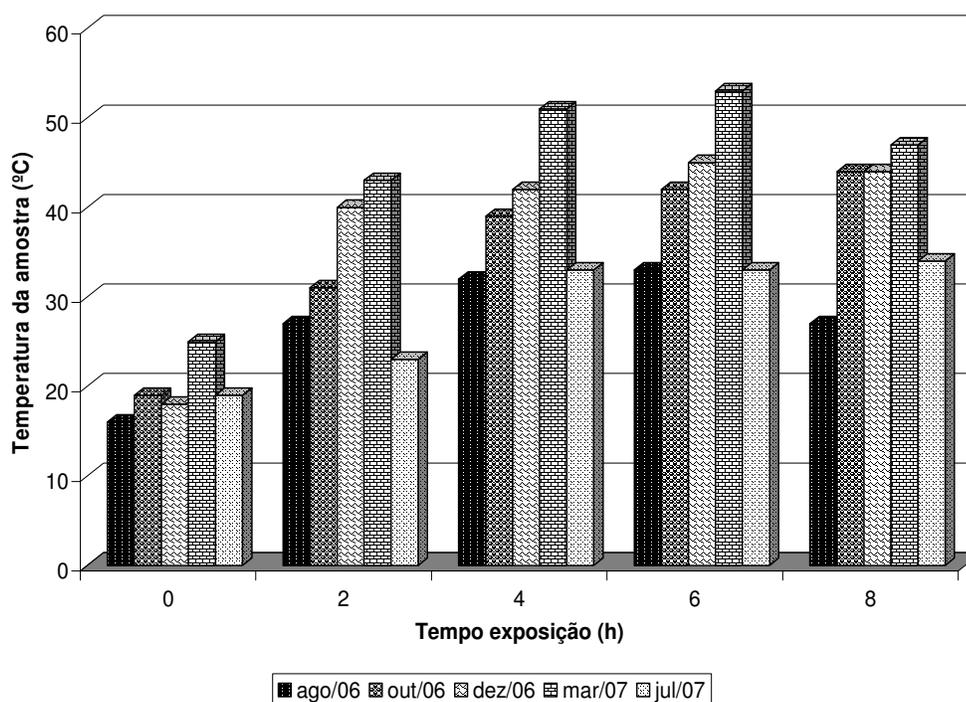


Figura 7. Variação da temperatura nas amostras do efluente submetido a diferentes tempos de exposição nos meses de agosto, outubro e dezembro de 2006 e março e julho de 2007.

Considerando que a eficiência do uso da solarização na inativação dos microrganismos patogênicos em água para o consumo humano ocorre em média quando a temperatura atinge um mínimo de 50°C e tempo de exposição de 6 horas, podemos considerar então que, nesse trabalho, a melhor eficiência para a redução de coliformes fecais ocorreu no mês de março de 2007 quando as amostras dos efluentes foram submetidas a 6 horas de exposição ao sol (WEGELIN, et al. 1994; TANAKA, et al. 2003). Provavelmente a inativação de coliformes fecais constatada no presente trabalho ocorreu também por causa da ação da radiação solar, pois, segundo Amaral et al. (2006), a radiação ultravioleta tem ação germicida. A esse respeito, Meierhofer e Wegelin (2002) verificaram que à medida que se elevava a radiação ultravioleta, há uma redução de 99% no número de coliformes fecais em amostras de água com temperatura abaixo de 50°C.

Esses resultados de inativação referem-se aos microrganismos fecais da espécie *Escherichia coli*, por isso deve-se ter cautela durante a análise desses dados, pois talvez a temperatura acima de 50° C por um período de 6 horas de exposição seja eficiente apenas para a *E. coli* e não para os demais microrganismos patogênicos humanos. A esse respeito, Tanaka, et al. (2003), em um trabalho usando a solarização da água para inibir o crescimento de fitopatógenos constataram que a temperatura de inibição está relacionada com a espécie de microrganismos, constatando também que *Colletotrichum acutatum*, *Colletotrichum lindemuthianum* e *Phythium* sp. são inibidos quando a temperatura atinge os 45°C e os *Fusarium solani*, *Fusarium subglutinans* e *Fusarium* spp sobrevivem a temperaturas acima de 55°C.

