

## DESINFECÇÃO SOLAR: UMA SOLUÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

J. G. T. Queluz\*, T. R. Alves, R. M. Sánchez-Román

*Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP – Univ Estadual Paulista, Campus de Botucatu, SP, Brasil*

### RESUMO

Nas últimas décadas diversos estudos mostraram a eficiência dos raios UV para a remoção de patógenos das águas. A radiação solar, que tem um componente importante de radiação UV, afeta as cadeias do DNA dos microorganismos causando a perda da sua atividade biológica seguida da morte celular, pela incapacidade de se reproduzir. Existem diversos modelos e maneiras de realizar a desinfecção solar. De modo geral, o sistema é composto apenas por um recipiente que permita a exposição da água à radiação solar. Para isso, podem ser utilizadas garrafas PET, garrafas de vidro, reatores, caixas de concreto, etc. Estas características justificam seu baixo custo de instalação e manutenção e, portanto, torna essa tecnologia adequada para ser adotada por países em desenvolvimento e/ou comunidades rurais de baixa renda. A SODIS é, portanto, uma ótima alternativa para regiões entre as latitudes com maior incidência de raios UV, onde está localizado grande parte dos países em desenvolvimento. A desinfecção solar, além de ser uma tecnologia simples e barata, não produz subprodutos tóxicos.

**Palavras-chave:** Radiação solar; Desinfecção; Águas residuárias

### SOLAR DISINFECTION: A SOLUTION OF LOW COST FOR WASTE WATER TREATMENT

#### ABSTRACT

In the last decades, many studies have shown the efficiency of UV rays in the removal of pathogens from water. Solar radiation has an important component of UV radiation which affects the DNA chains of the microorganisms causing the loss of its biological activity resulting in reproduction incapacity and cell death. There are several models and ways to carry out solar disinfection. In brief, the system consists of a container which allows water exposure to solar radiation. For so, it might be used either PET or glass bottles, concrete containers, reactors, etc. These characteristics explain its low costs of installation and maintenance and, therefore, makes this technology suitable to be adopted by developing countries and/or low-income rural communities. SODIS is, therefore, a great alternative for regions with higher UV radiation incidence, where are located most part of the developing countries. Besides being an inexpensive and simple technology, SODIS does not produce toxic byproducts.

**Keywords:** Solar radiation; Disinfection; Wastewater

---

\* [queluz@fca.unesp.br](mailto:queluz@fca.unesp.br)

## INTRODUÇÃO

O objetivo da desinfecção de águas residuárias não é a eliminação total dos microrganismos, mas sim a diminuição da concentração de patógenos até níveis de qualidade necessários para diferentes usos do efluente (GONÇALVES et al., 2003a).

A desinfecção das águas residuárias pode ser realizada utilizando-se métodos químicos, biológicos, físicos e/ou fotoquímicos (TCHOBANOGLIOUS et al., 2003; ACHER et al., 1997; ROJKO, 2003; VON SPERLING et al., 2003). Segundo GONÇALVES et al. (2003a) os processos de desinfecção podem ser divididos em artificiais ou naturais, os quais de forma combinada ou isolada utilizam agentes químicos, físicos e biológicos para inativar microrganismos patogênicos.

A principal forma de desinfecção realizada nas estações de tratamento em todo o mundo, inclusive no Brasil, é a cloração (AISSE et al., 2003). Processo de desinfecção química que utiliza cloro, mas que apresenta significativas desvantagens, uma vez que o cloro pode reagir com material orgânico formando compostos cancerígenos e, também, porque existem microrganismos resistentes a esse tratamento (PONTIS, 1990; REGLI, 1992).

Os métodos físicos baseiam-se na retenção mecânica dos microrganismos por filtragem ou pelo aquecimento do líquido. A desinfecção fotoquímica tem efeito

bactericida quando os fótons de luz são absorvidos pelos fotosintetizadores, passando a um estado de excitação elétrica e reagindo com moléculas de oxigênio, produzindo espécies reativas do oxigênio que causam ruptura das pontes de hidrogênio do material genético das bactérias (KEHOE et al., 2001).

