

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE DESINFECÇÃO SOLAR DE
ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICAS COM ADIÇÃO DE
DIFERENTES DOSES DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO**

THAÍS REGINA ALVES

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP
Setembro - 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE DESINFECÇÃO SOLAR DE
ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICAS COM ADIÇÃO DE
DIFERENTES DOSES DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO**

THAÍS REGINA ALVES

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Máximo Sánchez Román

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP
Setembro – 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

A474e **Alves, Thaís Regina, 1987-**
Eficiência de um sistema de desinfecção solar de águas residuárias domésticas com adição de diferentes doses de peróxido de hidrogênio / Thaís Regina Alves. - Botucatu : [s.n.], 2015
vi, 63 f. : fots. color., grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015
Orientador: Rodrigo Máximo Sánchez Román
Inclui bibliografia

1. Águas residuais - Purificação. 2. Peróxido de hidrogênio. 3. Água - Reutilização. 4. Energia solar na agricultura. I. Sánchez Román, Rodrigo Máximo. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE BOTUCATU
FACULDADE DE CIENCIAS AGRONOMICAS DE BOTUCATU

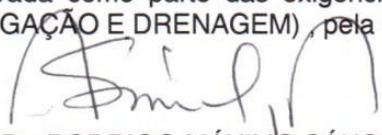
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE DESINFECÇÃO SOLAR DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICAS COM ADIÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO

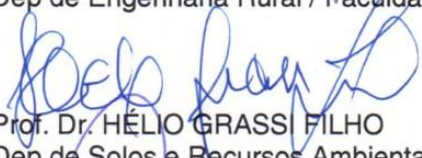
AUTORA: THAÍS REGINA ALVES

ORIENTADOR: Prof. Dr. RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM) pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu



Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO
Dep de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu



Prof. Dr. CLAUDINEI FONSECA SOUZA
Dep de Recursos Naturais e Proteção Ambiental/ UFSCAR

Data da realização: 24 de agosto de 2015.

AGRADECIMENTOS

À toda minha família, especialmente minha mãe, Sandra Regina Contessotto Alves e meu irmão Sylvio José Alves Neto pelo apoio incondicional, mesmo nos momentos mais difíceis.

Ao meu namorado, Jean Elias, pela compreensão, paciência e companheirismo durante todo o período de desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Máximo Sánchez Román, pelos ensinamentos e orientação que tornaram possível o desenvolvimento do presente trabalho.

Ao amigo e colaborador João Gabriel Thomaz Queluz por todo o auxílio prestado durante o desenvolvimento do presente trabalho.

Aos amigos de faculdade e república pelo apoio e pelos momentos de distração.

Ao Prof. Dr. João Francisco Escobedo e ao Prof. Dr. Enzo Dal Pai, pela disponibilização dos dados meteorológicos.

À Profa. Dra. Luzia Aparecida Trinca e à Profa. Dr. Maria Márcia Pereira Sartori pelo auxílio na análise estatística.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudo.

À Agência UNESP de Inovação pelo auxílio financeiro e possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	V
LISTA DE FIGURAS	VI
RESUMO	1
SUMMARY	2
1 INTRODUÇÃO	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Reúso de águas residuárias domésticas na agricultura irrigada	5
2.2 Sistemas de tratamento de águas residuárias domésticas (ARD) em zonas rurais isoladas.....	9
2.3 Sistemas de desinfecção solar	11
2.4 Mecanismos de reparo do DNA.....	13
2.5 A tecnologia sodis.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Localização do experimento	17
3.2 Sistema de tratamento e desinfecção solar.....	17
3.3 Origem do afluentes	18
3.4 Operação do sistema de desinfecção, coleta e análise de amostras	18
3.5 Determinação da radiação solar global, radiação uv e temperatura.....	21
3.6 Análise estatística.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 Caracterização do afluentes	23
4.2 Análise de regressão	26
4.3 Reativação bacteriana	44
5 CONCLUSÕES.....	47
6 REFERÊNCIAS	48
APÊNDICE 1	53

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade da água para reúso.....	8
Tabela 2 - Variáveis avaliadas na água residuária e métodos adotados para análise	20
Tabela 3 - Principais características operacionais dos sensores de radiação.....	21
Tabela 4 - Características do afluente	23
Tabela 5 - Características médias do efluente da SODIS para cada dose de H ₂ O ₂	24
Tabela 6 - Concentração final de <i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹) para cada dose de H ₂ O ₂ na lâmina de 10 cm de ARD tratada.....	24
Tabela 7 - Concentração final de <i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹) para cada dose de H ₂ O ₂ na lâmina de 20 cm de ARD tratada.....	24
Tabela 8 – Médias das variáveis avaliadas em função da dose de H ₂ O ₂	26
Tabela 9 - Médias das variáveis avaliadas em função da Lâmina de ARD.....	26
Tabela 10 - Modelos matemáticos desenvolvidos para cada dose de H ₂ O ₂	27
Tabela 11 - Valores médios de RUV, SST, DQO, pH e Temperatura	31
Tabela 12 - Redução Logarítmica calculada pelos modelos individuais e modelo completo	32
Tabela 13 - Concentrações finais de <i>E. coli</i> (N) calculados pelos modelos matemáticos para diferentes concentrações iniciais de <i>E. coli</i> (No)	33
Tabela 14 - Concentrações Finais de <i>E. coli</i> (N) calculadas pelos modelos individuais a partir de diferentes concentrações iniciais de <i>E. coli</i> (No), nos valores extremos de cada variável.....	34
Tabela 15 - Tempo para desinfecção até níveis desejados para reúso irrestrito na irrigação (<1000 NMP 100mL ⁻¹) nas condições de Botucatu.....	39
Tabela 16 - Tempo para desinfecção até níveis desejados para reúso irrestrito (<1000NMP 100mL ⁻¹) nas condições de Botucatu, para as doses dependentes de pH, em pH=7,1, calculados pelos modelos individuais.	41
Tabela 17 - Tempo para desinfecção até níveis desejados para reúso irrestrito (<1000 NMP 100mL ⁻¹) nas condições de Botucatu calculados pelo modelo completo.....	42
Tabela 18 - Comparação entre tempos para desinfecção até níveis desejados para reúso irrestrito (<1000 NMP 100mL ⁻¹) nas condições de Botucatu calculados por diferentes modelos matemáticos	43
Tabela 19 - Porcentagem de reativação bacteriana 24 e 48 horas após o fim do período de desinfecção para cada dose avaliada com a lâmina de 10cm	45
Tabela 20 - Porcentagem de reativação bacteriana 24 e 48 horas após o fim do período de desinfecção para cada dose avaliada com a lâmina de 20cm	45
Tabela 21 - Dados originais do trabalho	53

Lista de Figuras

Figura 1 - Reator solar com coletor parabólico composto, desenvolvido por Ubomba-Jaswa et al. (2010).	14
Figura 2 - Reator solar com formato de tronco cônico invertido.	18
Figura 3 - Reator solar com lâmina de 10 cm de profundidade.	19
Figura 4 - Reator solar com lâmina de 20 cm de profundidade.	19
Figura 5 - Gráfico de Normalidade dos Resíduos da Redução Logarítmica do modelo desenvolvido para a dose de 0mg L ⁻¹	28
Figura 6 - Gráfico de Normalidade dos resíduos da Redução Logarítmica do modelo desenvolvido para a dose de 50 mg L ⁻¹	28
Figura 7 - Gráfico de Normalidade dos resíduos da Redução Logarítmica do modelo desenvolvido para a dose de 50 mg L ⁻¹	28
Figura 8 - Gráfico de Normalidade dos resíduos da Redução Logarítmica do modelo desenvolvido para a dose de 75 mg L ⁻¹	29
Figura 9 - Gráfico de Normalidade dos resíduos da Redução Logarítmica do modelo desenvolvido para cada dose de 100mg L ⁻¹	29
Figura 10 - Gráfico de Normalidade dos resíduos da Redução Logarítmica do modelo desenvolvido para cada a dose de 125 mg L ⁻¹	29
Figura 11 - Gráfico de Normalidade dos resíduos da Redução Logarítmica calculado pelo modelo completo	30
Figura 12 - Médias de temperaturas do efluente e RUV acumuladas nos horários das coletas.	35
Figura 13 - Médias das Concentrações de <i>E. coli</i> em função do tempo de exposição à RUV.	36
Figura 14 - Concentrações médias de <i>E. coli</i> para cada dose de H ₂ O ₂ em função do tempo de exposição.	38

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de um sistema de desinfecção solar com adição de diferentes doses de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) na desinfecção de águas residuárias domésticas para fins de reúso na agricultura irrigada, usando como parâmetro de qualidade as recomendações da Organização Mundial da Saúde (WHO). Além disso, foi analisada a ocorrência de reativação bacteriana 24 e 48 horas após o fim do processo de desinfecção solar. Foram testadas cinco doses de H_2O_2 (25, 50, 75, 100 e 125 mg L^{-1}) além do grupo controle (0 mg L^{-1}), com seis repetições de cada, em duas lâminas de efluente (10 e 20 cm). Em quatro repetições, as coletas foram feitas em intervalos de cinco horas (8:00, 13:00 e 18:00 h). Nas duas repetições restantes, as coletas foram feitas em intervalos de duas horas (8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 e 18:00 h). Foi desenvolvido um modelo matemático para cada dose avaliada e um modelo geral para todas as doses de H_2O_2 . Os resultados mostram um aumento considerável da eficiência da desinfecção solar com adição de doses de H_2O_2 maiores de 25 mg L^{-1} , com consequente redução no período de exposição necessário para a obtenção de efluente com qualidade para reúso irrestrito na agricultura irrigada. Na maior dose avaliada e nos meses mais quentes do ano, o período de desinfecção chega a ser inferior a um dia, dependendo das demais condições ambientais e do afluente. No grupo controle, esse período chega a ser maior do que três dias. A reativação bacteriana ocorreu em todos os grupos avaliados, exceto para a dose de 125 mg L^{-1} na lâmina de 10cm. Conclui-se, portanto, que o uso de doses controladas de H_2O_2 é capaz de aumentar consideravelmente a eficiência do processo de desinfecção, principalmente na maior dose avaliada. Além disso, o efluente desse tipo de tratamento pode ser destinado à agricultura irrigada para alimentos que serão ingeridos sem cozimento prévio, de acordo com sugestões da WHO (2006).

Palavras-chave: SODIS, reúso de esgoto na agricultura, tratamento de água, peróxido de hidrogênio, reativação bacteriana

EFFICIENCY OF A DOMESTIC WASTEWATER SOLAR DISINFECTION SYSTEM
WITH ADDITION OF DIFFERENT DOSES OF HYDROGEN PEROXIDE. Botucatu,
2015. 62p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de
Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho”.

Author: THAÍS REGINA ALVES

Adviser: RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the efficiency of a solar disinfection system with addition of different doses of hydrogen peroxide to disinfect domestic wastewater for reuse purposes in irrigated agriculture, using as quality parameter the World Health Organization (WHO) recommendations. Furthermore, the occurrence of bacterial reactivation was analyzed 24 and 48 hours after the disinfection process. Five doses of hydrogen peroxide (25, 50, 75, 100 and 125 mg L⁻¹) were tested plus the control group (0 mg L⁻¹), with six replicates of each in two effluent depths (10 and 20 cm). In four replicates, the samples were taken at intervals of five hours (8:00, 13:00 and 18:00 h). The remaining two replicates, samples were taken at intervals of two hours (8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 and 18:00 h). A mathematical model for each dose evaluated and a general model for all doses were developed. The results showed a considerable increase in the efficiency of solar disinfection with the addition of hydrogen peroxide greater than 25 mg L⁻¹, with consequent reduction in the exposure time required to obtaining effluent with quality for unrestricted use in irrigated agriculture. For the highest dose evaluated and in the warmer months of the year, the disinfection period remained below one day, depending on environmental conditions and the affluent's characteristic. In the control group, the period was longer than three days. Bacterial reactivation occurred in all groups except for the 125 mg L⁻¹ dose and 10 cm wastewater depth. It may be concluded that, the use of controlled doses of hydrogen peroxide is capable of considerably increase the efficiency of the disinfection process, especially in the higher dose evaluated. In addition, the effluent of such treatment can be allocated to irrigated agriculture for products that can be eaten uncooked, according to WHO (2006).

Keywords: SODIS, wastewater reuse in agriculture, water treatment, hydrogen peroxide, bacterial reactivation

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável a todas as formas de vida na Terra.

O consumo mundial de água potável tem aumentado significativamente, tentando acompanhar o crescimento populacional. Com esse crescimento, aumenta também o volume de esgoto gerado, cujo tratamento tem um alto custo para os municípios, e sua disposição de maneira inapropriada pode provocar danos ao meio ambiente e à saúde pública.

Aproximadamente 70% da água potável do mundo são consumidas pela agricultura como fonte para a irrigação das culturas (WWAP, 2012). No entanto, o aumento populacional faz com que haja uma realocação da água utilizada na irrigação para abastecer as áreas urbanas. Essa realocação pode provocar déficit de água na agricultura e comprometer o desenvolvimento das culturas e/ou a produção de alimentos.

O Ministério de Meio Ambiente e a Agência Nacional das Águas (MMA/ANA, PNUMA; 2007) previram mudanças estruturais do consumo de água no país nos setores da agricultura, geração de energia e diluição dos esgotos doméstico e industrial, a fim de suprir o aumento da demanda por água recorrente nos últimos anos. A recente crise dos recursos hídricos que ameaça o maior centro populacional do Brasil mostra que essas mudanças não aconteceram de forma positiva salientando a necessidade de se buscar imediatamente alternativas sustentáveis no que se refere ao uso dos recursos hídricos no país.

As companhias de abastecimento de água, por sua vez, são responsáveis pela coleta e tratamento das águas residuárias, bem como pelo destino final da mesma. No entanto, esse tipo de sistema tem um custo elevado de implantação e manejo. Como consequência disso, apenas 48,1% do território nacional apresenta sistema de coleta de esgoto, enquanto apenas 37,5% coletam e tratam o esgoto gerado (SNIS, 2013).

Dados do IBGE/PNAD (2009) mostram que apenas 5,7% da população rural brasileira lançam seus efluentes em redes coletoras de esgoto. Os demais dividem-se entre fossas rudimentares, fossas sépticas ou outras soluções de disposição final, compondo um quadro de riscos de contaminação ambiental à saúde humana que poderiam ser minimizados com a adoção de medidas para o tratamento, desinfecção e disposição final dos efluentes sanitários destas comunidades.

Além disso, as águas residuárias provenientes de uso doméstico, por conter excretas humanas, são ricas em macro e micronutrientes, importantes ao desenvolvimento das culturas. No entanto, podem apresentar agentes patógenos que, uma vez em contato direto ou indireto com o homem, podem causar doenças.

Existem hoje várias metodologias para desinfecção de água residuária, no entanto, a grande maioria delas apresenta um alto custo de implantação e é de difícil manutenção. Tal dificuldade torna-se ainda mais acentuada justamente nas localidades onde é mais necessária devido à escassez de políticas públicas de saneamento básico que efetivamente chegam a comunidades rurais isoladas e de baixa renda.

Portanto, faz-se necessário o desenvolvimento de sistemas de tratamento de água residuária doméstica que apresentem um baixo custo de implantação, sejam de fácil manutenção e, ainda, suficientes para viabilizar o reúso do esgoto tratado na irrigação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Reúso de águas residuárias domésticas na agricultura irrigada

O aumento do consumo de água observado nos últimos anos e o consequente aumento do volume de esgoto gerado fazem da água residuária a única fonte de água que continua a crescer e apresenta a vantagem de estar disponível o ano todo, independentemente das estações do ano e, quando destinada à agricultura irrigada, possibilita aumento da produção anual de alimentos (KERAITA et al., 2008).

Por conta disso, a água residuária tem se tornado uma forte alternativa à questão da baixa disponibilidade de água em determinadas regiões do mundo, substituindo a necessidade crescente de busca por novas fontes de abastecimento de água por parte das companhias de saneamento básico. Trata-se, portanto, de uma fonte alternativa que promove a proteção dos recursos hídricos, aumentando sua disponibilidade para outros fins (GOBBI, 2010; HESPANHOL; PROST, 1994).

O reúso de águas residuárias, como o próprio nome diz, trata-se de dar novos usos à água que já foi utilizada para algum fim. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) divide o reúso em três categorias:

- Reúso indireto não planejado: ocorre quando a água resultante de atividade humana é descarregada no meio ambiente e utilizada novamente a jusante de maneira não intencional e não controlada.
- Reúso indireto planejado: ocorre quando o efluente tratado é descarregado de forma planejada nos corpos d'água para serem utilizadas a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico.

- Reúso direto: ocorre quando o efluente tratado é encaminhado de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregado no meio ambiente.

Existem relatos de reúso de águas residuárias que remontam ao século 19, como é o caso da Cidade do México (FLORENCIO et al., 2006). No entanto, foi apenas nas últimas décadas que essa prática passou a ser acolhida como uma importante ferramenta para o gerenciamento dos recursos hídricos no mundo.

Inicialmente, a falta de estudos a respeito das consequências do reúso e de legislações que regulamentassem essa prática, levaram a aplicações diversas de água residuária, seja ela tratada, em grandes centros populacionais, ou até reúso direto sem tratamento em zonas rurais isoladas.

No entanto, a água residuária doméstica (ARD), por se tratar basicamente de esgoto domiciliar proveniente de banho, higiene pessoal, atividades de cozinha e limpeza da casa, pode apresentar uma alta concentração de agentes patogênicos, como fungos, protozoários, bactérias e ovos de helmintos prejudiciais à saúde humana. Em zonas rurais isoladas, onde há uma escassez de políticas públicas de saneamento básico e até ausência de redes coletoras de esgoto, as práticas de reúso, geralmente destinadas à agricultura, podem resultar em graves riscos ao meio ambiente e à saúde pública.

Por conta disso, diversos órgãos internacionais passaram a desenvolver diretrizes para o reúso seguro de ARD na agricultura, irrigação de áreas públicas e indústria, visando garantir um impacto ambiental mínimo, segurança da saúde pública e a sustentabilidade dos recursos hídricos (USEPA, 2004; WHO, 1989, 2006). No Brasil, existem poucas normas que visam regulamentar o reúso. A Resolução 54, de 28 de Novembro de 2005, e 121 16 de Dezembro de 2010 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentam e estimulam o reúso no País. A Lei nº14018 que trata do Programa Municipal de Conservação e uso racional da água e Reúso em edificações na cidade de São Paulo traz definições e orientações gerais acerca do reúso. Nenhuma delas, no entanto, apresenta critérios pontuais acerca da qualidade da água e concentração de poluentes ou patógenos. Por outro lado, a Normativa NBR 13969 sugere o reúso como destino final de esgotos tratados e, define que, para Reúso na agricultura (pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos) a irrigação deve ser feita através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação

localizada. Nesses casos, a concentração de coliformes fecais deve ser inferior a 5.000 NMP 100mL⁻¹ e a concentração de oxigênio dissolvido deve ser maior que 2,0 mg L⁻¹. A norma em questão determina também que as aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Como consequência dos avanços nos padrões de qualidade nacionais e internacionais, passou-se a estudar diversos tipos de tratamento de ARD que garantissem a qualidade do efluente necessária para o reúso em qualquer atividade que o permita. Muitas vezes, é necessário que haja mais de uma etapa de tratamento até que o efluente atinja os limites desejados (VON SPERLING, 2006)

Geralmente, os sistemas de tratamento de águas residuárias são divididos em: preliminar, primário, secundário e terciário ou pós-tratamento. O tratamento preliminar, responsável pela remoção de sólidos grosseiros e areia, é constituído principalmente por gradeamento e caixas de areia. O tratamento primário promove a remoção de materiais em suspensão sedimentáveis, materiais flutuantes (óleos e graxas) e parte da matéria orgânica em suspensão através de métodos físico-químicos. Nesta etapa, geralmente são empregados floculadores, decantadores primários e peneira rotativa, ou uma combinação delas. O tratamento secundário promove a remoção de matéria orgânica dissolvida e em suspensão, sólidos dissolvidos e finos sólidos suspensos que não decantam através de processos bioquímicos, aeróbios ou anaeróbios. Para isso, pode ser constituído de tanques de aeração, lagoas de estabilização, sistemas alagados construídos, filtros anaeróbios, reatores de manta de lodo, entre outros, ou ainda, uma associação entre os diversos tipos de sistemas existentes. Finalmente, o tratamento terciário, pós-tratamento ou ainda desinfecção, é responsável pela remoção de poluentes específicos que não foram removidos no tratamento secundário, como nutrientes, organismos patogênicos, metais pesados e sais inorgânicos. Esta etapa pode ser feita pelos métodos de cloração, ozonização, radiação ultravioleta, filtração, carvão ativado, entre outros (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2005).