Deve-se ressaltar que os resultados de inativação de coliformes fecais obtidos nesse trabalho referem-se a amostras de efluentes coletadas na fossa séptica, ou seja, as reduções observadas de *E. coli* não permitem o consumo da água pelo ser humano. Por outro lado, melhorou as condições sanitárias para que o efluente seja despejado nos corpos hídricos.

4.5 Turbidez das amostras do efluente

Os valores da turbidez das amostras dos efluentes expressos em UNT estão apresentados na Figura 8. Observa-se que a turbidez apresentou uma variação de 1,03 UNT em dezembro de 2006 para 21 UNT em março de 2007. Esses valores, apesar de serem determinados em amostras de efluentes coletados da fossa séptica, estão abaixo do limite de 30 UNT, valores este considerado como adequado para a desinfecção solar em amostra de água utilizada para o consumo humano e também de amostra de efluente proveniente do tratamento terciário (WEGELIN *et al.*, 1994; PARTENIANI & SILVA, 2005).

Analisando a Figura 8, verifica-se que a turbidez apresenta um aumento em seus valores à medida que se elevam os tempos de exposição à radiação solar. Essa tendência ocorre nos três períodos de observação, sendo mais acentuado em março de 2007. Talvez o aumento da turbidez esteja relacionado ao crescimento de células microbianas, pois o efluente é um meio rico em matéria orgânica e nutriente. Provavelmente as maiores temperaturas verificadas nas amostras em março de 2007 estejam ligadas à turbidez da água, pois a temperatura externa nesse período foi igual ao do mês de dezembro de 2006 (Figura 5), sendo que a única diferença ocorrida foram os valores da turbidez. Nesse caso, os materiais em suspensão nas amostras de água coletada em março podem ter absorvido e retido mais calor e conseqüentemente elevaram a temperatura da água.

Realizando uma análise em conjunto das Figuras 6 e 8, verifica-se que ocorre uma redução no número de coliformes fecais à medida que se elevam os valores da turbidez, se consideramos que a turbidez está relacionada ao crescimento de células microbianas. Podemos inferir então, que além da ação conjunta da temperatura e radiação solar, *E.coli* foi inibida por microrganismos antagonistas que se desenvolveram no efluente submetido à radiação solar.