No entanto, a maioria dos métodos de desinfecção são processos dispendiosos e que muitas vezes necessitam de mão de obra especializada, ou seja, são de difícil aplicabilidade em pequenas propriedades e em comunidades de baixa renda sem infraestrutura para construir e manter o sistema operante. Para que países em desenvolvimento e/ou comunidades rurais de baixa renda possam utilizar águas residuárias domésticas (ARD) na agricultura com poucos riscos sanitários faz-se necessário à adoção de um sistema de desinfecção eficaz, com baixo custo de instalação, que não precise de produtos químicos ou energia elétrica, de infraestrutura simples, de fácil utilização e com manutenção pouco dispendiosa.

Uma alternativa bastante promissora para o preenchimento destas características é o processo de desinfecção solar (SODIS: *solar disinfection*), uma vez que a radiação solar é uma fonte de energia limpa e renovável, que não gera subprodutos tóxicos e está disponível a todos.

## DESINFECÇÃO SOLAR

O primeiro trabalho que constatou o efeito da luz sobre bactérias e outros organismos foi realizado no final do século XIX por DOWNES & BLUNT (1877), que relataram os efeitos inibidores da radiação solar sobre o crescimento bacteriano.

Porém, foi somente no final do século XX, em Beirute, que a tecnologia SODIS foi estudada e desenvolvida como uma solução extremamente barata para a desinfecção de água para consumo humano (ACRA et al., 1984). Os resultados obtidos mostraram que é possível diminuir em três logaritmos (log) a concentração de *E. coli*

com apenas 75 minutos de exposição à radiação solar e que os maiores efeitos germicidas são observados na amplitude de onda correspondente à dos raios UV.

Segundo OATES (2001) o sol emite energia na forma de radiação eletromagnética e a tecnologia SODIS utiliza a energia de diferentes bandas do espectro eletromagnético para destruir os patógenos. No espectro eletromagnético, a radiação UV está localizada entre os raios-X e a luz visível, com comprimento de onda variando entre 100 a 400nm, sendo dividida em quatro faixas de onda: UV-

Vácuo (100 a 200nm), UV-C (200 a 280nm), UV-B (280 a 315nm) e UV-A (315 a 400nm) (USEPA, 2003).

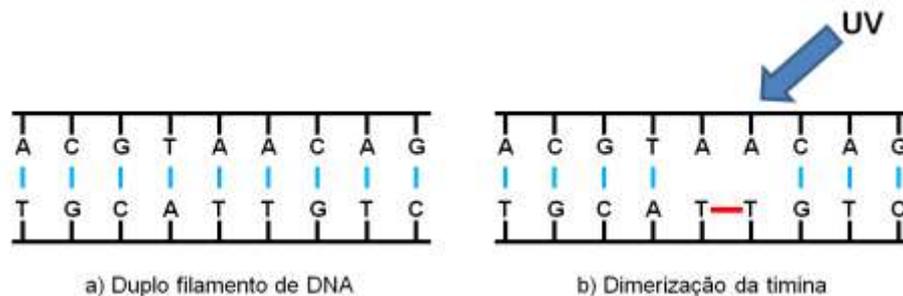
Para os humanos, a UV-B é a radiação mais perigosa, pois é a principal responsável pela ocorrência de câncer de pele e é parcialmente absorvida na atmosfera (RYER, 1997). Entretanto, para os microrganismos a radiação UV-C é a mais letal, porque é na faixa de onda de 260nm que ocorre a absorção máxima de radiação por seu material genético (USEPA, 2003).