O tipo de sistema empregado em cada etapa deve adequar-se à qualidade esperada do afluente, do efluente e da quantidade diária de esgoto a ser tratado, a fim de garantir a eficiência do processo como um todo.

Entre as diretrizes básicas acerca do reúso existentes, os parâmetros de qualidade da água para reúso mais utilizados mundialmente são aqueles lançados pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006), que estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade da água para reúso

Condições de reúso	Grupo de exposição	CF (Média geométrica - NMP 100 mL ⁻¹)
Irrestrito (irrigação de culturas consumidas cruas, campos de esporte, parques).	Trabalhador, consumidor, Público.	≤ 1000
Restrito (irrigação de culturas que não serão consumidas cruas)	Trabalhador	<10 ⁴ (irrigação sem mecanização) <10 ⁶ (Irrigação mecanizada)
Irrigação de culturas de cereais, industriais, forragem, pastagens ou árvores.	Trabalhador	Nenhum padrão recomendado
Irrigação de culturas que não serão consumidas cruas, sem exposição ao público e trabalhador.	Nenhum	Não aplicável

Onde: CF = Coliformes Fecais. Adaptado de: Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006).

O termo “Coliformes Fecais” apresentado na Tabela 1, tem sido substituído por “Coliformes Termotolerantes”, definidos na Resolução 357/2005 do CONAMA, como bactérias gram-negativas, caracterizadas pela atividade da enzima β -galactosidase, que fermentam a lactose nas temperaturas de 44° - 45°C, com produção de ácido, gás e aldeído, presentes nas fezes humanas ou ambientes sem contaminação fecal. As principais representantes desse grupo são as bactérias *Escherichia coli* (E. coli), também definidas pela resolução 357/2005 como bactérias caracterizadas pela atividade da enzima β -glicuronidase, que produzem indol a partir do aminoácido triptofano. É a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos, onde ocorre em densidades elevadas. Sendo assim, essas bactérias podem ser utilizadas como indicadores de contaminação fecal e, por isso, foram assim designadas para o desenvolvimento do presente trabalho.

Em grandes centros populacionais, o tratamento de águas residuárias é feito pelas companhias de saneamento básico. Nesse contexto, os sistemas de

tratamento são bastante completos e o efluente deve, obrigatoriamente, atingir padrões de qualidade previstos pela legislação brasileira antes de serem encaminhados ao seu destino final, que são os corpos hídricos.

Somado a isso, os tratamentos de efluentes mais comuns usados pelas companhias de saneamento básico tem alto custo de implantação ou ocupam uma área dispendiosa ao produtor rural e nem sempre são eficientes na remoção de agentes patogênicos. Portanto, seria interessante que as comunidades rurais, de forma geral, fossem capazes de tratar isoladamente suas águas residuárias domésticas em pequenas estações de tratamento que apresentem baixo custo de implantação, sejam de fácil manutenção e ainda, eficientes na obtenção de efluentes de boa qualidade para o reúso.

Nos últimos anos, estudiosos da área de saneamento básico buscaram desenvolver sistemas de tratamento que compreendessem algumas dessas características, senão todas. Os sistemas alagados construídos, a desinfecção solar e reatores UASB apresentam-se como alternativas promissoras.

2.2 Sistemas de tratamento de águas residuárias domésticas (ARD) em zonas rurais isoladas

As ARD, por conta de sua origem, são ricas em matéria orgânica, nutrientes e, possivelmente, organismos patogênicos.

Além disso, as ARD assim como a água em geral, têm como característica uma baixa concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) em relação à sua concentração no ar (VON SPERLING, 2007). Por conta disso, sistemas aeróbios de tratamento necessitariam de um processo de oxigenação a fim de garantir a sua eficiência, acarretando gasto com energia e equipamento.

Sendo assim, em comunidades rurais isoladas, os sistemas anaeróbios de tratamento tornam-se mais acessíveis, principalmente no que se refere à disponibilidade de espaço, já que, de maneira geral, são mais compactos que os aeróbios. As fossas sépticas, os filtros anaeróbios, reatores UASB e as lagoas anaeróbias são exemplos desse tipo de sistema.

Esses sistemas anaeróbios são capazes de remover até 70% da matéria orgânica presente no esgoto, sem necessidade de gasto de energia ou adição de substâncias auxiliares, no entanto, dependendo da qualidade esperada do efluente, é necessária a implantação de um pós-tratamento para remoção da matéria orgânica

remanescente e de patógenos, já que ela é pouco efetiva nesses sistemas. Também é resultante desse processo a produção de energia na forma de metano e uma baixa produção de lodo em comparação com os sistemas aeróbios (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Por conta disso, tem-se buscado nos últimos anos o desenvolvimento de metodologias que apresentem a mesma simplicidade dos sistemas anaeróbios, porém maior eficiência na remoção de patógenos, já que grande parte das doenças características de zonas rurais é de veiculação hídrica (CAVALCANTI et al., 2010; SIACCA et al., 2010; JIMENEZ et al., 2000; ACHER et al., 1997).

Os sistemas aeróbios, por sua vez, apresentam maior eficiência na remoção da matéria orgânica (MEDEIROS FILHO et al., 1999). Apesar disso, apresentam uma maior produção de lodo, cujo tratamento é mais dispendioso do que o tratamento de lodos provenientes de sistemas anaeróbios (SAYED, 1987).

As lagoas aeradas, por exemplo, apesar de serem relativamente pequenas, quando comparadas às anaeróbias, necessitam de maquinários eletromecânicos que promovem a aeração do afluente em tratamento. Os sistemas de lodo ativado e as lagoas facultativas são outros exemplos de sistemas aeróbios de tratamento de esgoto, que, infelizmente, devido à sua área extensa, tornam-se onerosas para utilização em zonas rurais (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2005).

Os sistemas alagados construídos e o escoamento superficial também são alternativas de tratamento aplicáveis na região de interesse. Apresentam alta taxa de remoção de DBO, nutrientes e ainda ovos de helmintos e cistos de protozoário, pelo método da filtração. No entanto, podem não ser eficientes na remoção de protozoários e de alguns contaminantes. (O'HOGAIN, 2003; FLORENCIO et al., 2006).

Nota-se, portanto, que a maioria dos sistemas de tratamento passíveis de serem utilizados nas condições rurais, apresenta deficiência na remoção de determinado poluente e, por conta disso, o que se usa em geral são associações de dois ou mais sistemas de tratamento de efluente a fim de garantir sua qualidade final, de forma semelhante ao que é feito em sistemas de tratamento de esgoto em áreas urbanas (GONÇALVES, et al., 2003).

Algumas combinações comumente utilizadas são o tanque séptico seguido de filtro anaeróbio, acentuando a remoção de sólidos em suspensão e de parte da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em uma pequena área ou reatores UASB

seguidos de qualquer forma de pós-tratamento. Neste último, a qualidade final esperada do efluente é a mesma que o pós-tratamento atingiria de forma isolada, no entanto, exige uma área, energia e volume menores e resulta também em menor produção de lodo (FLORENCIO et al., 2006).

Os sistemas de desinfecção solar podem ser empregados como pós-tratamento na remoção de organismos patogênicos, tendo como princípio básico a incidência de radiação solar sobre o efluente. No entanto, não são indicados para remoção de outros poluentes, de forma que devem estar associados a outros sistemas anteriores de tratamento para remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos.

2.3 Sistemas de desinfecção solar

Há décadas, estudiosos buscam compreender a ação da radiação solar sobre a atividade bacteriana.

Desde 1877, sabe-se que a incidência direta de luz solar sobre líquidos ou meios de cultura contaminados com bactérias tem efeito inibidor sobre o crescimento bacteriano (DOWNES E BLUNT, 1877), mas foi somente 1892 que os raios ultravioletas (UV) foram definidos como os verdadeiros responsáveis por esse efeito.

De acordo com Change et al. (1977) citado por Florencio et al. (2006) a luz é uma onda eletromagnética que, quando apresenta comprimentos de onda curtos, assume comportamento corpuscular, na forma de fótons, como é o caso da luz UV. A energia concentrada nesses fótons é inversamente proporcional ao seu comprimento de onda (IQBAL, 1983).

Existem três tipos de radiação ultravioleta, com diferentes comprimentos de onda e, portanto, diferentes níveis de energia. Os raios do tipo UVC apresentam menor comprimento de onda (200 – 280 nm) e, consequentemente, maior energia acumulada. Tal energia é tão alta, que ao atingir a atmosfera terrestre, é absorvida pelas moléculas de oxigênio que utilizam essa energia na formação de ozônio e não chegam a atingir a superfície terrestre (GONÇALVES et al., 2003). Esses raios podem ser produzidos artificialmente e utilizados em processos de desinfecção devido ao seu efeito germicida.

Os raios UVB (280 – 315 nm), por sua vez, apresentam comprimento de onda maior que o UVC e menor energia, de forma que apenas parte dessa radiação é absorvida pela atmosfera e o restante efetivamente atinge a superfície terrestre. No entanto, a energia contida nos fótons da radiação UVB é ainda suficientemente alta para provocar dano a tecidos biológicos.

Por fim, os raios do tipo UVA apresentam maior comprimento de onda que os anteriores (320-400 nm) e menor energia. Sendo assim, esses raios atravessam a atmosfera quase na sua totalidade e atingem a superfície terrestre em uma concentração muito maior que os raios UVB e UVC.

Até poucos anos, acreditava-se que os raios UVA eram inofensivos aos tecidos biológicos devido à sua baixa energia, no entanto, sabe-se hoje que esses raios são responsáveis pela formação de espécies reativas de oxigênio (ROS – Reactive Oxygen Species), como $\text{OH}^\cdot$, H_2O_2 e O_2 , além de provocar danos diretos às células devido à grande concentração em que estão presentes.

A Radiação Solar com comprimentos de onda superiores a 320nm, referente à UVA e luz visível, excita moléculas fotossensíveis presentes do meio, como os ácidos húmicos, ou no interior das células, como o citocromo e a flavina, e promovem a formação de (ROS), que podem apresentar vida curta ($\text{OH}^\cdot$) ou longa (H_2O_2). As ROS de vida curta enfraquecem as membranas e paredes celulares e, quando dentro das células, modificam as bases nitrogenadas e rompem as fitas do DNA, causando sérios danos à célula. Já as ROS de vida longa, conseguem difundir para dentro das células, causando danos como a oxidação de ácidos nucleicos, lipídeos e enzimas ou ainda, dar origem a outras ROS de vida curta. A ação dessas ROS é comumente conhecida como estresse oxidativo e, na SODIS (Solar Disinfection – Desinfecção Solar), atuam de forma a aumentar a eficiência da exposição à Radiação Ultravioleta (RUV) (SPUHLER et al., 2010; MONCAYO-LASSO et al., 2009; FISHER et al., 2008; GONÇALVES et al., 2003; ACRA et al., 1990; IMLAY; STUART, 1986).

Uma vez que a RUV atinge os ácidos nucleicos, a energia presente nesses raios é absorvida pelas bases nitrogenadas pirimídicas do DNA/RNA e provoca rompimento das ligações saturadas entre os pares de bases das fitas complementares. Em seguida, ocorre a dimerização das pirimidinas adjacentes, formando um complexo extremamente estável, que impede o pareamento das fitas complementares e,

consequentemente, a atividade da enzima RNA/DNA-polimerase, interrompendo assim o processo de replicação celular.

A RUV também é capaz de agir sobre proteínas e enzimas presentes no citoplasma e membrana celular, provocando alterações estruturais, como a desnaturação proteica, interferindo no metabolismo da célula (DANIEL; CAMPOS, 1992).

As células bacterianas são consideradas inativadas quando são incapazes de se reproduzir e formar colônias. Sendo assim, a exposição à RUV, conforme descrita acima, pode levar à inativação das bactérias. No entanto, as células de diversas espécies, inclusive as bacterianas, apresentam mecanismos de reparo do DNA, responsáveis por corrigir o efeito mutagênico de diversos agentes externos, como a radiação UV e compostos organoclorados, que podem levar ao recrescimento bacteriano mesmo após a etapa de desinfecção nos sistemas de tratamento de esgoto (SANTOS, 2010).

2.4 Mecanismos de Reparo do DNA

Dois mecanismos de reparo são responsáveis pela recuperação e recrescimento bacterianos: Fotoliase e Reparo por Exclusão de Nucleotídeos.

A Fotoliase é uma enzima que age no escuro, com energia armazenada da radiação solar, desfazendo a dimerização das pirimidinas e refazendo o pareamento das bases nitrogenadas complementares.

O reparo por exclusão de nucleotídeos envolve a ação coordenada de um grande número de proteínas e pode ser dividida em Reparo do Genoma Global (RGG) e Reparo Acoplado a Transcrição (RAT).

O RGG, conforme o nome sugere, age diretamente no genoma, removendo os nucleotídeos lesionados e substituindo-os por um novo. No entanto, esse tipo de mecanismo não reconhece alguns tipos de lesão. O RAT remove lesões apenas na fita transcrita e, assim sendo, atua somente sobre genes ativos (SANTOS et al., 2010). Os mecanismos de reparo podem demorar a agir e, nesses casos, a lesão provocada pode ficar irreparada, levando de fato à morte celular.

2.5 A tecnologia SODIS

Uma vez conhecidos os mecanismos envolvidos na inativação bacteriana pela exposição à radiação solar, os sistemas de Desinfecção Solar, conhecidos como SODIS, foram inicialmente empregados na desinfecção de água para consumo humano (ACRA et al., 1984). Desde então, mais estudos têm sido feitos no sentido de aperfeiçoar esta técnica e aumentar a eficiência do processo.

Inicialmente, o processo de desinfecção de água para consumo era realizado em garrafas de Politereftalato de etileno, popularmente conhecidas como garrafas PET, do tipo incolores a fim de permitir a passagem da luz solar. Nesses casos, o volume de água tratado era limitado pela capacidade da garrafa e pela quantidade de garrafas disponíveis para o tratamento (ACRA et al., 1984; REED et al., 1997).

Ubomba-Jaswa et al. (2010) buscando aumentar a capacidade de tratamento dessa tecnologia, desenvolveu um sistema de tratamento com capacidade de 25 litros aprimorada com um coletor parabólico composto, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1 - Reator solar com coletor parabólico composto, desenvolvido por Ubomba-Jaswa et al. (2010).

Nesse sistema, os autores obtiveram uma redução de 3 a 6 logs na concentração bacteriana em um período de 5 a 7 horas em dias ensolarados. No entanto, em

dias nublados, foi sugerido um período de dois dias de exposição para atingir a completa inativação bacteriana.

Outros estudos avaliaram os efeitos da adição de diferentes compostos químicos na eficiência da desinfecção solar de água para consumo, tendo como indicadores principalmente as bactérias *E. coli* e *Salmonella* sp., e o fungo *Fusarium solani*. Entre estes compostos, estão o sistema Foto-Phenton, que consiste em uma mistura de Fe^{2+} , Fe^{3+} e (H_2O_2) , o H_2O_2 isolado, dióxido de titânio (TiO_2) entre outros (SIACCA et al., 2010; SPUHLER et al., 2010; RINCÓN; PULGARIN, 2007; SICHEL et al., 2009).

A eficiência e facilidade da técnica de desinfecção solar em água para consumo levou estudiosos a avaliar a eficiência da mesma técnica na desinfecção de águas residuárias, buscando um efluente com qualidade para reúso, principalmente na agricultura (GIANNAKIS et al., 2014; POLO-LÓPEZ et al., 2014; QUELUZ; SÁNCHEZ-ROMÁN, 2014; RIZZO et al., 2014; AGULLÓ-BARCELÓ et al., 2013; SÁNCHEZ-ROMÁN, 2007).

Os sistemas de tratamento de água residuária, nesses casos, variaram entre coletores parabólicos compostos (CPC) e reatores solares de concreto.

Em 2007, foi avaliado o efeito da radiação solar direta na desinfecção de águas residuárias. Nesse sistema, as garrafas PET e os CPCs foram substituídos por uma estrutura de concreto de fundo quadrado, com dimensões de 1,5m x 1,5m e 0,4m de profundidade (SÁNCHEZ-ROMÁN et al., 2007). Nesse experimento, os autores constataram que a radiação solar poderia ser empregada na desinfecção bacteriana de águas residuárias, gerando efluente com qualidade suficiente para seu reúso na agricultura irrigada, porém o período de desinfecção poderia ser longo. Além disso, sugeriram que a profundidade da água deveria ser inferior a 0,2m durante o período de desinfecção. No entanto, reatores solares com este formato podem favorecer a formação de sombras, de forma que a desinfecção fica comprometida.

Buscando sanar este problema, Queluz e Sánchez-Román (2014), desenvolveram um sistema de desinfecção solar composto por reatores de concreto com formatos de tronco de cone invertido. Com o intuito de avaliar o efeito do sinergismo entre a radiação e a temperatura, cada reator recebeu uma diferente coloração: branca, preta e concreto. Os resultados indicaram que o uso de diferentes cores não alteram a eficiência da SODIS e que, dependendo da concentração de SST do efluente, o tempo de exposição à

radiação solar necessário para desinfetar o efluente até níveis adequados para o reúso agrícola poderia ser superior a três dias.

Em 1997, Reed et al. evidenciaram a necessidade de ambiente aeróbio a fim de garantir a inativação bacteriana e observaram que quando a inativação se dá nesse tipo de ambiente, com consequente formação de ROS não ocorre recrescimento bacteriano, sugerindo que nesses casos, as lesões causadas pela RUV não foram reparadas, seja pela sua gravidade ou pela elevada quantidade. Portanto, o longo período de exposição necessário à desinfecção sugerido nos estudos citados acima, pode ter como principal causa a baixa concentração de oxigênio dissolvido, característica de efluentes domésticos.

Sendo assim, a adição controlada à esse sistema de espécies reativas de oxigênio como, por exemplo, o H_2O_2 , pode melhorar a eficiência do tratamento de águas residuárias domésticas através da desinfecção solar tanto em relação ao tempo de exposição à radiação solar quanto à taxa de remoção de coliformes.

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência de um sistema de desinfecção solar com formato de tronco de cone invertido, descrito por Queluz; Sánchez-Román (2014) com adição de diferentes doses de H_2O_2 e o possível recrescimento de microrganismos após o período desinfecção.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foi avaliada a eficiência de um Sistema de Desinfecção Solar com adição de diferentes doses de H_2O_2 na remoção de Coliformes Termotolerantes, representados pelas bactérias *Escherichia coli*, em água residuária. O estudo foi realizado de Junho/2014 a Outubro/2014. A viabilidade do reúso desse efluente foi avaliada considerando os padrões de qualidade sugeridos pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006), expostos na Tabela 1.