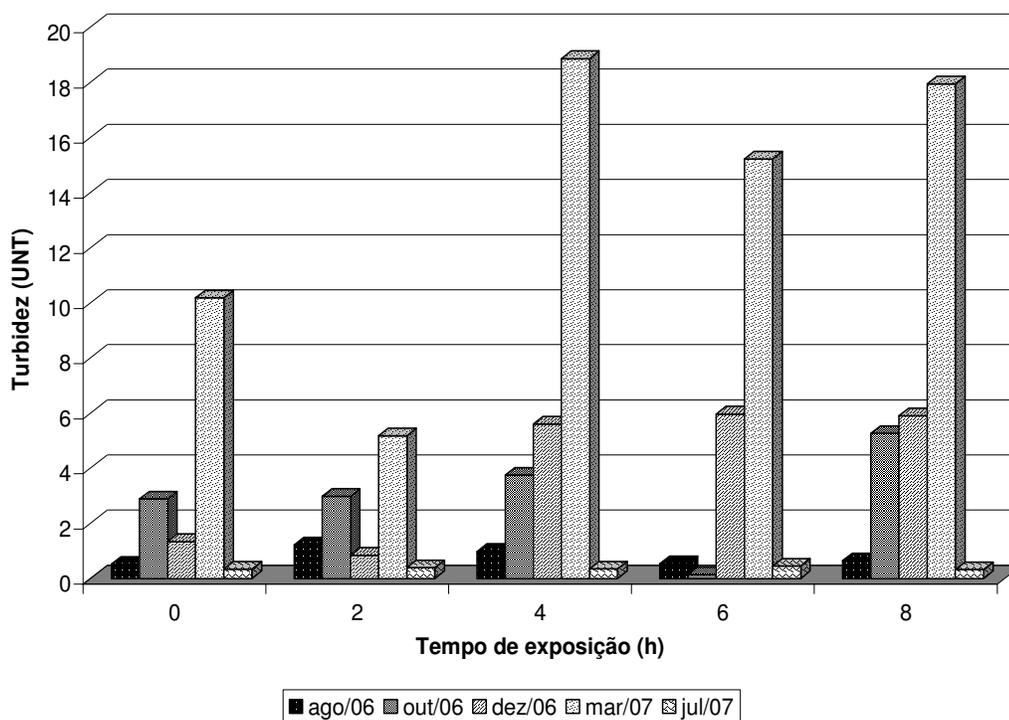


Figura 8. Variação da turbidez determinada nas amostras do efluente submetido a diferentes tempos de exposição e meses de agosto, outubro e dezembro de 2006 e março e julho de 2007.

Em relação à turbidez e à eficiência de inativação de microrganismos, têm-se observado na literatura algumas divergências. Assim, Sommer et al. (1997), testando diferentes graus de contaminação microbiológica até 10^9 NMP/100ml e níveis de turbidez até 110 UNT, observaram uma eliminação total de coliformes após 2 horas de exposição e temperatura de 50°C . Por outro lado, Wegelin et al. (1994) e Parteniani & Silva, (2005) observaram eficiência na inativação de coliformes fecais com turbidez abaixo de 30 UNT, conforme também verificada no presente estudo.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados, pode-se concluir que:

1. A eficiência da solarização na inativação de células de microrganismos patogênicos está associada ao período do ano com maiores temperaturas e incidências de radiações solares;
2. O aumento na turbidez do efluente não reduziu a eficiência da solarização na redução de coliformes fecais;
3. A redução no número de coliformes fecais foi devido à ação conjunta da temperatura e da radiação solar;
4. Nos meses de outubro e dezembro de 2006 e março de 2007, em duas horas de exposição do efluente à radiação solar, houve uma redução em média de 51,2% dos coliformes fecais; com o aumento do tempo de exposição à radiação solar para 8 horas, obteve-se uma média de 84% na redução para coliformes fecais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRA, A.; RAFFOUL, Z.; KARAHAGOPIAN, Y. **Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solutions**. Paris: UNICEF, 1984.

ACRA, A. et al. **Water disinfection by solar radiation**. Ottawa: International Development Research Centre, 1990.

AGUIAR, A. M. de S. et al. Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com turbidez e cor moderada. **Revista Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 37-47, jan./mar. 2002.

AMARAL, L. A. et al. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 510-514, ago. 2003.

AMARAL, L. A. et al. Tratamento alternativo da água utilizando extrato de semente de moringa oleifera e radiação solar. **Arquivo do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 73, n. 3, p. 287-293, jul./set. 2006.

AMARAL, L. A. et al. Uso da radiação solar na desinfecção da água de poços rasos. **Arquivo do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 73, n. 1, p. 45-50, jan./mar. 2006.

APWA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington: APWA, AWWA, WPCF, 2005. 1268 p.

AZEVEDO NETO, J. M. A desinfecção: princípios, agentes físicos e químicos, a ação de desinfetantes, fatores envolvidos, equações. In: SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS. **Desinfecção de águas**. São Paulo: CETESB, 1974. cap. 3, p. 11-17.

BASSANI, L. **Desinfecção de efluente sanitário por ozônio**: parâmetros operacionais e avaliação econômica. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária Ambiental)-Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BRANCO, S. M. As águas e os microorganismos: amebas, bactérias e vírus, presença nas águas naturais, nas águas poluídas e nas águas residuárias. In: SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS. **Desinfecção de águas**. São Paulo: CETESB, 1974. cap. 1, p. 1-4.

BRASIL, M. da S. *et al.* Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 133-137, 2005. Suplemento.

BRYANT, E. A.; FULTON, G. P.; BUDD, G. C. **Disinfection alternatives for safe drinking water**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 518 p.