### Mecanismos de ação

A inativação dos microrganismos por radiação UV é provocada, principalmente, pelos danos causados ao material genético (DNA/RNA), o qual é formado por bases nitrogenadas unidas por pontes de hidrogênio (HIJNEN et al., 2006). A energia incidente lesa o DNA rompendo as pontes de hidrogênio e causando dimerização das bases nitrogenadas

A camada de ozônio na atmosfera terrestre absorve grande parte da radiação UV-C e UV-B, permitindo que apenas a radiação UV-A atinja a superfície em quantidades significativas (EAWAG/SANDEC, 2002). Portanto, o efeito bactericida da radiação solar está associado principalmente à radiação UV-A (315 a 400nm), como demonstrado nos trabalhos de ACRA et al. (1984) e WEGELIN et al. (1994).

pirimídicas de um mesmo filamento de cromossomo (Figura 1). Estas alterações resultam na perda da função biológica, inclusive na capacidade de se reproduzir (VON SONNTAG et al., 2004). Nesta situação, os microrganismos que, eventualmente, conseguirem se duplicar serão mutantes incapazes de se reproduzirem (WEF, 1996).



**Figura 1** - Efeito da radiação UV sobre o material genético bacteriano (Fonte: Adaptado de Gonçalves et al., 2003b).

Entretanto, há dois mecanismos naturais que permitem a recuperação do DNA dos microrganismos lesados por radiação solar: o primeiro na presença de luz e o segundo na sua ausência (HIJNEN et al., 2006). Na reativação na presença de luz, denominada fotorreativação, ocorre monomerização dos dímeros pela ação de enzimas que se ativam com a incidência de radiação com comprimento de onda entre 310 a 480nm (TOSA & HIRATA, 1999; OGUMA, et al., 2001). O processo de reativação que ocorre na ausência de luz, denominado de recuperação no escuro, remove a sequência danificada do material

genético e faz uma nova síntese do DNA (JUNGFER et al., 2007).

Obviamente, estes mecanismos de reativação afetam negativamente o processo de desinfecção UV e devem ser considerados para avaliação correta da eficiência da desinfecção (CHERNICHARO, 2001). Uma maneira de minimizar os efeitos da reativação é o aumento da dose de radiação UV, para que os danos no DNA sejam intensificados e minimize-se a possibilidade de reparação de todos os danos sofridos pelo material genético (GONÇALVES et al., 2003b).

Outro mecanismo de inativação de patógenos causado pela radiação UV é a

formação de espécies reativas de oxigênio (ROS: reactive oxygen species). Segundo FISHER et al. (2008), a radiação UV induz a formação de superóxidos ( $O_2^-$ ), peróxidos de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e radicais hidroxilas (OH). Os ROS conseguem oxidar ácidos nucleicos, enzimas e lipídeos dos microrganismos, causando perda da função biológica e consequente morte celular (MONCAYO-LASSO et al., 2009).

### ***Eficiência da desinfecção solar***

Diversas variáveis, tais como sólidos suspensos totais (SST), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), dureza, pH, temperatura, variações sazonais de incidência luminosa e tipo de microrganismo, podem alterar a eficiência do processo de desinfecção UV (WEGELIN et al., 1994; JOYCE et al., 1996; SOLARTE et al., 1997; KEHOE et al., 2001; BURGESS & ONYONGE, 2002).

Os SST alteram a eficiência do processo porque protegem os microrganismos, uma vez que impedem a penetração e absorvem a radiação incidente. Também, a DBO quando composta de grande quantidade de matéria húmica, pode reduzir a eficiência do processo, pois materiais húmicos têm elevada absorvância de raios UV. A dureza e o pH afetam a solubilidade de metais que podem absorver a radiação UV (USEPA, 1999).