3.1 Localização do experimento

O sistema de desinfecção solar foi instalado no Sítio Modelo da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, Botucatu/SP, nas coordenadas geográficas 22° 51' 12" Sul e 48° 25' 45" Oeste e altitude de 763 metros acima do nível do mar.

3.2 Sistema de tratamento e desinfecção solar

O sistema de desinfecção solar utilizado foi desenvolvido por Queluz; Sánchez-Román (2014) e é composto por um tanque séptico e três reatores de desinfecção solar. A utilização do tanque séptico, com tempo de retenção hidráulica de 24 horas, retém a parte sólida presente no efluente e inicia o processo biológico de estabilização da matéria orgânica.

O sistema de desinfecção solar é composto por três reatores idênticos ao nível do solo, à base de concreto e coloração preta. Cada reator tem formato de tronco cônico invertido e dimensões de raio maior, raio menor e altura de 1,00 metros, 0,25 metros e 0,30 metros, respectivamente. Essas dimensões implicam em um ângulo de inclinação de $21,8^\circ$ na parede da estrutura, que evita a formação de sombras durante o período de desinfecção solar. A estrutura em questão está representada na Figura 2 e o volume tratado nos reatores pode variar de acordo com a lâmina de ARD em tratamento.



Figura 2 - Reator solar com formato de tronco cônico invertido.

3.3 Origem do Afluente

O afluente utilizado, proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto de Botucatu antes do processo de tratamento (esgoto bruto) foi transportado por carro pipa até área experimental, onde permaneceu armazenado em caixa d'água de 1.000 litros.

3.4 Operação do sistema de desinfecção, coleta e análise de amostras

A fim de avaliar o efeito da adição de espécies reativas de oxigênio nesse sistema, foi estudada a adição de cinco doses de H_2O_2 ao efluente no início do período de desinfecção, além do grupo controle.

O experimento foi dividido em três etapas. Na primeira, a desinfecção solar foi realizada utilizando uma lâmina de efluente de 10 cm de profundidade

(Figura 3), onde foram testadas as cinco concentrações de H_2O_2 (25, 50, 75, 100 e 125 mg L^{-1} de ARD tratada) além do grupo controle (0 mg L^{-1} de ARD tratada). Na segunda, foram utilizadas as mesmas cinco concentrações de H_2O_2 mais o controle, aplicadas em uma lâmina de 20 cm de profundidade (Figura 4).



Figura 3 - Reator solar com lâmina de 10 cm de profundidade.



Figura 4 - Reator solar com lâmina de 20 cm de profundidade.

O efluente, após passar pelo tanque séptico, foi disposto nos reatores de desinfecção solar, onde recebeu a dose pré-definida de H_2O_2 e ficou exposto à radiação

solar por um período de 10 horas (8:00 as 18:00 h). Esse procedimento foi repetido seis vezes para cada concentração de H₂O₂ avaliada.

Em quatro das seis repetições, foram feitas três coletas de amostras de cada reator durante as 10 horas de exposição, sendo a primeira as 8, a segunda as 13 e a terceira as 18 horas. Além disso, para cada repetição, ao final do período de 10 horas, foi coletada uma amostra de 250 ml, armazenada em recipiente opaco em estufa a 37°C a fim de avaliar a reativação microbiana, que foi feita 24 e 48 horas após o armazenamento.

Nas duas repetições restantes, as coletas foram feitas a cada duas horas, totalizando seis coletas por dia (8, 10, 12, 14, 16, 18 horas) para as duas lâminas avaliadas, a fim de melhorar a compreensão a respeito dos acontecimentos nesses intervalos.

As amostras foram coletadas conforme os métodos recomendados pelo Standard Methods 1060B (APHA, 2005) e preservadas de acordo com os métodos definidos pelo Standard Methods 1060C (APHA, 2005). A cada coleta foram retiradas três alíquotas: a primeira para análise da concentração de coliformes termotolerantes (*E. coli*), a segunda para pH, condutividade elétrica e demanda química de oxigênio (DQO) e a terceira para sólidos suspensos totais (SST). Todas as alíquotas para a análise de *E. coli* foram coletadas utilizando-se bolsas plásticas estéreis com capacidade para 100 ml da marca NASCO.

As análises físico-químicas e biológicas de todas as amostras foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP conforme os métodos definidos pela APHA (2005). As análises de SST foram realizadas utilizando-se membranas com porosidade de 0,45 µm (Marca: Millipore).

Na Tabela 2 estão representados os parâmetros avaliados, os métodos utilizados e as referências do Standard Methods (APHA, 2005).

Tabela 2 - Variáveis avaliadas na água residuária e métodos adotados para análise

Variável	Método	Referência
Echerichia coli	Enzyme Substrate Test	SM 9223B
DQO	Closed Reflux, Colorimetric Method	SM 5220D
SST	Total Suspended Solids Dried at 103-105°C	SM 2540D
pH	Eletrometric Method	SM 4500B

SM - Standard Methods (APHA, 2005).

3.5 Determinação da radiação solar global, radiação UV e temperatura

Os dados de radiação solar global e radiação UV incidentes em cada reator foram obtidos na estação meteorológica do Departamento de Engenharia Rural. As principais características dos sensores de radiação utilizados estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Principais características operacionais dos sensores de radiação

Sensores de Radiação		
Tipo	Global	Ultravioleta
Marca	Eppley	Kipp & Zonen
Fator de Calibração	$\pm 6,97 \mu\text{V/Wm}^{-2}$	$211 \mu\text{V/Wm}^{-2}$
Alcance Espectral	305-2800nm	290-400nm
Tempo de Resposta	2s	5ms
Linearidade	$\pm 1\%$	$< 1\%$
Cosseno	$\pm 5\%$	$< \pm 10\%$
Resposta à temperatura	$\pm 1\%$ de -20°C a 40°C	$< \pm 0,1\text{K}$

A temperatura da água nos reatores solares a cada coleta foi determinada utilizando-se um termo-higrômetro da marca Incoterm (Modelo: 7666.02.0.00) com capacidade de leituras na faixa de -50 a $\sim 70^\circ\text{C}$ e precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$.

3.6 Análise estatística

A avaliação da eficiência na redução das concentrações de *E. coli* para cada dose de H_2O_2 foi determinada pelo estudo das variáveis dose de H_2O_2 (mg L^{-1}), dose de radiação global acumulada (MJ m^{-2}), dose de radiação UV acumulada (MJ m^{-2}), temperatura do efluente ($^\circ\text{C}$), DQO (mg L^{-1}), SST (mg L^{-1}), Lâmina d'água (cm) e pH.

Cada variável foi analisada separadamente pelo teste Kruskal-Wallis, uma vez que os dados não são paramétricos e as diferenças foram consideradas significativas para $p < 0,05$. Testes não-paramétricos são empregados quando não é possível afirmar que todos os dados seguem a mesma distribuição e o teste de Kruskal-Wallis pode ser utilizado para comparações entre dois ou mais tratamentos sem controle local (PONTES, 2000). Nesse tipo de análise, a hipótese é de que pelo menos um tratamento seja estatisticamente diferente dos demais. Para isso, os resultados são divididos em *ranks* e não são tratados diretamente em seus valores iniciais. No presente trabalho, portanto, o menor

valor de N observado ocupou o *rank* 1, o segundo menor ocupa o *rank* 2 e assim por diante. No entanto, essa análise não explica o efeito de todas as variáveis independentes sobre a variável resposta e, por isso, seguiu-se com a análise de regressão.

Para comparar a eficiência dos tratamentos na remoção de *E. coli* e as repetições do experimento, a variável resposta utilizada foi a redução logarítmica da população de *E. coli* ($\text{RedLog} = \log(1 / y)$, sendo y a razão entre a população remanescente (N) de *E. coli* após o período de desinfecção e a população inicial (N_0) ($y = N/N_0$)). Os dados foram avaliados através da análise de regressão no software estatístico StatGraphics Centurion XVI (versão 16.1.15). Os modelos matemáticos de regressão múltipla foram ajustados e comparados separadamente por dose e para todas as doses. O parâmetro adotado para a comparação entre modelos ajustados foi a análise de variância. As diferenças estatísticas entre os modelos foram consideradas significativas para $p < 0,05$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do afluente

A água residuária a ser tratada nos reatores solares passou por tratamento preliminar em tanque séptico. As características do efluente do tanque séptico e, portanto, do afluente dos reatores solares, encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Características do afluente

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
<i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹)	3 x 10 ⁴	2,42 x 10 ⁷	7,16 x 10 ⁵	5,64 x 10 ⁶
SST (mg L ⁻¹)	29,0	143,0	88,3	20,1
DQO (mg L ⁻¹)	221,0	511,0	359,4	63,27
pH	6,1	9,3	6,8	0,674
T (°C)	15,9	26,6	20,9	2,818

DQO – Demanda Química de Oxigênio; SST – Sólidos Suspensos Totais; T - Temperatura

É característica comum de efluentes de tanque séptico concentrações de DQO, SST e *E. coli* entre 400 - 450 mg L⁻¹, 100 - 150 mg L⁻¹ e 10⁷ a 10⁸ *E. coli* 100 mL⁻¹, respectivamente (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2006). Os dados da Tabela 4 mostram um efluente com características melhores do que a esperada.

As características do efluente do sistema de desinfecção solar encontram-se na Tabela 5 para as duas lâminas avaliadas.

Tabela 5 - Características médias do efluente da SODIS para cada dose de Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂)

Dose H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹)	SST (mg L ⁻¹)	DQO (mg L ⁻¹)	pH (mg L ⁻¹)	Temperatura (°C)
0	62,54	329,64	7,00	26,93
25	74,00	326,42	7,32	26,04
50	68,89	330,22	7,08	26,83
75	71,83	391,00	7,11	26,18
100	67,64	353,18	6,99	24,66
125	73,58	349,50	7,12	25,08

A redução na concentração de SST durante o processo de desinfecção solar, embora não seja exatamente o foco desse tipo de tratamento, é bem-vinda, uma vez que a redução da concentração desse componente aumenta a eficiência do processo, conforme sugerido por Queluz; Sánchez-Román (2014) e pode ser explicado pela deposição dos sólidos de maior densidade no fundo dos reatores solares, alterando assim as características físico-químicas do efluente. De maneira semelhante, a redução da concentração de matéria orgânica, apresentada na forma de DQO, pode ser consequência da sua deposição no fundo dos reatores ou do seu consumo pelas bactérias presentes nesse efluente (VON SPERLING et al., 2003).

Os dados de concentração final de *E. coli* se encontram nas Tabelas 6 e 7, para as lâminas de 10 e 20 respectivamente.

Tabela 6 - Concentração final de *E. coli* (NMP 100 mL⁻¹) para cada dose de H₂O₂ na lâmina de 10 cm de ARD tratada

Dose H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
0	1,97 x10 ⁴	3,17 x10 ⁵	7,23 x10 ⁴	1,20 x 10 ⁵
25	1,53 x10 ⁴	9,87 x10 ⁴	3,23 x10 ⁴	3,21 x10 ⁴
50	2,00 x10 ²	1,41 x10 ⁵	2,55 x10 ³	5,65 x10 ⁴
75	1,00 x10 ²	3,45 x10 ³	7,60 x10 ²	1,58 x10 ³
100	3,88 x10 ²	1,12 x10 ⁴	2,05 x10 ³	4,14 x10 ³
125	5,20 x10 ¹	1,03 x10 ³	3,11 x10 ²	4,09 x10 ²

Tabela 7 - Concentração final de *E. coli* (NMP 100 mL⁻¹) para cada dose de H₂O₂ na lâmina de 20 cm de ARD tratada

Dose H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
0	5,61 x10 ⁴	7,40 x10 ⁴	8,76 x10 ⁴	1,38 x10 ⁵
25	4,65 x10 ⁴	1,60 x10 ⁵	7,18 x10 ⁴	4,27 x10 ⁴
50	1,00 x10 ²	1,61 x10 ⁴	1,14 x10 ³	6,21 x10 ³
75	1,00 x 10 ²	3,45 x 10 ³	5,53 x 10 ²	1,54 x10 ³
100	4,10 x10 ¹	1,59 x10 ⁴	1,07x10 ³	6,47 x10 ³
125	1,00 x10 ¹	2,30 x10 ³	9,49 x10 ¹	9,07 x10 ²

As médias amostradas nas Tabelas 6 e 7 sugerem que apenas as doses de 75 e 125 mg L⁻¹ de H₂O₂, foram capazes de gerar efluentes adequados ao reúso irrestrito, de acordo com as diretrizes da WHO (2006), viabilizando assim seu uso na irrigação de alimentos que serão consumidos crus. Enquanto isso, os efluentes tratados pelas doses de 50 e 100 mg L⁻¹ podem ser destinados à irrigação restrita, que inclui alimentos que não serão consumidos crus e cujo manejo da irrigação seja mecanizado. As doses de 0 e 25, por outro lado, geraram efluentes com qualidade apenas para irrigação mecanizada de culturas que não serão ingeridas cruas.

É importante atentar-se para o sistema de irrigação escolhido, uma vez que a sugestão da irrigação mecanizada tem como objetivo reduzir a exposição do trabalhador à possíveis agentes patogênicos. A irrigação por aspersão, por exemplo, apesar de ser mecanizada, apresenta um elevado risco de contaminação já que libera esses patógenos, quando presentes, diretamente no ar e os coloca prontamente em contato com o público (CAVINATTO; PAGANINI, 2007; PAGANINI, 2003)

No entanto, tratam-se de valores absolutos de *E. coli* em função da dose de H₂O₂, que desconsideram a dose de RUV, importante para o processo de desinfecção solar. Apesar disso, seria esperado que a dose de 100 mg L⁻¹ apresentasse comportamento intermediário entre as doses de 75 e 125 mg L⁻¹ de forma a gerar um efluente com característica também intermediária. Conforme será discutido mais adiante, a temperatura tem relação positiva com o processo de desinfecção, de modo que, o aumento da temperatura leva a uma melhora na eficiência do processo de desinfecção solar. A análise da Tabela 5 permite notar que, entre as médias de temperaturas observadas no período de experimento, a menor delas foi justamente aquela referente às doses de 100 mg L⁻¹, o que pode explicar o comportamento anormal da concentração final de *E. coli* nesse tratamento.

De todos os parâmetros avaliados neste trabalho, apenas a dose de H₂O₂ e a lâmina de efluente eram controlados pelo pesquisador, enquanto os demais eram medidos a fim de avaliar a sua contribuição para o processo de desinfecção solar. Por isso, cada parâmetro foi avaliado separadamente em relação à dose de H₂O₂ e à lâmina de efluente. Os resultados estão nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 – Médias das variáveis avaliadas em função da dose de H₂O₂

Dose H ₂ O ₂	y (N/No)	T (°C)	DQO (mg L ⁻¹)	pH	SST (mg L ⁻¹)
0	0,440a	27,38	320,7a	6,85	74,2a
25	0,310a	26,95	324,8a	7,04	80,92a
50	0,280b	26,83	332,7c	6,72	75,41a
75	0,255b	26,20	373,6c	6,79	81,27d
100	0,265b	25,50	352,4c	6,75	80,04d
125	0,251b	25,74	358,0c	6,84	83,44d

a: n.s. b: p<0,0001; c: p<0,005; d: p<0,01.

Tabela 9 - Médias das variáveis avaliadas em função da Lâmina de ARD

Lâmina	y (N/No)	T(°C)	DQO (mg L ⁻¹)	pH	SST (mg L ⁻¹)
10	0,284	26,79	378,21	7,01	83,81
20	0,297	26,14	310,77*	6,66*	74,59*

*p<0,0001

A análise da Tabela 8 permite inferir que a temperatura da ARD em tratamento não sofreu alterações significativas para cada dose de H₂O₂ avaliada. Enquanto isso, DQO e SST apresentaram diferenças estatísticas em função da dose avaliada e da lâmina. O pH, apesar de não ter apresentado diferença estatisticamente significativa entre as doses de H₂O₂, apresentou diferença entre as lâminas avaliadas. Tal fato pode ser resultante apenas da diferença de pH do afluente que foi tratado em cada lâmina, já que os testes com as lâminas de 10 e 20 cm foram feitos em dias diferentes e com efluentes distintos. Os valores de y (N/No), conforme hipótese que deu origem ao presente experimento, apresentou diferença estatisticamente significativa nas doses de 50, 75, 100 e 125 mg L⁻¹. Não houve diferença entre a dose de 25 mg L⁻¹ e o controle, sugerindo que esta dose é muito baixa para acentuar o efeito da desinfecção solar. Apesar de seu uso não ser o mais indicado frente às demais opções, o modelo matemático desenvolvido para esta dose será discutido mais adiante.

4.2 Análise de Regressão

Ao contrário da análise estatística pelo método de Kruskal-Wallis, a análise de regressão é capaz de avaliar a influência de diversos parâmetros, sobre determinada variável resposta. Sendo assim, a análise de Regressão Múltipla foi empregada para avaliar a importância das variáveis estudadas sobre a Redução Logarítmica (Redlog)

da concentração de *E. coli* e, com isso, foram gerados modelos matemáticos para cálculo da Redlog e da concentração final de *E. coli* (N). Os modelos desenvolvidos para cada dose de H₂O₂ individualmente estão apresentados na Tabela 10, assim como o modelo completo, que representa todas as doses.

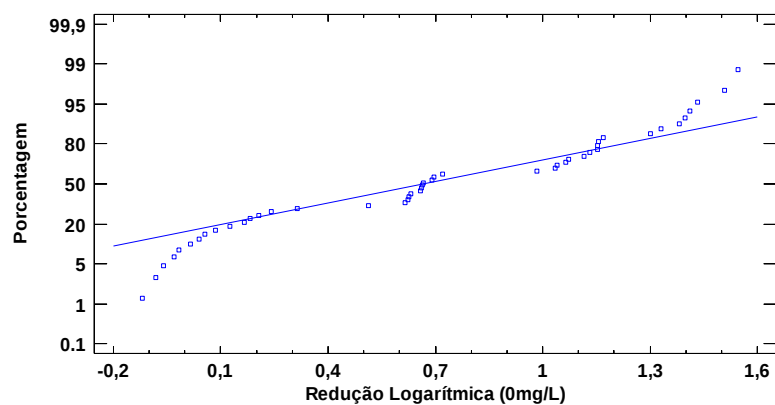
Tabela 10 - Modelos matemáticos desenvolvidos para cada dose de H₂O₂

Dose H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹)	Modelos Matemáticos	R ²
0	$N = \frac{No}{10^{(-0,484774+0,00153577*DQO+1,32778*RUV)}}$	0,85
25	$N = \frac{No}{10^{(-4,31191+0,0069884*DQO+0,05609*L+1,50548*RUV+0,0599724*T)}}$	0,76
50	$N = \frac{No}{10^{(-5,9373+0,583626*pH+2,58142*RUV+0,113059*T)}}$	0,84
75	$N = \frac{No}{10^{(-6,53434+0,00934971*DQO+1,13214*RUV-0,0243605*SST+0,258597*T)}}$	0,87
100	$N = \frac{No}{10^{(-3,1483-0,0753219*L+0,622523*RUV-0,0143549*SST+0,284827*T)}}$	0,81
125	$N = \frac{No}{10^{(-16,8626+1,70368*pH+0,413092*RUV+0,306792*T)}}$	0,86
Completo	$N = \frac{No}{10^{(-0,039072-0,0341123*D+1,6121*RUV+0,00199187*D*T)}}$	0,80

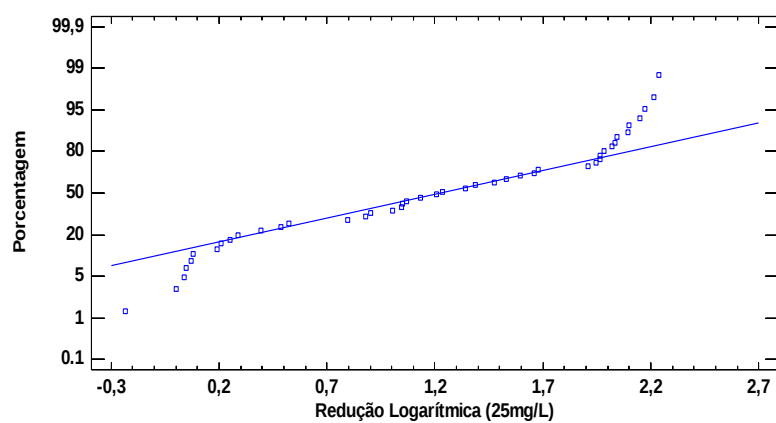
Onde: N = População remanescente de *E. coli* após o período de desinfecção solar (NMP 100mL⁻¹); No = População inicial de *E. coli* (NMP 100mL⁻¹); DQO = Demanda Química de Oxigênio (mg L⁻¹); RUV = Radiação UV (MJ m⁻²); SST = Sólidos Suspensos Totais (mg L⁻¹); L = Lâmina de efluente tratada (cm); T = Temperatura do efluente (°C); D = Dose de H₂O₂ (mg L⁻¹).