BOLLMANN, A. H. ; MARQUES, D. M. L.M. Influência da densidade populacional nas relações entre matéria orgânica carbonácea, nitrogênio e fósforo em rios urbanos situados em áreas com baixa cobertura sanitária. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11,n.4, p343-352, out./dez. 2006.

CONROY, R. M. et al. Solar disinfection of water reduces diarrhoeal disease: an update. **Archives of Disease Childrens**, v. 81, n. 4, p. 337-338, out. 1999.

DANIEL, L. A. Alternativas para desinfecção de esgoto sanitário. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MICROBIOLOGIA APLICADA AO SANEAMENTO, 1., 2000, Vitória. **Anais...** Vitória: [S.l.], 2000. p. 54-59.

DI BERNARDO, L. DI BERNARDO, A. CENTURIONE FILHO, A. L. **Qualidade das águas** : Características biológicas. In : Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos. Rima, 2002.

GALAL-GORCHEV. **Desinfección del potable y subproductos de inters para la salud**. In: La Calidad del Agua Potable en America Latina : Ponderación de los Riesgos Microbiológicos contra los Riesgos de los Subproductos de la Desinfección Química, Washigton, 1996, p 89-100.

KAWAI, H. *et. al.* **Avaliação do desempenho de estações de tratamento esgotos**. São Paulo: CETESB, 1991. 38 p. (Série Manuais).

LAPOLLI, F. *et al.* Desinfecção de efluentes sanitários através de dióxido de cloro. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 200-208, jul./set. 2005.

LAWAND, T. A. *et al.* Solar water disinfection: proceedings of a workshop held at the Brace Institute. In: **WORKSHOP ON SOLAR WATER DISINFECTION**, 1988, Montreal. Proceedings...Canadá: International Development Research Centre, 1988.

LIMA, E.; KOLLNBERGER, G. Recuperação de efluentes para reuso como água. **Revista Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, v. 48, n. 47, p. 68-73, mar./abr. 2004.

LOJE, F. *et al.* Ultraviolet disinfection of secondary treatment effluents: prediction of performance and design. **Water Environment Research**, v. 68, n. 68, p. 900-916, 1996.

MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas**. 2. ed. São Paulo: Varela, 2004.

MARTÍN-DOMÍNGUEZ, A. *et al.* Efficiency in the disinfection of water for human consumption in rural communities using solar radiation. **Solar Energy**, v. 78, p. 31-40, 2005.

MEIERHOFER, R.; WEGELIN, M. **Desinfecção solar da água: guia de aplicações SODIS**. Dubendorf: SANDEC, 2002. 88 p.

MONTEIRO, P. C. G. **Viabilidade do uso da radiação solar na desinfecção da água**. 1999. 159 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia ambiental e Recursos Hídricos)-Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

MOREIRA, M. J.; PATERNIANI, J. E. Uso de garrafas PET e energia solar na desinfecção de águas em comunidades rurais. **Revista de Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 2, n. 1, p. 60-69, jan./dez. 2005.

ODEYEMI, O. **Use of solar radiation for water disinfection**. Canadá: Report of INRESA Secretariat, 1986. 33 p.

OLIVEIRA, J. P. **Reuso de água dos efluentes de laminação de alumínio – estudo de caso ALCAN – Pindamonhangaba**. 2003. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)- Universidade de Taubaté, Taubaté, 2003.

PORRÉCA, L. M. **ABC do meio ambiente: água**. Brasília: IBAMA, 1998. 30 p.

PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (SODIS): avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 9-13, jan./mar. 2005.

REIFF, F. M.; WITT, V. M. **Guias para la selección aplicación de tecnologías de desinfección de la água para consumo humano em pueblos pequeños y comunidades rurales em América Latina y el Caribe**. Washington: Division de Saud y Ambiente, 1995. 227 p. (Série Técnica, 30).

REED, R. H.; MANI, S. K.; MEYER, V. Solar photo-oxidative disinfection in drinking water: preliminary field observations. **Letters Applied Microbiology**, v. 30, n. 6, p. 432-436, 2000.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 332 p.