A temperatura altera a configuração do DNA e a atividade das enzimas reparadoras (USEPA, 2003). Segundo MALATO et al. (2009) temperaturas entre 20 e 40°C não afetam a inativação de bactérias por radiação UV, mas

### ***Experiências práticas***

De acordo com MEIERHOFER & LANDOLT (2009) a tecnologia SODIS já é utilizada para a desinfecção de água para consumo por mais de dois milhões de pessoas em 33 países e os resultados obtidos pela adoção da SODIS nesses países mostram que é possível reduzir drasticamente a ocorrência de casos de

REED (1997) avaliou a eficiência da desinfecção solar em condições aeróbias e anaeróbias e mostrou que a eficiência da desinfecção solar na inativação de bactérias é maior em condições aeróbias e que a presença inicial de altas concentrações de oxigênio dissolvido facilita a formação de formas reativas de oxigênio que consequentemente, aceleram o processo de inativação microbiológica através da radiação solar.

temperaturas iguais ou superiores à 45°C atuam em sinergismo com a radiação e aceleram o processo de desinfecção solar.

A radiação solar incidente sobre a superfície terrestre sofre variações sazonais. A intensidade dessas variações depende diretamente da latitude local e é responsável pelas características do clima local. Portanto, as mudanças na intensidade de incidência de radiação solar afetam diretamente a eficiência da desinfecção solar e deve ser considerada antes da utilização da tecnologia SODIS. Além disso, a radiação solar também está sujeita às alterações diárias de incidência devido às condições de nebulosidade (EAWAG/SANDEC, 2002).

Finalmente, outra variável importante é o tipo de microrganismo presente no efluente, pois a desinfecção UV é muito eficiente na remoção de bactérias, vírus, mas os cistos de protozoários e ovos de helmintos têm mecanismos de defesa natural que os tornam resistentes à radiação UV (GONÇALVES et al., 2003b, KEHOE et al., 2004; HEASELGRAVE et al., 2006; BOYLE, 2008; HEASELGRAVE & KILVINGTON, 2011).

diarreia. Os mesmo autores estimaram que a razão entre custo-benefício da adoção desse sistema pode chegar até 1:49, ou seja, para cada dólar investido na SODIS (compra ou troca dos recipientes) é possível economizar 49 dólares no setor da saúde.

O estudo de SCIACCA et al. (2010) avaliou a eficiência da desinfecção solar em garrafas PET com e sem a adição de peróxido de hidrogênio utilizando como indicadores dois grupos de bactérias: Coliformes totais e *Salmonella* sp. Os autores também avaliaram o recrescimento bacteriano nas 72 horas seguintes ao processo de desinfecção. Nas garrafas que foram expostas à radiação sem a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> as populações de Coliformes totais e *Salmonella* sp. foram inativadas respectivamente em três e quatro horas de tempo de exposição. Porém, as populações de *Salmonella* sp. apresentaram recrescimento nas horas seguintes ao tratamento. Nas amostras com a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> as populações bacterianas tanto de Coliformes totais quanto de *Salmonella* sp. foram inativadas em 30 minutos e não apresentaram recrescimento nas 72 horas seguintes.

O uso de diferentes sacolas plásticas de polietileno de baixa densidade como reatores para desinfecção solar foi avaliado por DUNLOP et al. (2011) em condições laboratoriais. O material contido em sacolas inteiramente transparentes apresentou 7 log de inativação de *E. coli* com 150 minutos de tratamento, enquanto que o das sacolas com fundo preto, com fundo refletivo e com fundo composto (preto e refletivo) só foi necessário 120 minutos de exposição para atingir 7 log de inativação de *E. coli*. No tratamento com a sacola transparente a temperatura começou em 25°C e terminou com 45°C, já na sacola com fundo preto a temperatura de 45°C foi atingida com 60 minutos de tratamento e chegou a aproximadamente 50°C no final dos 120 minutos de exposição. No mesmo experimento os autores compararam eficiência do uso das sacolas transparentes com uso de garrafas PET para a SODIS em condições de campo. Em 240 minutos o conteúdo da sacola apresentou inativação de 6,5 log enquanto que o das garrafas apresentaram 3,5 log de inativação de *E. coli*. Estes achados estão diretamente associados com a maior área de exposição e com a menor lâmina que as sacolas apresentam em relação às garrafas PET.