A fim de avaliar a qualidade dos modelos desenvolvidos, além do valor de R², apresentado na Tabela 10, é importante avaliar os gráficos de Probabilidade Normal dos dados dos modelos, apresentados nas Figuras 5 a 11. A Probabilidade Normal diz se os resíduos do modelo desenvolvido seguem distribuição normal.

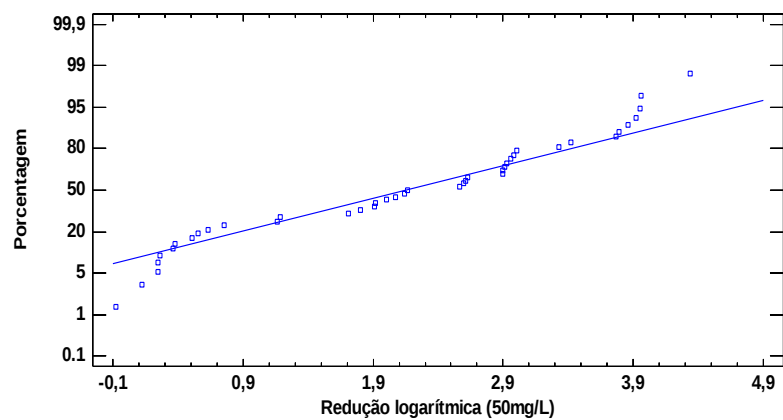
Probabilidade Normal

desenvolvido para a dose de 0mg L⁻¹

Probabilidade Normal

desenvolvido para a dose de 25 mg L⁻¹

Probabilidade Normal

desenvolvido para a dose de 50 mg L⁻¹

Probabilidade Normal

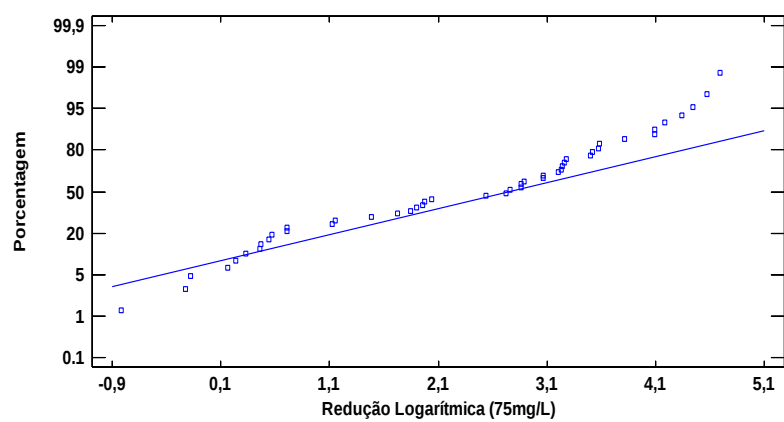
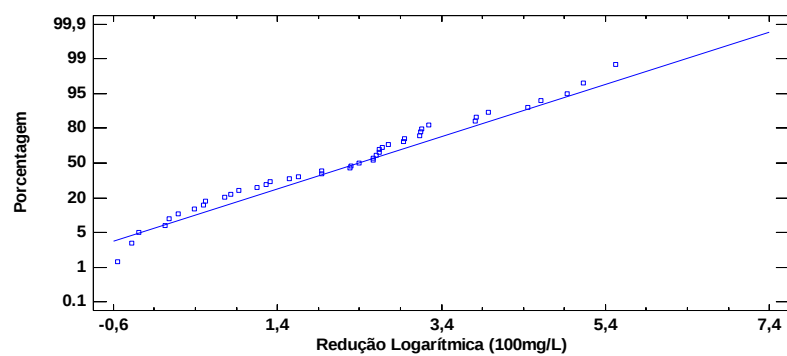
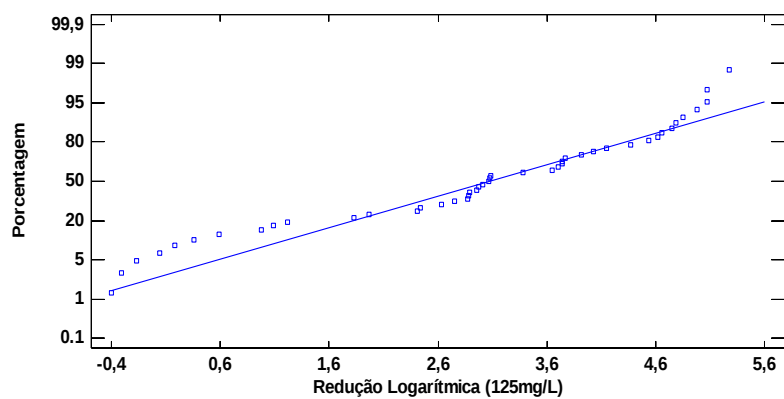
desenvolvido para a dose de 75 mg L⁻¹

Gráfico de Probabilidade Normal

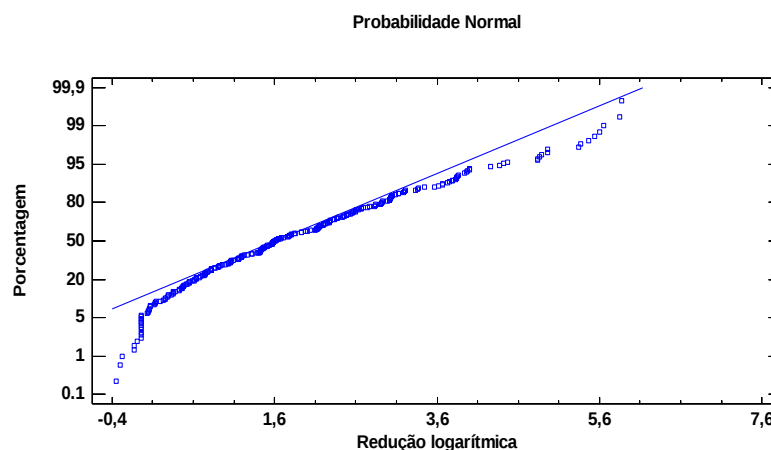
desenvolvido para cada dose de 100mg L⁻¹

Probabilidade Normal

desenvolvido para cada a dose de 125 mg L⁻¹

A análise dos gráficos presentes nas Figura 5 a 10 permite notar que os resíduos distribuem-se igualmente sobre a reta e, portanto, os resíduos dos modelos individuais seguem distribuição normal.

Na Figura 11 observa-se o gráfico de Probabilidade Normal para o modelo completo.



Fi

modelo completo

Na Figura 11 nota-se que os resíduos do modelo completo não distribuem-se sobre a reta e, portanto, não seguem distribuição normal. A fim de avaliar a importância desse dado, foram criados diferentes cenários que comparam os cálculos realizados pelos modelos completo e individuais. Esses dados serão apresentados mais adiante.

Trabalhos anteriores, realizados sem adição de H_2O_2 e, portanto, para a dose 0 mg L^{-1} , sugerem modelos matemáticos diferentes para o cálculo da concentração final de *E. coli*. Para Sánchez-Román et al. (2007), esse cálculo depende apenas da radiação solar e da lâmina de efluente empregada, enquanto para Queluz e Sánchez-Román (2014) o cálculo depende da radiação solar e da concentração de sólidos suspensos totais, uma vez que nesse último, foi avaliada apenas a lâmina de 10 cm.

O trabalho realizado por Sánchez-Román et al. (2007) sugere que a lâmina de efluente não deve exceder 20 cm. Por conta disso, no presente trabalho, as lâminas avaliadas foram de 10 e 20 cm apenas e possivelmente essa é a razão para a lâmina não ter

se apresentado como uma variável explicativa importante para todas as doses avaliadas. O Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia de Água (EAWAG, 2002) sugere que em profundidades superiores a 10 cm ocorre perda de 50% dos raios UVA e que, por isso, a lâmina máxima aplicada para a SODIS não deveria exceder esse valor. Apesar disso, a influência da profundidade foi percebida de maneira mais objetiva apenas nas análises de reativação bacteriana, e não diretamente sobre os resultados de concentração final de *E. coli*. Mesmo assim, a opção pelo uso da lâmina de 20 cm de efluente deve ser feita com certa cautela.

A diferença entre os modelos desenvolvidos no presente trabalho para o grupo controle e o de Queluz; Sánchez-Román (2014) no entanto, pode ser justificado pelo fato de que a DQO, quando de natureza húmica ou de compostos não saturados, pode atuar de forma semelhante aos SST, bloqueando a passagem de luz ou absorvendo-a e impedindo a ação da mesma sobre o DNA bacteriano (USEPA, 1999). De acordo com Von Sonntag et al. (2004), a DQO também pode influenciar na eficiência da SODIS, já que reage com ROS livres no ambiente aquático, diminuindo assim sua concentração no efluente e reduzindo seu efeito nocivo sobre as bactérias que se busca inativar.

Exceto pelo grupo controle, representado pela dose 0 mg L^{-1} , todos os modelos desenvolvidos apresentam mais de três variáveis, dificultando a representação gráfica do comportamento da variável resposta. Por conta disso, esse comportamento será avaliado através do estudo de cenários apresentados em tabelas mais adiante no texto.

Para isso, os valores médios de RUV, SST, DQO, pH e Temperatura, apresentados na Tabela 11, foram utilizados para calcular os valores de N através dos modelos individuais e do modelo completo, para que fosse possível comparar os resultados obtidos pelos dois cálculos, apresentados na Tabela 12.

Tabela 11 - Valores médios de RUV, SST, DQO, pH e Temperatura

Variáveis	No (NMP 100mL^{-1})	RUV (MJ m^{-2})	DQO (mg L^{-1})	SST (mg L^{-1})	pH	T ($^{\circ}\text{C}$)
Médias	$2,8 \times 10^6$	0,91	344,04	79,3	6,84	26,39

Os valores médios de cada variável foram calculados usando todos os dados obtidos durante o período de coleta e desenvolvimento do presente projeto. Na Tabela 12, para as doses de 25 e 100, cujos cálculos são dependentes da Lâmina de ARD, os resultados foram calculados separadamente para cada lâmina (10 e 20 cm).

Tabela 12 - Redução Logarítmica calculada pelos modelos individuais e modelo completo

Dose H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹)	Redução Logarítmica da Concentração de <i>E. coli</i>	
	Modelo individual	Modelo completo
0	1,249	1,425
25 (Lam 10cm)	1,576	1,886
25 (Lam 20cm)	2,137	1,886
50	3,384	2,348
75	2,604	2,809
100 (Lam 10cm)	3,043	3,271
100 (Lam 20cm)	2,290	3,271
125	3,265	3,733

RUV acumulada: 0,91 MJ m⁻².

A análise da Tabela 12 permite observar que, embora os resíduos do modelo completo não tenham apresentado distribuição normal, os valores de Redução Logarítmica calculados pelos modelos individuais e completo são bastante próximos. Sendo assim, este último poderia ser utilizado para calcular o tempo de exposição para a desinfecção até o nível desejado.

Em trabalho realizado com reatores parabólicos compostos (CPC), foi constatada a possibilidade de remover até 5.3 logs de *E. coli* em sistemas de desinfecção solar de águas residuárias com adição de doses de 20 e 50 mg L⁻¹ de H₂O₂ (AGULLÓ-BARCELÓ et al., 2013). Em dado experimento, foi utilizado efluente com tratamento secundário da rede municipal e, portanto, apresentava concentrações de DQO e *E. coli* inferiores às do efluente utilizado no presente trabalho. O pH médio observado em tal experimento, de 7,3 e portanto, de caráter básico, também pode ter favorecido o processo de desinfecção, conforme será discutido mais adiante. Somado ao tipo de reator solar utilizado, esses dados podem ser a razão pela qual os resultados encontrados no presente trabalho diferem do exposto por esses autores, uma vez que a dose de 25 mg L⁻¹ não apresentou diferença estatisticamente significativa em relação ao grupo controle, enquanto as demais doses o fizeram. Além disso, os dados da Tabela 12 apresentam a Redução Logarítmica de *E. coli* calculada pelo modelo. O valor máximo obtido para esse parâmetro durante o período de experimento foi de 5,585 log na dose de 125 mg L⁻¹ de H₂O₂, mostrando que o aumento da dose para concentrações superiores a 50 mg L⁻¹ é favorável ao processo de inativação bacteriana e, portanto, à desinfecção solar propriamente dita.

As concentrações iniciais médias, mínimas e máximas de *E. coli* (No) obtidas durante o período de coletas foram utilizadas para calcular as concentrações finais de *E. coli* (N) possíveis de serem obtidas de acordo com os modelos desenvolvidos. Os valores de N calculados estão da Tabela 13. Os demais parâmetros necessários para esse cálculo foram os mesmos apresentados na Tabela 11.

Tabela 13 - Concentrações finais de *E. coli* (N) calculados pelos modelos matemáticos para diferentes concentrações iniciais de *E. coli* (No)

Dose H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹)	No = 3x10 ⁴		No = 2,84x10 ⁶		No = 2,42x10 ⁷	
	Individual	Completo	Individual	Completo	Individual	Completo
0	5,82x10 ³	5,06x10 ³	5,51 x10 ⁵	4,79 x10 ⁵	4,70 x10 ⁶	4,09 x10 ⁶
25(Lam10cm)	3,24x10 ³	1,75x10 ³	3,07 x10 ⁵	1,66 x10 ⁵	2,61 x10 ⁶	1,41 x10 ⁶
25(Lam20cm)	8,90x10 ² *	1,75 x10 ³	8,42 x10 ⁴	1,66 x10 ⁵	7,18 x10 ⁵	1,41 x10 ⁶
50	1,37x10 ² *	6,04 x10 ² *	1,30 x10 ⁴	5,72 x10 ⁴	1,11 x10 ⁵	4,88 x10 ⁵
75	2,14x10 ² *	2,09 x10 ² *	2,03 x10 ⁴	1,98 x10 ⁴	1,73 x10 ⁵	1,68 x10 ⁵
100(Lam10cm)	2,72x10 ¹ *	7,22 x10 ¹ *	2,57 x10 ³	6,83 x10 ⁴	2,19 x10 ⁴	5,82 x10 ⁴
100(Lam20cm)	1,54x10 ² *	7,22 x10 ¹ *	1,46 x10 ⁴	6,83 x10 ⁴	1,24 x10 ⁵	5,82 x10 ⁴
125	2,39x10 ¹ *	2,49 x10 ¹ *	2,26 x10 ³	2,36 x10 ⁴	1,93 x10 ⁴	2,01 x10 ⁴

RUV acumulada: 0,91MJ m⁻².

*Concentrações finais de *E. coli* dentro dos padrões de qualidade sugeridos para fins de reúso irrestrito na agricultura irrigada. Valores de N e No expressos em NMP 100mL⁻¹.

A análise da Tabela 13 permite observar que os padrões de qualidade sugeridos pela WHO (2006) para irrigação de culturas que serão consumidas cruas somente foram contemplados nas menores concentrações iniciais de *E. coli*. A qualidade do efluente necessária para irrigação mecanizada irrestrita, por outro lado, foi contemplado para todas as doses de H₂O₂, para todos os No e em todas as lâminas consideradas. No entanto, esses valores consideraram apenas concentrações médias de RUV, DQO, SST, Temperatura e pH, fatores que interferem diretamente na qualidade do efluente gerado. Por isso, na Tabela 14 estão demonstradas as concentrações finais de *E. coli*, calculadas utilizando-se os valores observados desses parâmetros, que seriam maior dose de RUV, DQO, pH e Temperatura e menor concentração de SST, sendo eles: 1,22567 MJ m⁻²; 531 mg L⁻¹; 9,3; 38,4°C e 32 mg L⁻¹, respectivamente. Na Tabela 14 estão apresentados os resultados calculados pelos modelos individuais.

Tabela 14 - Concentrações Finais de *E. coli* (N) calculadas pelos modelos individuais a partir de diferentes concentrações iniciais de *E. coli* (No), nos valores extremos de cada variável

Dose H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹)	Concentrações finais de <i>E. coli</i> (N) calculados pelos modelos individuais		
	No=3x10 ⁴	No=2,84x10 ⁶	No=2,42x10 ⁷
0	3,3x10 ² *	3,1x10 ⁴	2,7x10 ⁵
25 (Lam 10cm)	2,6*	2,4x10 ² *	2,1.10 ³
25 (Lam 20cm)	7,1x10 ⁻¹ *	6,7x10 ¹ *	5,7x10 ² *
50	3,0x10 ⁻³ *	2,9x10 ⁻¹ *	2,4*
75	3,2x10 ⁻⁵ *	3,0x10 ⁻³ *	2,6x10 ⁻² *
100(Lâm10cm)	1,4x10 ⁻³ *	0,130*	1,11*
100(Lâm20cm)	7,8x10 ⁻³ *	0,736*	6,27*
125	1,6x10 ⁻⁷ *	0,0000153*	1,3x10 ⁴ *

RUV acumulada: 0,91MJ m⁻².

*Concentrações finais de *E. coli* dentro dos padrões de qualidade exigidos para fins de reúso irrestrito na agricultura irrigada. Valores de N e No expressos em NMP 100mL⁻¹.

Os dados apresentados na Tabela 14 enfatizam a importância das características físico-químicas da ARD a ser tratada e a influência que esses dados apresentam sobre a eficiência da desinfecção solar e, conseqüentemente, da qualidade do efluente gerado no processo de desinfecção. Neste último cenário, apenas as doses 0 e 25 mg L⁻¹ na maior concentração inicial de *E. coli* não foram capazes de gerar efluente dentro dos padrões de qualidade sugeridos para reúso irrestrito. Para a dose de 25mg L⁻¹, ainda é possível fazer o reúso na irrigação não mecanizada de culturas que não serão consumidas cruas, enquanto a dose 0 mg L⁻¹ gera um efluente apenas com qualidade suficiente para reúso restrito com sistema de irrigação mecanizada. As demais doses, mesmo na maior concentração inicial de *E. coli*, atingiram o padrão de qualidade para reúso irrestrito.