SAMPAIO, G. M. M. S. *et al.* Pós-tratamento de efluente de um reator UASB através de um reator biológico com fungos. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 73-81, jan./mar. 2004.

SODIS FUNDACIÓN, 1998. Notas Técnicas de la No. 1 a la 17. Internet www.sodis.ch. Cochabamba-Bolivia.

SOMMER, B. et al. Emerging water treatment process. **Journal Water SRT – Aqua**, v. 46, n. 3, p. 127-137, 1997.

SOUZA, J. B. de; SARTORI, L.; DANIEL, L. A. Influência da cor e turbidez na desinfecção de águas de abastecimento utilizando-se cloro e radiação ultravioleta. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES/AIDIS, 2000.

SOUZA, J. T.; HAANDEL, A. V.; LIMA, E. P. C. Utilização de Wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 285-290, out./dez. 2004.

TANAKA, M. A. S. et al. Tratamento térmico solar da água para controle de fitopatógenos. **Fitopatologia Brasileira**. v. 28, n. 4, p. 386-393, jul./ago. 2003.

TOMINAGA, M. Y., MIDIO, A. F. Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. **Revista de Saúde Pública**, v. 33, n. 4, p. 413-421, ago. 1999.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA 832-FF-99-064**: wastewater technology fact sheet: ultraviolet disinfection. Washington, 1999.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA 832-FF-99-063**: wastewater technology fact sheet: ozone disinfection. Washington, 1999.

WEGELIN, M. CANONICA, S. MECHSNER, K. et al. Solar water disinfection: scope on the process and analysis of radiation experiments. **Journal of American Water Works association**, v. 43, n. 3, p. 154-169, 1994.

ZAPP, J. **Solar water purification in coffee growers climate**: final project report to UNU. Colômbia: University Tecnológica Pereira, 1988. 55 p.

ANEXO

Tabela: NMP com limite de confiança de 95% para várias combinações de resultados positivos quando 5 tubos são usados para cada diluição (10 ml, 1,0 ml e 0,1 ml)

Combinação de positivos	NMP/100ml	Limites	
		Inferior	Superior
0-0-0	< 2	-	-
0-0-1	2	1.0	10
0-1-0	2	1.0	10
0-2-0	4	1.0	13
1-0-0	2	1.0	11
1-0-1	4	1.0	15
1-1-0	4	1.0	15
1-1-1	6	2.0	18
1-2-0	6	2.0	18
2-0-0	4	1.0	17
2-0-1	7	2.0	20
2-1-0	7	2.0	21
2-1-1	9	3.0	24
2-2-0	9	3.0	25
2-3-0	12	5.0	29
3-0-0	8	3.0	24
3-0-1	11	4.0	29
3-1-0	11	4.0	29
3-1-1	14	6.0	35
3-2-0	14	6.0	35
3-2-1	17	7.0	40
4-0-0	13	5.0	38
4-0-1	17	7.0	45
4-1-0	17	7.0	46
4-1-1	21	9.0	55
4-1-2	26	12	63
4-2-0	22	9.0	56
4-2-1	26	12	65
4-3-0	27	12	67
4-3-1	33	15	77
4-4-0	34	16	80
5-0-0	23	9	86
5-0-1	30	10	110
5-0-2	40	20	140
5-1-0	30	10	120
5-1-1	50	20	150
5-1-2	60	30	180
5-2-0	50	20	170
5-2-1	70	30	210
5-2-2	90	40	250
5-3-0	80	30	250
5-3-1	110	40	300
5-3-2	140	60	360
5-3-3	170	80	410
5-4-0	130	50	390
5-4-1	170	70	480
5-4-2	220	100	560
5-4-3	280	120	690
5-4-4	350	160	820
5-5-0	240	100	940
5-5-1	300	100	1300
5-5-2	500	200	2000
5-5-3	900	300	2900
5-5-4	1600	600	5300
5-5-5	1600	-	-

ESQUEMA DE TUBOS MULTIPLOS ATRAVÉS DO NMP