Tendo em vista que o uso de garrafas e bolsas para a desinfecção solar só permite que pequenos volumes sejam tratados ( $\leq 3$  litros), UBOMBA-JASWA et al. (2010) desenvolveram um reator solar aperfeiçoado com capacidade de 25 L. Os autores desenvolveram o reator com base nos seguintes princípios: uso de material de baixo custo, deveria ser resistente e apresentar gastos inexpressivos com manutenção. Os resultados obtidos com o uso desse reator foram promissores e mostraram que em dias ensolarados é possível remover completamente as populações de *E. coli* com apenas 5 horas de exposição à radiação solar e, quando a temperatura da água excedeu 45°C, foi possível inativar completamente as bactérias em águas com elevada turbidez (100 NTU) com 7 horas de exposição ao sol.

De acordo com SÁNCHEZ-ROMÁN et al. (2007), as limitações dos estudos realizados sobre o uso da radiação UV para a desinfecção de ARD por famílias de baixa renda nos países em desenvolvimento incluem: (1) o processo necessita de lâmpadas ou de estruturas complexas para serem construídas e mantidas; (2) a maioria dos trabalhos é realizado com enfoque em água para consumo humano e não em água para irrigação; (3) a maioria dos sistemas desenvolvidos necessita de energia elétrica, que pode ser indisponível em áreas rurais.

Com base nesses argumentos, SÁNCHEZ-ROMÁN et al. (2007) desenvolveram um reator para desinfecção solar de ARD com formato quadrado de 1,5 metros de lado e 0,4 metros de profundidade, mostrando que a SODIS pode ser utilizada para desinfetar ARD até níveis adequados para o reúso na agricultura ( $\leq 1000$  NMP 100 mL<sup>-1</sup>) e que o reator solar é recomendado para profundidades de até 0,20 metros de lâminas de ARD. Uma eventual limitação do sistema desenvolvido por SÁNCHEZ-ROMÁN et al. (2007) é a forma estrutural do reator, com paredes verticais que formavam um ângulo de 90° com o fundo do reator, pois dependendo do ângulo de

incidência dos raios solares ocorria a formação de sombras dentro do reator, diminuindo a área de exposição da ARD e, conseqüentemente a eficiência do processo de desinfecção solar.

Portanto, com o intuito de aperfeiçoar o sistema de SÁNCHEZ-ROMÁN et al. (2007), QUELUZ & SÁNCHEZ-ROMÁN (2014) desenvolveram um sistema de desinfecção solar (Figura 2), composto por três reatores ao nível do solo e à base de concreto. Os

reatores têm a forma de tronco cônico invertido e dimensões idênticas, isto é raio maior, raio menor e altura de, respectivamente, 1,00 metros, 0,25 metros e 0,30 metros. Essas dimensões implicam em um ângulo de inclinação de 21,8° na parede da estrutura. Para avaliar a relação entre a eficiência da desinfecção solar e o sinergismo entre temperatura e reflexão cada reator recebeu diferentes tipos de colorações: preta, branca e concreto.



**Figura 2** – Sistema para desinfecção solar de águas residuárias domésticas (Fonte: QUELUZ & SÁNCHEZ-ROMÁN, 2014).

Os resultados deste estudo mostram que o sistema é eficiente na desinfecção de ARD até níveis adequados para reúso agrícola e que não existe diferença significativa entre a eficiência do processo de SODIS nos reatores utilizando diferentes cores. Entretanto, o tempo necessário de exposição da ARD à radiação solar pode ser maior que três dias. Além disso, com os dados coletados QUELUZ & SÁNCHEZ-ROMÁN (2014) desenvolveram um modelo matemático que representa a população remanescente de coliformes fecais em águas residuárias após serem expostas à determinada dose de radiação solar direta (Equação 1).