A temperatura do efluente, em especial, apresentou variações diárias interessantes, possíveis de serem diretamente relacionadas a outras variáveis importantes para o processo. A Figura 12 mostra as médias de temperatura nos horários de cada coleta e as médias de RUV acumuladas nos mesmos períodos. Para a elaboração dessa figura, foram consideradas as coletas apenas da terceira etapa do experimento, a fim de padronizar os dados e evitar variações sazonais de temperatura, já que a primeira e segunda etapas foram realizadas no inverno e a terceira no final do outono. Seria possível utilizar apenas os dados da primeira ou da segunda etapa sem causar prejuízo à avaliação dos dados. A opção pela

terceira etapa se deu pelo menor intervalo entre os períodos de coleta, que são de apenas duas horas, que permite um maior entendimento do que se busca avaliar.

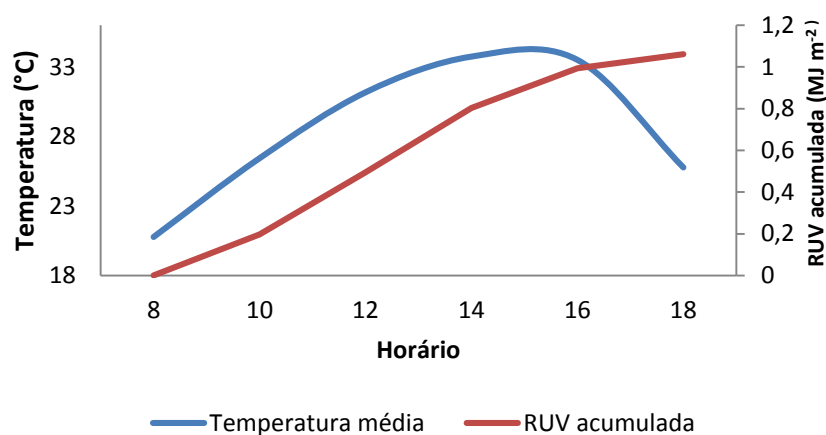


Figura 12 – Médias de temperaturas do efluente e RUV acumuladas nos horários das coletas.

A análise da Figura 12 permite observar que, mesmo com o aumento constante de RUV acumulada, a temperatura média passa a diminuir depois das 16 horas, de forma que o pico de temperatura ocorre entre as 12 e 16 horas. Seria esperado que, enquanto houvesse RUV incidindo sobre os reatores solares, a concentração final de *E. coli* continuasse a decrescer. No entanto, conforme é possível observar na Figura 13 a concentração de *E. coli* tem suas concentrações mínimas no período das 12 às 14 horas, a partir do qual, a concentração de coliformes retoma seu crescimento, mesmo que discreto, mas sem afetar o produto final, conforme explicado na Tabela 14.

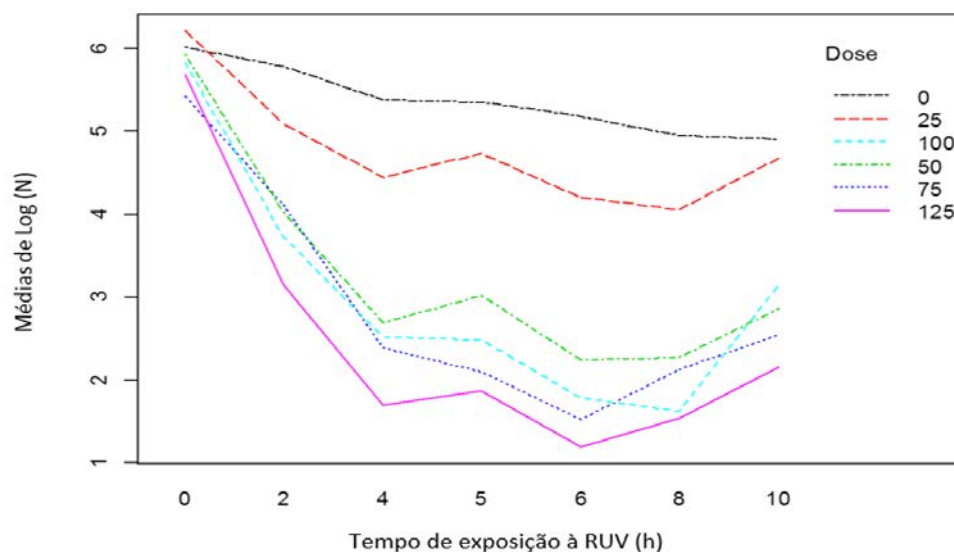


Figura 13 – Médias das Concentrações de *E. coli* em função do tempo de exposição à RUV.

Esse comportamento acontece de forma bastante semelhante à evolução da temperatura nos reatores, sugerindo que a eficiência do processo de desinfecção é extremamente dependente da temperatura do efluente. Esse fato pode ser evidenciado pela presença da variável “Temperatura” em todos os modelos desenvolvidos, exceto para aquele que representa o grupo controle. Assim, o Verão se apresenta como uma época propícia ao emprego da SODIS-H₂O₂, coincidindo também com a temporada de plantio de diversas culturas presentes na alimentação básica do brasileiro. Outros pesquisadores já estudaram relação da temperatura com a RUV no processo de desinfecção solar e identificaram uma sinergia entre esses fatores apenas em temperaturas acima de 45°C (MCGUIGAN et al., 1998; WEGELIN et al., 1994).

Esses dados diferem dos encontrados no presente trabalho e a causa dessa diferença pode se encontrar no equilíbrio químico do H₂O₂ frente às variações de temperatura.

Giannakis et al. (2014) evidenciaram o efeito sinérgico da RUV e da temperatura do efluente na desinfecção solar de água para consumo, considerando ideal uma RUV de 1200W m² e temperatura de 60°C. Nas condições do referido estudo, o tempo para desinfecção completa foi de 30 minutos, período muito inferior ao calculado e observado no presente trabalho. Vários motivos podem ter provocado essa diferença entre os resultados. O primeiro deles seria a composição da água tratada nesse experimento, que era de origem sintética para fins de consumo humano, preparada apenas para realização do

estudo. Além disso, os reatores empregados eram cilíndricos, compostos de vidro, com temperatura controlada artificialmente. O efluente em tratamento era agitado constantemente. Todos esses fatores podem ter influenciado a eficiência do processo, principalmente a temperatura, uma vez que foi constatada necessidade de temperatura de 60°C, temperatura recomendada no processo de pasteurização, inviável quando a única fonte de calor é o próprio Sol, conforme proposto pelo princípio da desinfecção solar. Embora a eficiência do reator em questão pareça adequada, a necessidade de emprego de energia elétrica para aquecimento e agitação dos reatores reduz a aplicabilidade do mesmo para fins de tratamento de ARD em zonas rurais isoladas e de baixa renda, onde constantemente falta energia elétrica e recursos financeiros. Em contrapartida, os resultados obtidos no presente experimento sugerem que a adição de H_2O_2 é capaz de garantir efluente de boa qualidade para reúso irrestrito na agricultura irrigada, mesmo quando a temperatura não ultrapassa os 40°C.

As variações de pH parecem provocar um comportamento semelhante sobre as concentrações finais de *E. coli*. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA; 2005), em pH mais elevado, a decomposição do H_2O_2 é mais acelerada, justificando assim o maior efeito de desinfecção solar em pH básico.

A partir disso, é possível inferir que pH e temperaturas mais elevadas aumentam a eficiência do processo de desinfecção, conforme sugerido pelos modelos matemáticos individuais desenvolvidos para as doses de H_2O_2 de 50 e 125 mg L⁻¹, embora o modelo completo não considere esse efeito, mas apenas o da temperatura. Em estudo realizado com a SODIS para tratamento de água superficial para fins de consumo humano, foi constatado que uma dose de 10 mg L⁻¹ de H_2O_2 seria suficiente para inativação completa das bactérias e inibitória de reativação bacteriana (SIACCA et al., 2010). Nesse estudo, o pH da água era de 7,5.

Considerando todo o exposto, a Figura 14 foi elaborada de forma a relacionar o efeito das doses de H_2O_2 aos padrões de qualidade sugeridos pela WHO (2006) para os diferentes tipos de reúso na agricultura.

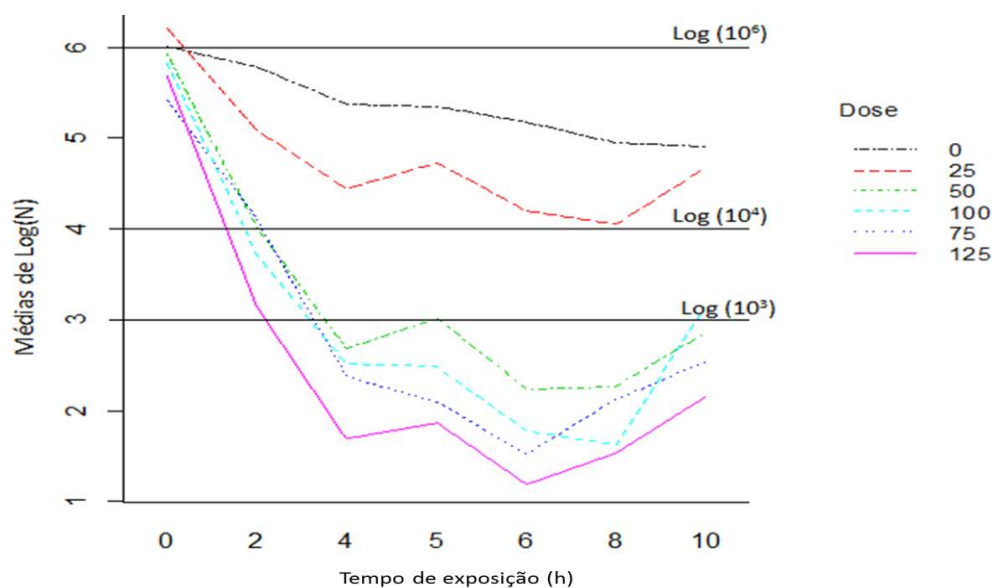


Figura 14 – Concentrações médias de *E. coli* para cada dose de H_2O_2 em função do tempo de exposição.

Na Figura 14, as linhas horizontais pretas representam os limites dos parâmetros de qualidade sugeridos pela Organização Mundial da Saúde. A linha marcada como $\text{Log}(10^3)$ se refere ao limite máximo da concentração de *E. coli* no efluente para reúso irrestrito na agricultura irrigada, a linha marcada como $\text{Log}(10^4)$ se trata do limite máximo para reúso restrito por irrigação sem mecanização e, por fim, a linha marcada como $\text{Log}(10^6)$ refere-se ao limite máximo para fins de reúso restrito com irrigação mecanizada.

Embora esse gráfico considere apenas a dose de H_2O_2 e o tempo de exposição, ainda assim é possível observar que apenas o grupo controle e a dose de 25 mg L^{-1} não atingiram o padrão de qualidade exigido para o reúso irrestrito. Com isso, sugere-se o emprego de doses superiores a 50 mg L^{-1} no processo de desinfecção solar, quando o efluente for destinado a irrigação de culturas que serão consumidas cruas. Para reúso na irrigação mecanizada de culturas que não serão consumidas cruas, qualquer dose avaliada, incluindo o grupo controle (0 mg L^{-1}), pode ser empregada sem provocar riscos à saúde humana.

Também é possível observar uma tendência ao aumento da concentração de coliformes com a redução da temperatura do efluente nos reatores, em torno 8 horas de exposição. Portanto, sugere-se também a aplicação desse efluente na agricultura

antes desse horário, a fim de comprometer a reativação bacteriana e evitar riscos de contaminação.

Além disso, é importante considerar os valores de DQO, pH, Temperatura e RUV incidente, assim como as variações sazonais dos mesmos, na região em que se pretende instalar esse tipo de sistema, para que assim se possa concluir a respeito da qualidade esperada do efluente e da viabilidade do uso dessa tecnologia em dado local.

A fim de avaliar a aplicabilidade da tecnologia SODIS na cidade de Botucatu, foram utilizados dados mensais de radiação dessa localidade. A Radiação Global (RG) foi calculada conforme sugerido pelo Manual FAO-56 (ALLEN et al., 1998). Como o método da FAO-56 permite apenas o cálculo da RG, com os dados obtidos no presente experimento, foi calculada a porcentagem de radiação ultravioleta presente na radiação global. A média desses valores aponta uma porcentagem de 5,19% de RUV presente na RG incidente na superfície do planeta. Os valores de DQO, SST, Temperatura e pH utilizados nesse cálculo foram as médias obtidas durante o período de experimento e estão apresentados na Tabela 11. A partir desses valores, foi calculado o tempo (dias) necessário para desinfetar esse efluente até níveis adequados para seu reúso irrestrito na agricultura irrigada (WHO, 2006). Os resultados estão expostos na Tabela 15.

Tabela 15 - Tempo para desinfecção até níveis desejados para reúso irrestrito na irrigação ($<1000 \text{ NMP } 100\text{mL}^{-1}$) nas condições de Botucatu

Dia	Dia Juliano (DJ)	RUV	Modelo individual							
			Dias para desinfecção por Dose de H_2O_2 (mg L^{-1})							
			0	25 (Lam 10cm)	25 (Lam 20cm)	50	75	100 (Lam 10cm)	100 (Lam 20cm)	125
15/jan	15	1,03	2,48	2,08	1,72	0,90	1,60	1,52	2,69	1,32
15/fev	46	0,98	2,63	2,21	1,83	0,96	1,70	1,61	2,85	1,40
15/mar	74	0,90	2,85	2,39	1,98	1,04	1,84	1,74	3,08	1,51
15/abr	105	0,87	2,96	2,49	2,06	1,08	1,91	1,81	3,21	1,57
15/mai	135	0,72	3,56	2,99	2,47	1,30	2,30	2,17	3,85	1,89
15/jun	166	0,65	3,96	3,33	2,75	1,44	2,56	2,42	4,28	2,10
15/jul	196	0,75	3,42	2,87	2,38	1,25	2,21	2,09	3,70	1,82
15/ago	227	0,85	3,03	2,55	2,11	1,10	1,96	1,85	3,28	1,61
15/set	258	0,85	3,02	2,53	2,09	1,10	1,95	1,84	3,26	1,60
15/out	288	1,01	2,55	2,14	1,77	0,93	1,65	1,56	2,76	1,35
15/nov	319	1,14	2,25	1,89	1,56	0,82	1,45	1,37	2,44	1,20
15/dez	349	1,05	2,44	2,05	1,69	0,89	1,58	1,49	2,64	1,29

A análise da Tabela 15 traz algumas considerações importantes. Como não houve diferença estatisticamente significativa entre as doses de 50, 75, 100 e 125 mg L⁻¹ em relação à variável resposta, seria esperado que elas se comportassem de maneira semelhante, com aumento discreto da eficiência do processo conforme aumento da dose. No entanto, observa-se uma eficiência melhor do que a esperada para a dose de 50 mg L⁻¹, que apresentou períodos de exposição à radiação UV inferiores a um dia em alguns meses. Nas condições propostas, esse resultado foi ainda melhor do que o da maior dose avaliada. Essa diferença entre esperado e calculado para essas duas doses (50 e 125 mg L⁻¹), provavelmente se dá pela interferência do pH que, conforme mencionado anteriormente, favorece o processo de desinfecção em pHs básicos, lembrando que o modelo do cálculo de N para essas duas doses é dependente do pH. A média dos valores de pH utilizada nesses cálculos indica um pH levemente ácido (6,8). Em pH básico, é esperada uma melhora desses resultados, inclusive na dose de 125 mg L⁻¹.

Os dados da Tabela 15 indicam que apenas os meses de Janeiro, Fevereiro, Outubro, Novembro e Dezembro, na dose de 50 mg L⁻¹, apresentam condições favoráveis à desinfecção de efluentes domésticos em um período de um dia até níveis que permitem o reúso irrestrito na agricultura irrigada. Utilizando a dose de 125 mg L⁻¹ nessas mesmas condições, o período necessário de exposição à RUV seria de pouco mais de um dia para todos os meses, exceto Junho, quando o período seria de pouco mais de dois dias.

A fim de verificar o efeito do aumento do pH sobre o tempo necessário à desinfecção, os cálculos foram repetidos utilizando um pH levemente básico (7,1) para essas duas doses e os resultados estão expostos na Tabela 16.

Tabela 16 - Tempo para desinfecção até níveis desejados para reúso irrestrito ($<1000\text{NMP } 100\text{mL}^{-1}$) nas condições de Botucatu, para as doses dependentes de pH, em $\text{pH}=7,1$, calculados pelos modelos individuais.

Mês	Dia Juliano	RUV (MJ m^{-2})	Modelo Individual	
			Dias para Desinfecção por dose de H_2O_2	
			50 (mg L^{-1})	125 (mg L^{-1})
15/jan	15	1,03	0,85	0,29
15/fev	46	0,97	0,90	0,30
15/mar	74	0,90	0,97	0,33
15/abr	105	0,87	1,01	0,34
15/mai	135	0,72	1,22	0,41
15/jun	166	0,65	1,35	0,46
15/jul	196	0,75	1,17	0,39
15/ago	227	0,85	1,04	0,35
15/set	258	0,85	1,03	0,35
15/out	288	1,01	0,87	0,29
15/nov	319	1,14	0,77	0,26
15/dez	349	1,05	0,83	0,28

A análise da Tabela 16 sugere uma melhora considerável no tempo necessário à desinfecção do efluente com o aumento do pH de 6,81 para 7,1, principalmente para a dose de 125 mg L^{-1} . Nota-se que para a dose de 50 mg L^{-1} , o período de exposição foi inferior a um dia para os meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Outubro, Novembro e Dezembro e para pouco mais de um dia nos demais meses. Para a dose de 125 mg L^{-1} , o período de exposição foi inferior a um dia para todos os meses. Considerando esse fato, essa dosagem seria a mais indicada para aumentar a eficiência do processo de desinfecção solar e garantir a qualidade do efluente gerado.

O modelo completo não leva em consideração o pH da ARD a ser tratada. No entanto, os resultados gerados por esse modelo para a dose de 125 mg L^{-1} são suficientemente próximos daqueles calculados pelo modelo individual para essa mesma dose e consideravelmente mais fáceis de calcular, uma vez que necessita de uma menor quantidade de dados de entrada. Além disso, o modelo completo permite calcular o tempo para desinfecção e a taxa de redução de *E. coli* para outras doses além das avaliadas nesse experimento.

Os resultados dos cálculos realizados para esse modelo, nas condições anteriormente citadas, estão expostos na Tabela 17.

Tabela 17 - Tempo para desinfecção até níveis desejados para reúso irrestrito (<1000 NMP 100mL⁻¹) nas condições de Botucatu calculados pelo modelo completo

Mês	Dia Juliano	RUV (MJ m ⁻²)	Modelo Completo					
			Dias para desinfecção por Dose de H ₂ O ₂					
			0	25	50	75	100	125
5/jan	15	1,03	2,10	1,82	1,54	1,26	0,99	0,71
15/fev	46	0,97	2,22	1,93	1,63	1,34	1,05	0,75
15/mar	74	0,90	2,40	2,08	1,77	1,45	1,13	0,81
15/abr	105	0,87	2,50	2,17	1,84	1,51	1,18	0,85
15/mai	135	0,72	3,01	2,61	2,21	1,81	1,42	1,02
15/jun	166	0,65	3,34	2,90	2,46	2,02	1,58	1,13
15/jul	196	0,75	2,89	2,51	2,12	1,74	1,36	0,98
15/ago	227	0,85	2,56	2,22	1,88	1,54	1,21	0,87
15/set	258	0,85	2,55	2,21	1,87	1,54	1,20	0,86
15/out	288	1,01	2,15	1,87	1,58	1,30	1,01	0,73
15/nov	319	1,14	1,90	1,65	1,40	1,15	0,90	0,64
15/dez	349	1,05	2,06	1,79	1,51	1,24	0,97	0,70

Os resultados apresentados na Tabela 17 calculados com o modelo completo com base em todos os dados de coleta e uma grande variabilidade de condições meteorológicas, facilita a compreensão acerca do comportamento da concentração de *E. coli* em relação a todas as variáveis avaliadas.

A análise dos resultados gerados por esse modelo permite observar que as doses de 50, 75, 100 e 125 mg L⁻¹ comportam-se de maneira semelhante, com uma leve redução do tempo necessário de exposição à RUV conforme aumenta-se a dose de H₂O₂.

O ajuste desse modelo aos dados poderia ter sido maior, através da adição de outras variáveis ao modelo. No entanto, utilizando o princípio de Ocam's Razor, optou-se pelo emprego de uma menor quantidade de variáveis, a fim de aumentar a aplicabilidade do modelo. Ainda assim, o ajuste desse modelo apresenta valores satisfatórios e, portanto, pode ser empregado sem prejuízo à predição de resultados da eficiência do processo estudado.

Sob as mesmas condições descritas acima, foram calculados os dias necessários à desinfecção pelos modelos desenvolvidos por Queluz; Sánchez-Román (2014) na lâmina de 10cm, uma vez que o modelo foi desenvolvido apenas para esta lâmina, e por Sánchez-Roman et al. (2007) em ambas as lâminas de efluente. O modelo desenvolvido no presente trabalho para o grupo controle trata igualmente as duas lâminas avaliadas e, por isso, foi apresentado apenas um resultado. Os resultados estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Comparação entre tempos para desinfecção até níveis desejados para reúso irrestrito ($<1000 \text{ NMP } 100\text{mL}^{-1}$) nas condições de Botucatu calculados por diferentes modelos matemáticos

Dia	RUV (MJ m^{-2})	Sánchez-Román et al. (2007) L=10cm	Sánchez-Román et al. (2007) L=20cm	Queluz; Sánchez-Román (2014)	Modelo individual	Modelo Completo
		Dias para desinfecção				
15/jan	1,034	1,506	1,604	3,732	2,48	2,10
15/fev	0,975	1,596	1,701	3,957	2,63	2,22
15/mar	0,902	1,725	1,838	4,276	2,85	2,40
15/abr	0,866	1,797	1,915	4,454	2,96	2,50
15/mai	0,721	2,160	2,301	5,353	3,56	3,01
15/jun	0,648	2,402	2,559	5,954	3,96	3,34
15/jul	0,750	2,075	2,211	5,144	3,42	2,89
15/ago	0,847	1,839	1,959	4,558	3,03	2,56
15/set	0,851	1,830	1,949	4,535	3,02	2,55
15/out	1,008	1,545	1,646	3,829	2,55	2,15
15/nov	1,140	1,366	1,455	3,385	2,25	1,90
15/dez	1,053	1,479	1,576	3,665	2,44	2,06

O modelo apresentado por Queluz; Sánchez-Román (2014) sugere tempos necessários para a desinfecção nos diferentes meses do ano, na ausência de H_2O_2 , maiores do que os calculados pelos modelos completo e individual desenvolvidos no presente trabalho, possivelmente pelas diferentes características do afluente utilizado durante o experimento (Tabela 18). Enquanto isso, o modelo apresentado por Sánchez-Román et al. (2007) sugere tempos menores de desinfecção. Os modelos propostos no presente trabalho consideram a variável DQO, não contemplada no modelo desenvolvido por Sánchez-Román et al. (2007), enquanto o modelo desenvolvido por tais autores considera a lâmina de efluente, que não foi considerada significativa no presente estudo.

Essa diferença entre os cálculos realizados por cada modelo pode ter como fundamento uma diferente característica do afluente utilizado em cada experimento, principalmente no que tange às concentrações de SST, DQO e temperatura ambiente, já que esses são fatores importantes para o processo de desinfecção solar.

Estudos realizados com adição de H_2O_2 , sugerem que doses de 50 mg L^{-1} seriam suficientes para otimizar a desinfecção solar até níveis adequados para o reúso irrestrito na agricultura (AGULLÓ-BARCELLÓ et al., 2013). No entanto, o presente trabalho aponta a necessidade de considerar as variações na incidência de radiação solar provocadas pelas diferentes estações do ano, períodos do dia e ainda pela nebulosidade, uma

vez que influenciam diretamente na incidência de radiação UV. Neste trabalho, o experimento foi realizado durante o inverno, período caracterizado por uma menor incidência de RUV e apesar disso, os resultados mostraram-se promissores. Isso permite concluir que em outras estações ao longo do ano, com maior incidência de RUV, o sistema SODIS+H₂O₂ deve apresentar melhores taxas de desinfecção.

Além disso, os parâmetros de qualidade da água, como pH, DQO e SST podem influenciar negativamente no processo e também devem ser levados em consideração antes da aplicação do sistema SODIS+H₂O₂.

Outros autores demonstraram a importância da adição de íons de ferro, ou de sua presença natural no afluente, como forma de aumentar a atividade das ROS (adicionadas ou naturalmente presentes) e garantir o processo de desinfecção em diversos sistemas de desinfecção solar (MONCAYO-LASSO et al., 2009; SCIACCA et al., 2010; SPUHLER et al., 2010). No presente trabalho, as concentrações de íons de ferro não foram monitoradas ao longo do período de experimentação, mas poderiam configurar uma importante ferramenta para melhor compreender as variações entre os resultados obtidos em diversos trabalhos que abordam o tema da desinfecção solar e, sendo assim, esta pode ser a próxima etapa para desenvolvimento e aplicação da tecnologia exposta no presente trabalho.

Como último ponto a ser considerado, está o risco de reativação bacteriana, que será abordado a seguir.

4.3 Reativação Bacteriana

De acordo com a WHO (2006), o valor final da concentração de *E. coli* deve ser inferior a 1000 NMP 100mL⁻¹ para alimentos que serão consumidos crus, calculado através de média geométrica dos valores obtidos. Portanto, foi feita a média geométrica das quatro repetições das análises de recrescimento bacteriano para cada período (24 ou 48 horas), lâmina e dose de H₂O₂ estudada. Com base nas médias, foi indicada a porcentagem de recrescimento e, com isso, inferido se o efluente, após esse período, ainda apresenta características adequadas para o reúso na agricultura. Esses dados estão expostos nas Tabelas 19 e 20.

Tabela 19 - Porcentagem de reativação bacteriana 24 e 48 horas após o fim do período de desinfecção para cada dose avaliada com a lâmina de 10cm

Lâmina 10 cm	Doses de H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹)					
	0	25	50	75	100	125
N	72342	32333	2554	760	2053	311
24hrs	329895	400697	43020135	454102153	867383	562
48hrs	184994	2341100	27046609	453253269	31435579	316
% REC 24hr	356%	1139%	1684352%	59743134%	42158%	81%
% REC 48hr	156%	7141%	1058909%	59631452%	1531424%	2%

Tabela 20 - Porcentagem de reativação bacteriana 24 e 48 horas após o fim do período de desinfecção para cada dose avaliada com a lâmina de 20cm

Lâmina 20 cm	Doses de H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹)					
	0	25	50	75	100	125
N	87651	71843	1143	553	1077	95
24hrs	985424	5316934	481926650	298158445	40223	1229
48hrs	703171	8763961	683306734	334522979	64636	15329
% REC 24hr	1024%	7301%	42147519%	53874538%	3635%	1194%
% REC 48hr	702%	12099%	59759517%	60445293%	5901%	16047%

A análise das Tabelas 19 e 20 permite notar que, embora não tenha sido identificada diferença estatística entre as lâminas avaliadas quanto à eficiência do processo de desinfecção solar, a porcentagem de reativação bacteriana foi maior em todas as doses para a lâmina de 20 centímetros. Também é possível notar que, mesmo na maior dose avaliada para esta lâmina nas condições experimentais, a concentração de *E. coli* foi superior à indicada pela WHO (2006) e, portanto, não deve ser empregada na agricultura irrigada após armazenada.

A diferença observada entre as lâminas está de acordo com o proposto pelo Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia de Água (EAWAG, 2002), exposto anteriormente, que sugere uma redução na incidência de raios UVA em profundidades superiores a 10cm.

Para a lâmina de 10 cm, apenas a dose de 125mg L⁻¹ manteve a qualidade do efluente 48 horas após o período de desinfecção, sugerindo que em tal dose, o efluente tratado pode ser armazenado antes da sua aplicação no solo sem apresentar riscos à saúde do consumidor e do trabalhador, no entanto, não é possível garantir tal segurança nas demais doses estudadas.

Outros autores avaliaram a reativação bacteriana após o processo de desinfecção solar e os relatos apontam uma variedade de resultados. Sciacca et al. (2010), em estudo com tratamento de água para consumo, observaram que na ausência de H_2O_2 , a reativação bacteriana era inevitável, enquanto a adição de uma dose de apenas 10 mg L^{-1} era capaz de evitar esse processo. Por outro lado, os resultados do presente trabalho mostram que a ARD, mesmo na dose de 125 mg L^{-1} de H_2O_2 , está sujeita a uma pequena taxa de reativação. De acordo com Hijnen et al. (2006), para condições de água potável, os processos de fotorreativação e reativação no escuro são insignificantes, de forma que esta pode ser a razão da alta eficiência de uma dose tão baixa de H_2O_2 em água potável.

Considerando todo o exposto e visando o uso seguro de efluentes tratados pelo sistema SODIS+ H_2O_2 na irrigação de alimentos que serão consumidos crus, sugere-se o uso da lâmina de 10 cm e a dose de 125 mg L^{-1} .

5 CONCLUSÕES

- A adição controlada de doses de H_2O_2 é capaz de aumentar a eficiência do processo de desinfecção solar e reduzir o tempo de exposição até períodos inferiores a um dia.
- A lâmina de 10 cm e a dose de 125mg L^{-1} são as mais adequadas tendo em vista o uso seguro de efluentes tratados pelo sistema SODIS+ H_2O_2 na irrigação de alimentos que serão consumidos crus. A lâmina de 20 cm pode ser empregada para desinfecção solar de ARD, no entanto, o risco de reativação bacteriano é maior do que quando utilizada a lâmina de 10 cm.
- O Verão é estação do ano mais adequada ao uso do sistema SODIS+ H_2O_2 .

6 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 13969**: Tanques sépticos: unidade de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos: projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ACHER, A.; FISCHER, E.; TURNHEIM, R.; MANOR, Y. Ecologically Friendly Wastewater Disinfection Techniques. **Water Research** Vol. 31, No. 6, pp. 1398 1404. United Kingdom, 1997

ACRA, A.; JURDI, M.; MU' ALLEM, H.; KARAHAGOPIAN, Y.; RAFFOUL, Z. Water Disinfection by Solar Radiation: Assessment and Application, International Development Research. Centre (IDRC – Canada), Ottawa, 1990.

ACRA, A.; RAFFOUL, Z.; KARAHAGOPIAN, Y. **Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solutions**: guidelines for household application in developing countries. Beirut: Unicef, 1984. 55 p.

AGULLÓ-BARCELLÓ, M.; POLO-LOPEZ, M.I.; LUCENA, F.; JOFRE, J.; FERNANDEZ-IBÁÑEZ, P. Solar Advanced Oxidation Processes as disinfection tertiary treatments for real wastewater: Implications for water reclamation. *Appl. Catal. B*, Amsterdam, v.136-137, p.341-350 (2013).

ALLEN, R. G.; PEREIRA, S. L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: Food And Agriculture Organization Of The United Nations, 1998. 308 p. (FAO Irrigation and drainage paper 56).

APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination for water and wastewater**. 21. ed. Washington, Dc: APHA-AWWA-WEF, 2005. 1220 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 20 set 2014.

CAVALCANTI, L. F.; ANDRADE NETO, C. O.; ARAÚJO, A. L. C.; MELO, H. N. S. Eficiência sanitária de filtros anaeróbios avaliada em função da remoção de ovos de vermes e coliformes fecais. **Revista AIDIS**. vol. 3, n. 1, 49-61. Arizona, 2010.

CAVINATTO, A. S.; PAGANINI, W. S. Os microorganismos nas atividades de disposição de esgoto no solo – estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, 2007.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Reúso de Água**. Disponível em: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/informacoes-basicas/8-2/reuso-de-agua/>. Acesso em: 20 nov. 2014.

DANIEL, L.A.; CAMPOS, J.R. Metodologia simplificada para determinação de parâmetros cinéticos de desinfecção com radiação ultravioleta. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 1, 1993, Belo Horizonte, 109 Brasil. Anais. Belo Horizonte: Ed. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES – Seção Minas Gerais, 1993. p.229-245.

DOWNES, A.; BLUNT, T. P. Researches on the effect of light upon bacteria and other organisms. **Proc. R. Soc**, London, v. 28, p.488-500, 1877.

EAWAG/SANDEC. **SODIS Solar Water Disinfection**: A guide for the application of SODIS. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology, 2002. 188 p.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. Reúso de águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim. In: Rede Cooperativa de Pesquisas, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 403p.

FISHER, M. B.; KEENAN, C. R.; NELSON K. L.; VOELKER, B. M. Speeding up solar disinfection (SODIS): effect of hydrogen peroxide, temperature, pH and copper plus ascorbate on the photoinactivation of *E. coli*. **Journal Of Water And Health**, v. 6, n. 1, p.35-51, 2008.

GIANNAKIS, S.; DARAKAS E.; ESCALAS-CAÑELLAS E.; PULGARIN, C. Elucidating bacterial regrowth: Effect of disinfection conditions in dark storage of solar treated secondary effluent. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 290, p. 43-53, 2014.

GOBBI, S. A. **Remoção de Ovos de Helmintos de Esgotos Secundários por Meio de Filtros Rápidos de Areia, Carvão Antracitoso e Zeólito para Reuso Agrícola e Urbano não Potável**. Tese de Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária - Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. São Paulo, 2010.

GONÇALVES, R. F.; JORDÃO, E. P.; SOBRINHO, P. A. Desinfecção por radiação ultravioleta. In: Rede Cooperativa de Pesquisas, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos**

patógenos e substâncias nocivas: Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia. Rio de Janeiro: Abes, 2003. p. 209-275.

HESPANHOL, I.; PROST, A. M. E. Who guidelines and National Standards for Reuse and Water Quality. **Water Research**. v. 28, n. 28. p. 124. United Kingdom, 1994.

HIJNEN, W. A. M.; BEERENDONK, E. F.; MEDEMA, G. J. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water: a review. **Water Research**, v. 40, n. 1, p.3-22, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio - Síntese dos Indicadores. Rio de Janeiro/RJ, Brasil. 2009.

IMLAY, J.A.; STUART, L. Bimodal pattern of killing-DNA-repair-defective or anoxically grown *Escherichia coli* by hydrogen peroxide. *J. Bacteriol.* v. 166, p.519–527, 1986.

IQBAL, M. An introduction to solar radiation. Nova Iorque, Academic Press, 1983. 390p.

JIMENEZ, B.; CHAVEZ, A.; LEYVA, A.; TCHOBANOGLOUS, G. Sand and synthetic medium filtration of advanced primary treatment effluent from Mexico City. *Water Research* . Vol. 34, n. 2, p. 473-480. United Kingdom, 2000.

KERAITA, B.; DRECHSEL, P.; KONRADSEN, F. Perceptions of farmers on Health risks and risk reduction measures in wastewater-irrigated urban vegetable farming in Ghana. **Journal of Risk Research**. v. 11, n. 8, p. 1047–1061, 2008.

MCGUIGAN, G. K.; CONROY R. M.; MOSLER, H. J.; PREEZ, M.; UBOMBA-JASWA, E.; FERNANDEZ-IBÁÑEZ, P. Solar water disinfection (SODIS): A review from bench-top to roof-top. **Journal of Hazardous Materials**. v.235– 236, p. 29– 46, 2012.

MEDEIROS FILHO, C. F.; VAN HAANDEL, A. C.; CAVALCANTI, P. F. F. **Efeito da variação temporal da vazão sobre o desempenho de um reator UASB tratando esgoto sanitário.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, Rio de Janeiro, Anais, p. 920-928.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA) e PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). GEO Brasil. Recursos Hídricos. Brasília. 2007.

MONCAYO-LASSO, A.; SANABRIA, J.; PULGARIN, C.; BENÍTEZ, N. Simultaneous *E. coli* Inactivation and MON oxidation in river water via photo-Fenton process at natural pH in solar CPC reactor: A new way for enhancing solar disinfection of natural water. **Chemosphere**, v. 77, n. 2, p.296-300, 2009.

O'HOGAIN, S. The design, operation and performance of a municipal hybrid reed bed treatment system. **Water Science and Technology**, Netherlands, v. 48, n. 5, p. 119-126, 2003.

PAGANINI, W. S. Reúso de água na agricultura. In: MANCUSO P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de Água**. Barueri, p. 339- 402, 2003.

POLO-LÓPEZ, M. I.; CASTRO-ALFÉREZ, M.; OLLER, I. FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P. Assessment of solar photo-Fenton, photocatalysis, and H₂O₂ for removal of phytopathogen fungi spores in synthetic and real effluents of urban wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 257, p. 122–130, 2014.

PONTES, A. C. F. **Obtenção de níveis de significância para testes de Kruskal-Wallis, Friedman e comparações múltiplas não-paramétricas**. 2000. 142f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

QUELUZ, J. G. T.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. Efficiency of domestic wastewater solar disinfection in reactors with different colors. **Water Utility Journal**, v. 7, n. 1, p.35-44, 2014.

REED, R. H. Solar inactivation of fecal bacteria in water: The critical role of Oxygen. **Letters In Applied Microbiology**, v. 24, p.276-280, 1997.

RINCÓN, A.G., PULGARIN, C. Comparative evaluation of Fe³⁺ and TiO₂ photoassisted processes in solar photocatalytic disinfection of water. **Appl. Catal. B: Environ**, v. 63, p.222–231, 2006.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; SEDIYAMA G. C.; DeSOUZA, O.; MOUNTEER, A. H. Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural reuse. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 1, p.65-71, 2007.

SANTOS, B. H. C. **Papel biológico dos dímeros de pirimidina em células humanas irradiadas com radiação UVA**. 2010. 111f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Biologia (Genética), Instituto de biociências, USP, São Paulo, 2010.

SÃO PAULO (SP) . Lei nº 14018, de 28 de junho de 2005. Institui o programa municipal de conservação e uso racional da água em edificações e dá outras providências. **Câmara Municipal de São Paulo**, São Paulo, 2005.

SAYED, S. K. I. **Anaerobic Treatment of Slaughterhouse Wastewater Using the UASB Process**, Univ. de Wageningen, Wageningen, Holanda, 1987.

SCIACCA, F.; RENGIFO-HERRERA, J. A.; WETHÉ, J.; PULGARIN, C. Dramatic enhancement of solar disinfection (SODIS) of wild Salmonella sp. In PET bottles by H₂O₂ addition on natural water of Burkina Faso containing dissolved iron. **Chemosphere**, v. 78, n. 9, p.1186-1191, 2010.

SICHEL, C.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; CARA, M.; TELLO, J. Lethal synergy of solar UV radiation and H₂O₂ on wild Fusarium solani spores in distilled and natural well water, **Water Res.** v. 43 p. 1841–1850, 2009.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS), Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2011. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, v. 1, p. 432. 2013.

SPUHLER, D.; RENGIFO-HERRERA, J. A.; PULGARÍN, C. The effect of Fe²⁺, Fe³⁺, H₂O₂ and the photo-Fenton reagent at near neutral pH on the solar disinfection (SODIS) at

low temperatures of water containing Escherichia coli K12, **Appl. Catal. B**, v.96 p.126–141, 2010.

UBOMBA-JASWA, E.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; NAVNTOFT, C.; POLO-LÓPEZ, M. I.; MCGUIGAN, K. G. Investigating the microbial inactivation efficiency of a 25 L batch solar disinfection (SODIS) reactor enhanced with a compound parabolic collector (CPC) for Household Use. **Journal Of Chemical Technology And Biotechnology**, v. 85, n. 8, p.1028-1037, 2010.

USEPA – U. S. Environmental Protection Agency. **Guidelines for water reuse**. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2004. (EPA/625/R-04/108).

USEPA – U. S. Environmental Protection Agency. **Wastewater technology fact sheet: ultraviolet disinfection**. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 1999. (EPA/832/F-99/064).

VAN HAANDEL, A. C., LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente**. Campina Grande: Epgraf, 1994, 240 p.

VON SONNTAG, C.; KOLCH, A.; GEBEL, J.; OGUMA, K.; SOMMER, R. The photochemical basis of UV disinfection. In: PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN CONFERENCE ON UV RADIATION - EFFECTS AND TECHNOLOGIES, 2004, Karlsruhe. **Proceedings...** . Karlsruhe: European Conference On Uv Radiation, 2004. p. 22 - 24.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. **Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions**. London, Uk: Iwa Publishing, 2005.

VON SPERLING, M. JORDÃO, E. P.; KATO, M. T.; SOBRINHO, P. A.; BASTOS, R. K. X.; PIVELLI, R. Lagoas de estabilização. In: Rede Cooperativa de Pesquisas, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patógenos e substâncias nocivas: Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia**. Rio de Janeiro: Abes, 2003. p. 276-336.

WEGELIN, M.; CANONICA, S.; FLEISCHMANN, T.; PESARO, F.; METZLER, A. Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. **Journal Of Water Supply: Research And Technology - Aqua**, v. 43, n. 3, p.154-169, 1994.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guidelines for the Safe Use of Wastewater Excreta and Greywater. v.2. França. 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Health Guidelines for Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Technical Report Series. p. 778. Geneva. 1989.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP). The 4th edition of the UN World Water Development Report (WWDR4). v. 1, 2012.

APÊNDICE 1

Tabela 21 - Dados originais do trabalho

Tempo	L	D	Rep	RG	RUV	No	N	Y	log	DQO	SST	pH	T
0	10	0	1	0	0	6,44E+05	6,44E+05	1,00E+00	0	435	143	6,5	19
5	10	0	1	7,96309	0,40086	6,44E+05	9,70E+04	1,51E-01	0,821023	402	110	6,9	27,3
10	10	0	1	13,04581	0,66545	6,44E+05	2,88E+04	4,47E-02	1,349692	438	48	7,1	23,7
0	10	0	2	0	0	9,85E+05	9,85E+05	1,00E+00	0	424	129	6,5	18,5
5	10	0	2	7,96309	0,40086	9,85E+05	1,09E+05	1,11E-01	0,954677	380	98	6,9	26,5
10	10	0	2	13,04581	0,66545	9,85E+05	1,97E+04	2,00E-02	1,69897	418	84	7,1	23,2
0	10	0	3	0	0	9,09E+05	9,09E+05	1,00E+00	0	398	107	9,2	18,8
5	10	0	3	8,01145	0,41605	9,09E+05	7,64E+05	8,40E-01	0,075721	361	72	9,3	26,7
0	10	0	4	0	0	1,26E+06	1,26E+06	1,00E+00	0	342	94	8	19,1
5	10	0	4	2,5	0,41605	1,26E+06	1,56E+05	1,24E-01	0,906578	290	70	8,3	26,2
10	10	0	4	5,208333	0,68914	1,26E+06	9,18E+04	7,29E-02	1,137272	361	74	8,3	21,5
0	10	0	5	0	0	1,22E+06	1,22E+06	1,00E+00	0	352	80	6,3	26,5
2	10	0	5	4,16047	0,19443	1,22E+06	1,06E+06	8,66E-01	0,062482	352	80	6,3	26,5
4	10	0	5	10,32547	0,47816	1,22E+06	5,65E+05	4,63E-01	0,334419	352	80	6,3	38
6	10	0	5	15,96757	0,73734	1,22E+06	1,09E+05	8,93E-02	1,049149	352	80	6,3	38,4
8	10	0	5	20,35161	0,93827	1,22E+06	3,00E+04	2,46E-02	1,609065	352	80	6,3	36,4
10	10	0	5	21,58121	0,9993	1,22E+06	3,17E+05	2,60E-01	0,585027	352	80	6,3	30,6
0	10	0	6	0	0	1,73E+06	1,73E+06	1,00E+00	0	371	73	6,3	26,4
4	10	0	6	10,32547	0,47816	1,73E+06	2,95E+05	1,71E-01	0,767004	371	73	6,3	37,8
6	10	0	6	15,96757	0,73734	1,73E+06	7,30E+04	4,22E-02	1,374688	371	73	6,3	38,4
8	10	0	6	20,35161	0,93827	1,73E+06	7,40E+04	4,28E-02	1,368556	371	73	6,3	36,3
10	10	0	6	21,58121	0,9993	1,73E+06	1,20E+05	6,94E-02	1,158641	371	73	6,3	30,7
0	20	0	1	0	0	8,16E+05	8,16E+05	1,00E+00	0	276	59	7,1	19,7

Tabela 21. Dados originais do trabalho (continuação).

Tempo	L	D	Rep	RG	RUV	No	N	y	log	DQO	SST	pH	T
5	20	0	1	10,98265	0,53394	8,16E+05	3,55E+05	4,35E-01	0,361511	255	47	7,2	24,8
10	20	0	1	18,15994	0,90569	8,16E+05	6,69E+04	8,20E-02	1,086186	269	41	7,4	27,1
0	20	0	2	0	0	1,10E+06	1,10E+06	1,00E+00	0	304	68	7,1	19,4
5	20	0	2	10,98265	0,53394	1,10E+06	2,65E+05	2,41E-01	0,617983	283	55	7,2	25
10	20	0	2	18,15994	0,90569	1,10E+06	6,05E+04	5,50E-02	1,259637	294	43	7,4	26,8
0	20	0	3	0	0	1,47E+06	1,47E+06	1,00E+00	0	296	67	7,1	20
5	20	0	3	10,98265	0,53394	1,47E+06	2,75E+05	1,87E-01	0,728158	288	56	7,2	25,3
10	20	0	3	18,15994	0,90569	1,47E+06	5,61E+04	3,82E-02	1,417937	283	41	7,4	26,8
0	20	0	4	0	0	9,09E+05	9,09E+05	1,00E+00	0	326	86	6,8	20,1
5	20	0	4	8,41465	0,4635	9,09E+05	2,13E+05	2,34E-01	0,630784	323	83	7,1	25,1
10	20	0	4	15,52489	0,84175	9,09E+05	6,68E+04	7,35E-02	1,133713	340	66	7,1	21,6
0	20	0	5	0	0	9,59E+05	9,59E+05	1,00E+00	0	238	67	6,3	24,1
2	20	0	5	4,60499	0,24498	9,59E+05	7,89E+05	8,23E-01	0,0846	238	67	6,3	26,2
4	20	0	5	11,20814	0,58708	9,59E+05	1,34E+05	1,40E-01	0,853872	238	67	6,3	30
6	20	0	5	17,65124	0,92951	9,59E+05	8,60E+04	8,97E-02	1,047208	238	67	6,3	36
8	20	0	5	21,76131	1,1419	9,59E+05	6,30E+04	6,57E-02	1,182435	238	67	6,3	36,1
10	20	0	5	23,39496	1,22567	9,59E+05	7,40E+04	7,72E-02	1,112383	238	67	6,3	32,7
0	20	0	6	0	0	9,09E+05	9,09E+05	1,00E+00	0	262	71	6,3	23,9
2	20	0	6	4,60499	0,24498	9,09E+05	2,59E+05	2,85E-01	0,545155	262	71	6,3	25,9
4	20	0	6	11,20814	0,58708	9,09E+05	1,48E+05	1,63E-01	0,787812	262	71	6,3	28
6	20	0	6	17,65124	0,92951	9,09E+05	8,05E+05	8,86E-02	1,052566	262	71	6,3	32,8
8	20	0	6	21,76131	1,1419	9,09E+05	4,59E+05	5,05E-01	0,296709	262	71	6,3	34,2
10	20	0	6	23,39496	1,22567	9,09E+05	4,04E+05	4,44E-01	0,352617	262	71	6,3	31,5
0	10	25	1	0	0	5,17E+05	5,17E+05	1,00E+00	0	393	107	9,1	18,6
5	10	25	1	2,5	0,41605	5,17E+05	2,91E+05	5,63E-01	0,249492	358	73	9,2	27,6

Tabela 21. Dados originais do trabalho (continuação).

Tempo	L	D	Rep	RG	RUV	No	N	y	log	DQO	SST	pH	T
10	10	25	1	5,208333	0,68914	5,17E+05	5,70E+04	1,10E-01	0,958607	389	64	8,9	23,6
0	10	25	2	0	0	3,59E+05	3,59E+05	1,00E+00	0	403	29	8,9	19,3
5	10	25	2	7,85309	0,40028	3,59E+05	1,07E+04	2,98E-02	1,525784	369	78	8,7	28,9
10	10	25	2	12,78957	0,66066	3,59E+05	2,81E+04	7,83E-02	1,106238	358	68	8,8	25,3
0	10	25	3	0	0	4,72E+05	4,72E+05	1,00E+00	0	396	86	8,5	21,7
5	10	25	3	7,85309	0,40028	4,72E+05	2,75E+04	5,83E-02	1,234331	328	66	8,3	28
10	10	25	3	12,78957	0,66066	4,72E+05	2,35E+04	4,98E-02	1,302771	335	72	8,5	24,9
0	10	25	4	0	0	6,87E+05	6,87E+05	1,00E+00	0	384	96	8,87	19,1
5	10	25	4	7,85309	0,40028	6,87E+05	1,60E+04	2,33E-02	1,632644	378	229	8,64	29,1
10	10	25	4	12,78957	0,66066	6,87E+05	1,53E+04	2,23E-02	1,651695	375	70	8,5	25,1
0	10	25	5	0	0	3,45E+06	3,45E+06	1,00E+00	0	343	78	6,3	26,5
2	10	25	5	4,16047	0,19443	3,45E+06	9,32E+04	2,70E-02	1,568636	343	78	6,3	32,8
6	10	25	5	15,96757	0,73734	3,45E+06	1,20E+04	3,48E-03	2,458421	343	78	6,3	38,2
8	10	25	5	20,35161	0,93827	3,45E+06	2,13E+04	6,17E-03	2,209715	343	78	6,3	36,4
10	10	25	5	21,58121	0,9993	3,45E+06	9,87E+04	2,86E-02	1,543634	343	78	6,3	30,7
0	10	25	6	0	0	1,20E+06	1,20E+06	1,00E+00	0	369	76	6,4	26,6
2	10	25	6	3,9682	0,17016	1,20E+06	1,32E+05	1,10E-01	0,958607	369	76	6,4	30,8
4	10	25	6	9,9958	0,43049	1,20E+06	2,16E+04	1,80E-02	1,744727	369	76	6,4	35,8
6	10	25	6	16,1179	0,70571	1,20E+06	1,87E+04	1,56E-02	1,806875	369	76	6,4	37,3
8	10	25	6	20,33445	0,89004	1,20E+06	3,10E+03	2,58E-03	2,58838	369	76	6,4	35
10	10	25	6	21,53621	0,94489	1,20E+06	2,01E+04	1,68E-02	1,774691	369	76	6,4	30,4
0	20	25	1	0	0	2,42E+07	2,42E+07	1,00E+00	0	357	102	6,4	20,8
5	20	25	1	12,80789	0,67118	2,42E+07	2,10E+05	8,68E-03	2,06148	381	100	6,6	24,3
10	20	25	1	21,35049	1,10829	2,42E+07	4,65E+04	1,92E-03	2,716699	317	74	6,9	21,9
0	20	25	2	0	0	1,48E+07	1,48E+07	1,00E+00	0	296	103	6,5	19,1
10	20	25	2	23,10373	1,17515	1,48E+07	4,72E+04	3,19E-03	2,496209	292	80	6,9	22,5

Tabela 21. Dados originais do trabalho (continuação).

Tempo	L	D	Rep	RG	RUV	No	N	y	log	DQO	SST	pH	T
5	20	25	3	14,20636	0,72983	1,03E+07	5,36E+04	5,20E-03	2,283997	341	99	6,7	23,3
10	20	25	3	23,10373	1,17515	1,03E+07	1,60E+05	1,55E-02	1,809668	325	88	6,9	22,5
0	20	25	4	0	0	1,26E+07	1,26E+07	1,00E+00	0	309	109	6,4	18,8
5	20	25	4	14,20636	0,72983	1,26E+07	8,89E+04	7,06E-03	2,151195	323	93	6,7	23,2
10	20	25	4	23,10373	1,17515	1,26E+07	9,10E+04	7,22E-03	2,141463	322	87	6,9	22,4
0	20	25	5	0	0	8,60E+05	8,60E+05	1,00E+00	0	221	54	6,4	23,8
2	20	25	5	4,60499	0,24498	8,60E+05	1,26E+05	1,47E-01	0,832683	221	54	6,4	25,8
4	20	25	5	11,20814	0,58708	8,60E+05	3,10E+04	3,60E-02	1,443697	221	54	6,4	30,4
6	20	25	5	17,65124	0,92951	8,60E+05	1,00E+04	1,16E-02	1,935542	221	54	6,4	32,4
8	20	25	5	21,76131	1,1419	8,60E+05	1,00E+04	1,16E-02	1,935542	221	54	6,4	33
10	20	25	5	23,39496	1,22567	8,60E+05	6,30E+04	7,33E-02	1,134896	221	54	6,4	31,9
0	20	25	6	0	0	2,26E+05	2,26E+05	1,00E+00	0	271	77	6,4	22,6
2	20	25	6	4,35282	0,22131	2,26E+05	1,55E+05	6,86E-01	0,163676	271	77	6,4	24,5
4	20	25	6	9,35044	0,48616	2,26E+05	3,16E+04	1,40E-01	0,853872	271	77	6,4	27,6
6	20	25	6	13,2356	0,71525	2,26E+05	2,69E+04	1,19E-01	0,924453	271	77	6,4	28,6
8	20	25	6	17,51349	0,92843	2,26E+05	2,47E+04	1,09E-01	0,962574	271	77	6,4	31,4
0	10	50	1	0	0	9,82E+04	9,82E+04	1,00E+00	0	355	130	7,1	20,8
5	10	50	1	7,93965	0,40224	9,82E+04	2,00E+02	2,04E-03	2,69037	369	110	7,5	27,6
10	10	50	1	12,68775	0,6516	9,82E+04	6,30E+02	6,42E-03	2,192465	323	58	7,7	23,5
0	10	50	2	0	0	9,35E+04	9,35E+04	1,00E+00	0	317	72	7,4	18,8
5	10	50	2	7,93965	0,40224	9,35E+04	1,00E+02	1,07E-03	2,970616	320	54	7,7	26,7
0	10	50	3	0	0	1,20E+05	1,20E+05	1,00E+00	0	316	74	7,3	20,4
5	10	50	3	7,93965	0,40224	1,20E+05	1,00E+02	8,33E-04	3,079355	333	64	7,5	27,3
10	10	50	3	12,68775	0,6516	1,20E+05	2,00E+02	1,67E-03	2,777284	348	64	7,9	23
0	10	50	4	0	0	1,11E+06	1,11E+06	1,00E+00	0	376	103	6,9	16,2
5	10	50	4	8,4254	0,42191	1,11E+06	5,20E+02	4,68E-04	3,329754	387	66	7,3	23,5

Tabela 21. Dados originais do trabalho (continuação).

Tempo	L	D	Rep	RG	RUV	No	N	y	log	DQO	SST	pH	T
10	10	50	4	14,06531	0,72308	1,11E+06	6,20E+02	5,59E-04	3,252588	409	59	7,8	21,6
0	10	50	5	0	0	3,59E+05	3,59E+05	1,00E+00	0	418	72	6,4	26,2
2	10	50	5	3,9682	0,17016	3,59E+05	5,20E+03	1,45E-02	1,838632	418	72	6,4	30,7
4	10	50	5	9,9958	0,43049	3,59E+05	1,00E+02	2,79E-04	3,554396	418	72	6,4	36,2
6	10	50	5	16,1179	0,70571	3,59E+05	1,00E+02	2,79E-04	3,554396	418	72	6,4	37,5
2	10	50	6	3,9682	0,17016	2,75E+05	7,40E+03	2,69E-02	1,570248	310	76	6,5	31
4	10	50	6	9,9958	0,43049	2,75E+05	1,00E+02	3,64E-04	3,438899	310	76	6,5	35,5
6	10	50	6	16,1179	0,70571	2,75E+05	1,00E+02	3,64E-04	3,438899	310	76	6,5	37,5
0	20	50	1	0	0	3,79E+05	3,79E+05	1,00E+00	0	439	91	6,3	21,1
5	20	50	1	13,37947	0,66595	3,79E+05	2,00E+02	5,28E-04	3,277366	382	80	6,3	28
10	20	50	1	21,96898	1,10038	3,79E+05	1,00E+02	2,64E-04	3,578396	393	68	6,9	30,1
0	20	50	2	0	0	1,99E+07	1,99E+07	1,00E+00	0	320	80	6,3	22,2
5	20	50	2	8,35885	0,48816	1,99E+07	7,38E+03	3,71E-04	3,430626	311	63	6,6	25
0	20	50	3	0	0	2,42E+07	2,42E+07	1,00E+00	0	388	112	6,3	22,2
5	20	50	3	8,35885	0,48816	2,42E+07	1,99E+05	8,22E-03	2,085128	372	102	6,5	24,7
10	20	50	3	15,5719	0,88769	2,42E+07	5,54E+03	2,29E-04	3,640165	340	108	6,9	26,9
0	20	50	4	0	0	6,87E+06	6,87E+06	1,00E+00	0	341	94	6,3	22,3
5	20	50	4	8,35885	0,48816	6,87E+06	4,38E+03	6,38E-04	3,195179	341	59	6,5	24,8
10	20	50	4	15,5719	0,88769	6,87E+06	1,61E+04	2,34E-03	2,630784	324	63	6,8	26,6
0	20	50	5	0	0	6,31E+05	6,31E+05	1,00E+00	0	286	62	6,4	22,8
2	20	50	5	4,35282	0,22131	6,31E+05	1,83E+04	2,90E-02	1,537602	286	62	6,4	24,9
4	20	50	5	9,35044	0,48616	6,31E+05	1,35E+03	2,14E-03	2,669586	286	62	6,4	27,5
6	20	50	5	13,2356	0,71525	6,31E+05	4,65E+02	7,37E-04	3,132533	286	62	6,4	28,9
8	20	50	5	17,51349	0,92843	6,31E+05	1,85E+02	2,93E-04	3,533132	286	62	6,4	31,8
10	20	50	5	19,0626	1,00389	6,31E+05	4,35E+02	6,89E-04	3,161781	286	62	6,4	31,6
0	20	50	6	0	0	5,39E+05	5,39E+05	1,00E+00	0	248	74	6,4	22,7

Tabela 21. Dados originais do trabalho (continuação).

Tempo	L	D	Rep	RG	RUV	No	N	y	log	DQO	SST	pH	T
2	20	50	6	4,35282	0,22131	5,39E+05	1,85E+04	3,43E-02	1,464706	248	74	6,4	24,7
4	20	50	6	9,35044	0,48616	5,39E+05	4,14E+03	7,68E-03	2,114639	248	74	6,4	27,3
6	20	50	6	13,2356	0,71525	5,39E+05	2,01E+02	3,73E-04	3,428291	248	74	6,4	28,8
8	20	50	6	17,51349	0,92843	5,39E+05	1,95E+02	3,62E-04	3,441291	248	74	6,4	31,6
10	20	50	6	19,0626	1,00389	5,39E+05	2,40E+02	4,45E-04	3,35164	248	74	6,4	31,5
0	10	75	1	0	0	8,60E+04	8,60E+04	1,00E+00	0	495	105	6,8	18,2
5	10	75	1	8,4254	0,42191	8,60E+04	1,00E+02	1,16E-03	2,935542	494	77	7,3	25,3
10	10	75	1	14,06531	0,72308	8,60E+04	1,00E+02	1,16E-03	2,935542	510	72	7,6	21,5
0	10	75	2	0	0	8,60E+04	8,60E+04	1,00E+00	0	485	113	6,9	17,7
5	10	75	2	8,4254	0,42191	8,60E+04	1,00E+02	1,16E-03	2,935542	496	78	7,3	24,7
10	10	75	2	14,06531	0,72308	8,60E+04	1,00E+02	1,16E-03	2,935542	531	74	7,7	19,7
0	10	75	3	0	0	2,16E+05	2,16E+05	1,00E+00	0	435	98	6,8	17,9
5	10	75	3	8,33608	0,41289	2,16E+05	4,37E+03	2,02E-02	1,694649	422	78	7,2	20
10	10	75	3	13,86137	0,70379	2,16E+05	2,84E+03	1,31E-02	1,882729	431	62	7,5	20,1
0	10	75	4	0	0	1,21E+05	1,21E+05	1,00E+00	0	387	92	7	16,8
5	10	75	4	8,33608	0,41289	1,21E+05	9,22E+02	7,62E-03	2,118045	386	75	7,2	23,7
10	10	75	4	13,86137	0,70379	1,21E+05	6,39E+02	5,28E-03	2,277366	378	64	7,4	22,1
0	10	75	5	0	0	1,65E+06	1,65E+06	1,00E+00	0	324	87	6,6	22,4
2	10	75	5	4,27567	0,20355	1,65E+06	3,89E+04	2,36E-02	1,627088	324	87	6,6	26,6
4	10	75	5	10,64497	0,51458	1,65E+06	6,50E+02	3,94E-04	3,404504	324	87	6,6	32,1
6	10	75	5	17,04952	0,80952	1,65E+06	1,22E+02	7,39E-05	4,131356	324	87	6,6	35
8	10	75	5	21,33957	1,00062	1,65E+06	2,59E+02	1,57E-04	3,8041	324	87	6,6	33,2
10	10	75	5	22,61778	1,06033	1,65E+06	3,45E+03	2,09E-03	2,679854	324	87	6,6	28,3
0	10	75	6	0	0	2,91E+06	2,91E+06	1,00E+00	0	366	91	6,4	22,4
2	10	75	6	4,27567	0,20355	2,91E+06	3,89E+04	1,34E-02	1,872895	366	91	6,4	26,4
4	10	75	6	10,64497	0,51458	2,91E+06	1,95E+02	6,70E-05	4,173925	366	91	6,4	32,2

Tabela 21. Dados originais do trabalho (continuação).

Tempo	L	D	Rep	RG	RUV	No	N	y	log	DQO	SST	pH	T
6	10	75	6	17,04952	0,80952	2,91E+06	1,09E+02	3,75E-05	4,425969	366	91	6,4	35,2
8	10	75	6	21,33957	1,00062	2,91E+06	4,95E+02	1,70E-04	3,769551	366	91	6,4	33,4
10	10	75	6	22,61778	1,06033	2,91E+06	3,08E+03	1,06E-03	2,974694	366	91	6,4	28,5
0	20	75	1	0	0	1,89E+05	1,89E+05	1,00E+00	0	338	80	7,2	22,4
5	20	75	1	11,92169	0,57625	1,89E+05	1,00E+01	5,29E-05	4,276544	319	52	7,5	28,8
10	20	75	1	19,84189	0,96567	1,89E+05	5,20E+02	2,75E-03	2,560667	337	49	7,6	27,3
0	20	75	2	0	0	4,13E+05	4,13E+05	1,00E+00	0	312	67	7,1	22,5
10	20	75	2	19,84189	0,96567	4,13E+05	5,20E+02	1,26E-03	2,899629	321	45	7,6	27,2
0	20	75	3	0	0	8,84E+05	8,84E+05	1,00E+00	0	511	125	6,3	21,3
5	20	75	3	13,37947	0,66595	8,84E+05	1,34E+02	1,52E-04	3,818156	431	97	6,3	26,6
10	20	75	3	21,96898	1,10038	8,84E+05	1,00E+02	1,13E-04	3,946922	449	83	6,9	29,7
0	20	75	4	0	0	8,50E+04	8,50E+04	1,00E+00	0	486	113	6,1	21,1
5	20	75	4	13,37947	0,66595	8,50E+04	1,00E+01	1,18E-04	3,928118	429	90	6,3	27,7
0	20	75	5	0	0	8,16E+05	8,16E+05	1,00E+00	0	336	84	6,6	25,4
2	20	75	5	4,02858	0,17783	8,16E+05	6,30E+03	7,72E-03	2,112383	336	84	6,6	27,6
4	20	75	5	9,98448	0,44795	8,16E+05	2,13E+02	2,61E-04	3,583359	336	84	6,6	29,6
6	20	75	5	16,00803	0,73012	8,16E+05	1,00E+01	1,23E-05	4,910095	336	84	6,6	32,6
8	20	75	5	20,11827	0,91578	8,16E+05	2,00E+01	2,45E-05	4,610834	336	84	6,6	33,2
10	20	75	5	21,21709	0,96758	8,16E+05	5,20E+01	6,37E-05	4,195861	336	84	6,6	32,6
0	20	75	6	0	0	3,00E+04	3,00E+04	1,00E+00	0	281	68	6,4	23,6
2	20	75	6	2,73901	0,1592	3,00E+04	3,10E+03	1,03E-01	0,987163	281	68	6,4	22,1
4	20	75	6	9,28531	0,50231	3,00E+04	1,31E+02	4,37E-03	2,359519	281	68	6,4	27,2
6	20	75	6	15,87751	0,85952	3,00E+04	1,00E+01	3,33E-04	3,477556	281	68	6,4	29,6
8	20	75	6	19,44089	1,05859	3,00E+04	1,34E+02	4,47E-03	2,349692	281	68	6,4	30,5
10	20	75	6	20,96064	1,13811	3,00E+04	3,10E+01	1,03E-03	2,987163	281	68	6,4	27,6
0	10	100	1	0	0	1,73E+05	1,73E+05	1,00E+00	0	493	95	6,9	18,6

Tabela 21. Dados originais do trabalho (continuação).

Tempo	L	D	Rep	RG	RUV	No	N	y	log	DQO	SST	pH	T
5	10	100	1	8,33608	0,41289	1,73E+05	6,91E+03	3,99E-02	1,399027	463	77	7,3	24,7
10	10	100	1	13,86137	0,70379	1,73E+05	1,12E+04	6,47E-02	1,189096	408	58	7,5	21,9
0	10	100	2	0	0	3,02E+05	3,02E+05	1,00E+00	0	411	96	6,9	19,2
5	10	100	2	8,16945	0,4047	3,02E+05	9,80E+01	3,25E-04	3,488117	377	65	7,3	25,1
10	10	100	2	13,51388	0,68499	3,02E+05	8,52E+02	2,82E-03	2,549751	395	32	7,6	23,5
0	10	100	3	0	0	3,35E+05	3,35E+05	1,00E+00	0	415	92	6,9	18,6
5	10	100	3	8,16945	0,4047	3,35E+05	6,30E+01	1,88E-04	3,725842	375	64	7,4	25,2
10	10	100	3	13,51388	0,68499	3,35E+05	1,02E+03	3,04E-03	2,517126	386	46	7,5	22,6
0	10	100	4	0	0	2,13E+05	2,13E+05	1,00E+00	0	437	85	6,8	19,8
5	10	100	4	8,16945	0,4047	2,13E+05	1,00E+01	4,69E-05	4,328827	399	72	7,3	25,7
0	10	100	5	0	0	3,08E+06	3,08E+06	1,00E+00	0	311	79	6,5	22,3
2	10	100	5	4,27567	0,20355	3,08E+06	7,40E+03	2,40E-03	2,619789	311	79	6,5	26,5
4	10	100	5	10,64497	0,51458	3,08E+06	3,10E+01	1,01E-05	4,995679	311	79	6,5	32,2
6	10	100	5	17,04952	0,80952	3,08E+06	3,10E+01	1,01E-05	4,995679	311	79	6,5	35,3
8	10	100	5	21,33957	1,00062	3,08E+06	2,33E+02	7,56E-05	4,121478	311	79	6,5	33,5
10	10	100	5	22,61778	1,06033	3,08E+06	3,88E+02	1,26E-04	3,899629	311	79	6,5	28,8
0	10	100	6	0	0	5,79E+06	5,79E+06	1,00E+00	0	416	112	6,5	20,7
2	10	100	6	4,26763	0,20689	5,79E+06	1,78E+04	3,07E-03	2,512862	416	112	6,5	25,7
4	10	100	6	10,65148	0,51244	5,79E+06	6,20E+02	1,07E-04	3,970616	416	112	6,5	31,6
6	10	100	6	17,06248	0,93975	5,79E+06	8,60E+01	1,49E-05	4,826814	416	112	6,5	34,6
8	10	100	6	21,49499	1,0282	5,79E+06	3,10E+01	5,35E-06	5,271646	416	112	6,5	33,3
10	10	100	6	22,83522	1,09392	5,79E+06	5,47E+03	9,45E-04	3,024568	416	112	6,5	27,3
0	20	100	1	0	0	1,35E+05	1,35E+05	1,00E+00	0	349	87	7,1	19,7
5	20	100	1	11,86586	0,59601	1,35E+05	7,40E+02	5,48E-03	2,261219	308	84	7,3	25,1
10	20	100	1	19,78636	1,00495	1,35E+05	9,32E+03	6,90E-02	1,161151	327	60	7,4	21,2
0	20	100	2	0	0	6,83E+05	6,83E+05	1,00E+00	0	287	59	7,1	22,6

Tabela 21. Dados originais do trabalho (continuação).

Tempo	L	D	Rep	RG	RUV	No	N	y	log	DQO	SST	pH	T
5	20	100	2	11,92169	0,57625	6,83E+05	1,00E+01	1,46E-05	4,835647	300	50	7,3	28,7
10	20	100	2	19,84189	0,96567	6,83E+05	3,74E+02	5,48E-04	3,261219	314	42	7,4	27,4
0	20	100	3	0	0	2,42E+07	2,42E+07	1,00E+00	0	393	113	6,3	20,1
5	20	100	3	12,80789	0,67118	2,42E+07	9,21E+04	3,81E-03	2,419075	312	85	6,7	24,6
0	20	100	4	0	0	1,41E+07	1,41E+07	1,00E+00	0	375	109	6,4	20,5
0	20	100	5	0	0	6,30E+04	6,30E+04	1,00E+00	0	281	64	6,4	24
2	20	100	5	2,73901	0,1592	6,30E+04	2,00E+03	3,17E-02	1,498941	281	64	6,4	21,9
4	20	100	5	9,28531	0,50231	6,30E+04	5,39E+02	8,56E-03	2,067526	281	64	6,4	27,5
6	20	100	5	15,87751	0,85952	6,30E+04	1,00E+01	1,59E-04	3,798603	281	64	6,4	29,1
8	20	100	5	19,44089	1,05859	6,30E+04	1,00E+01	1,59E-04	3,798603	281	64	6,4	31,2
10	20	100	5	20,96064	1,13811	6,30E+04	4,10E+01	6,51E-04	3,186419	281	64	6,4	27,4
0	20	100	6	0	0	7,40E+04	7,40E+04	1,00E+00	0	319	84	6,3	23,5
2	20	100	6	2,73901	0,1592	7,40E+04	3,10E+03	4,19E-02	1,377786	319	84	6,3	22
4	20	100	6	9,28531	0,50231	7,40E+04	1,12E+03	1,51E-02	1,821023	319	84	6,3	27,9
6	20	100	6	15,87751	0,85952	7,40E+04	5,04E+02	6,81E-03	2,166853	319	84	6,3	29,7
10	20	100	6	20,96064	1,13811	7,40E+04	6,87E+03	9,28E-02	1,032452	319	84	6,3	27,5
0	10	125	1	0	0	7,94E+05	7,94E+05	1,00E+00	0	429	98	6,9	16,1
5	10	125	1	8,86046	0,43391	7,94E+05	2,00E+01	2,52E-05	4,598599	363	86	7,1	25
10	10	125	1	14,82412	0,74638	7,94E+05	1,03E+02	1,30E-03	2,886057	381	76	7,5	22
0	10	125	2	0	0	4,81E+05	4,81E+05	1,00E+00	0	411	101	6,8	15,9
5	10	125	2	8,86046	0,43391	4,81E+05	7,40E+01	1,54E-04	3,812479	378	84	7	25,5
10	10	125	2	14,82412	0,74638	4,81E+05	8,76E+02	1,82E-03	2,739929	452	86	7,4	22,9
0	10	125	3	0	0	6,44E+05	6,44E+05	1,00E+00	0	335	71	6,9	16,8
5	10	125	3	8,51204	0,41608	6,44E+05	1,00E+01	1,55E-05	4,809668	310	68	7,3	27
10	10	125	3	14,17606	0,71083	6,44E+05	2,14E+02	3,32E-04	3,478862	309	60	7,6	24,1
0	10	125	4	0	0	5,99E+05	5,99E+05	1,00E+00	0	362	75	6,8	16,2

Tabela 21. Dados originais do trabalho (continuação).

Tempo	L	D	Rep	RG	RUV	No	N	y	log	DQO	SST	pH	T
5	10	125	4	8,51204	0,41608	5,99E+05	2,00E+01	3,34E-05	4,476254	327	60	7,2	26,6
10	10	125	4	14,17606	0,71083	5,99E+05	5,20E+01	8,68E-05	4,06148	330	62	7,7	25,5
0	10	125	5	0	0	7,70E+06	7,70E+06	1,00E+00	0	386	106	6,5	20,8
2	10	125	5	4,26763	0,20689	7,70E+06	1,85E+03	2,40E-04	3,619789	386	106	6,5	25
4	10	125	5	10,65148	0,51244	7,70E+06	2,49E+02	3,23E-05	4,490797	386	106	6,5	31,7
6	10	125	5	17,06248	0,93975	7,70E+06	2,00E+01	2,60E-06	5,585027	386	106	6,5	34,8
8	10	125	5	21,49499	1,0282	7,70E+06	4,10E+01	5,32E-06	5,274088	386	106	6,5	33,3
0	10	125	6	0	0	6,69E+05	6,69E+05	1,00E+00	0	427	107	6,4	20,6
2	10	125	6	4,26763	0,20689	6,69E+05	6,89E+03	1,03E-02	1,987163	427	107	6,4	25,1
4	10	125	6	10,65148	0,51244	6,69E+05	2,49E+02	3,72E-04	3,429457	427	107	6,4	31,5
6	10	125	6	17,06248	0,93975	6,69E+05	3,10E+01	4,63E-05	4,334419	427	107	6,4	34,7
8	10	125	6	21,49499	1,0282	6,69E+05	6,30E+01	9,42E-05	4,025949	427	107	6,4	33,1
10	10	125	6	22,83522	1,09392	6,69E+05	6,09E+02	9,10E-04	3,040959	427	107	6,4	27,3
0	20	125	1	0	0	1,35E+05	1,35E+05	1,00E+00	0	359	91	6,8	17,8
5	20	125	1	8,41465	0,4635	1,35E+05	2,03E+02	1,50E-03	2,823909	310	82	7	25,1
10	20	125	1	15,52489	0,84175	1,35E+05	3,64E+02	2,70E-03	2,568636	314	68	7,2	21,7
0	20	125	2	0	0	3,45E+05	3,45E+05	1,00E+00	0	320	80	6,8	20,4
5	20	125	2	8,41465	0,4635	3,45E+05	3,17E+02	9,19E-04	3,036684	351	86	6,9	24,6
10	20	125	2	15,52489	0,84175	3,45E+05	2,30E+03	6,67E-03	2,175874	326	70	7,2	21,8
0	20	125	3	0	0	1,89E+05	1,89E+05	1,00E+00	0	356	73	7,1	19,5
5	20	125	3	11,86586	0,59601	1,89E+05	1,71E+02	9,05E-04	3,043351	298	72	7,2	25,2
10	20	125	3	19,78636	1,00495	1,89E+05	5,20E+01	2,75E-04	3,560667	301	50	7,4	21,5
0	20	125	4	0	0	9,60E+04	9,60E+04	1,00E+00	0	371	96	7,1	19,1
5	20	125	4	11,86586	0,59601	9,60E+04	3,09E+02	3,22E-03	2,492144	326	94	7,3	25,7
10	20	125	4	19,78636	1,00495	9,60E+04	4,10E+01	4,27E-04	3,369572	304	50	7,4	21,9
2	20	125	5	4,02858	0,17783	6,27E+05	4,10E+02	6,54E-04	3,184422	323	72	6,6	27,5

Tabela 21. Dados originais do trabalho (continuação).

Tempo	L	D	Rep	RG	RUV	No	N	y	log	DQO	SST	Ph	T
4	20	125	5	9,98448	0,44795	6,27E+05	1,00E+01	1,59E-05	4,798603	323	72	6,6	29,9
6	20	125	5	16,00803	0,73012	6,27E+05	1,00E+01	1,59E-05	4,798603	323	72	6,6	32,1
8	20	125	5	20,11827	0,91578	6,27E+05	5,20E+01	8,29E-05	4,081445	323	72	6,6	33,3
10	20	125	5	21,21709	0,96758	6,27E+05	1,00E+01	1,59E-05	4,798603	323	72	6,6	32,6
2	20	125	6	4,02858	0,17783	3,27E+05	7,40E+02	2,26E-03	2,645892	341	76	6,6	27,9
4	20	125	6	9,98448	0,44795	3,27E+05	1,00E+01	3,06E-05	4,514279	341	76	6,6	29,6
6	20	125	6	16,00803	0,73012	3,27E+05	1,00E+01	3,06E-05	4,514279	341	76	6,6	32,5
8	20	125	6	20,11827	0,91578	3,27E+05	1,00E+01	3,06E-05	4,514279	341	76	6,6	33,6
10	20	125	6	21,21709	0,96758	3,27E+05	4,10E+01	1,25E-04	3,90309	341	76	6,6	32,5

Onde, Tempo = tempo de residência (h); L = Lâmina de efluente em tratamento (cm); D = dose de H₂O₂ (mg L⁻¹); Rep = Repetição; RG = Radiação solar global (MJ m⁻²); RUV = Radiação Ultravioleta (MJ m⁻²); No = População inicial de *E. coli* (NMP 100 mL⁻¹); N = População remanescente de *E. coli* (NMP 100 mL⁻¹); y = razão N/No; log = Redução logarítmica (log(1/y)); DQO = Demanda Química de Oxigênio (mg L⁻¹); SST = Sólidos Suspensos Sotais (mg L⁻¹); pH = Potencial hidrogeniônico; T = Temperatura do efluente (°C).