## CONCLUSÃO

A SODIS é uma solução simples e de baixo custo para desinfetar águas

residuárias domésticas e, assim, possibilitar o seu reúso na agricultura

$$y = \frac{N}{N_0} = \frac{1}{10^{(1,254741 + 0,703179RUV - 0,006492SST)}} \quad \text{Eq (1)}$$

Em que N é a população remanescente de E. coli após a ARD ser expostas à componente UV da radiação solar (NMP 100 mL<sup>-1</sup>); N<sub>0</sub> a população inicial de E. coli presente na ARD (NMP 100 mL<sup>-1</sup>); RUV é a dose de radiação UV (MJ m<sup>-2</sup>); e SST é a concentração de sólidos suspensos totais (mg L<sup>-1</sup>).

irrigada. Portanto, é uma tecnologia ideal para ser adotada por países em desenvolvimento e/ou comunidades rurais de baixa renda.

Entretanto, para diminuir os riscos sanitários associados ao reúso de ARD na agricultura a realização de novos estudos é

necessária para aprimorar a tecnologia SODIS. A execução de mais trabalhos permitiria aumentar a eficiência do processo, ou seja, obter níveis adequados para reúso de ARD na agricultura em tempos reduzidos de exposição do efluente à radiação solar.

## REFERÊNCIAS

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.

AISSE, M. M.; CORAUCCI FILHO, B.; ANDRADE NETO, C. O.; JÜRGENSEN, D.; LAPOLLI, F. R.; MELO, H. M. S.; PIVELI, R. P.; LUCCA, S. J. CLORAÇÃO E DESCLORAÇÃO. In: Rede Cooperativa de Pesquisas, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas: Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquíicultura e hidroponia. Rio de Janeiro: Abes, 2003. p. 113-168.

ARCHER, A.; FISCHER, E.; TURNHEIN, R.; MANOR, Y. Ecologically Friendly Wastewater Disinfection Techniques. **Water Research**, Delft, Netherlands, v. 31, n. 6, p.1398-1404, 1997.

BOYLE, M.; SICHEL, C.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; ARIAS-QUIROZ, G. B.; IRIARTE-PUÑA, M.; MERCADO, A.; UBOMBA-JASWA, E.; MCGUIGAN, K. G. Bacterial effect of solar water disinfection under real sunlight conditions. **Applied And Environmental Microbiology**, Washington-dc, v. 74, n. 10, p.2997-3001, 2008.

BURGESS, S.; ONYONGE, C. Solar disinfection of water (A case study from Kenya). Em: 28<sup>th</sup> WEBC Conference – Sustainable Environmental Sanitation and Water Services, Kolkata (Calcutta), India, p.51-54, 2002.

CHERNICHARO, C. A. L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Rede Cooperativa de Pesquisas, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, 2001. 544 p.

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.

DUNLOP, P. S. M.; CIAVOLA, M.; RIZZO, L.; BYRNE, J. A. Inactivation and injury assessment of *Escherichia coli* during solar and photocatalytic disinfection in LDPE bags. **Chemosphere**, v. 85, n. 7, p.1160-1166, 2011.

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

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.

GONÇALVES, R. F.; JORDÃO, E. P.; SOBRINHO, P. A. Introdução. In: Rede Cooperativa de Pesquisas, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas: Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquíicultura e hidroponia. Rio de Janeiro: Abes, 2003a. p. 1-26.

GONÇALVES, R. F.; CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C. A. L.; LAPOLLI, F. R.; AISSE, M. M.; PIVELI, R. P. Desinfecção por radiação ultravioleta. In: Rede Cooperativa de Pesquisas, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas: Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia. Rio de Janeiro: Abes, 2003b. p. 209-275.

HEASELGRAVE, W.; PATEL, N.; KILVINGTON, S.; KEHOE, S. C.; MCGUIGAN, K. G. Solar disinfection of poliovirus and Acanthamoeba polyphaga cysts in water: a laboratory study using simulated sunlight. **Letters in Applied Microbiology**, v. 43, n. 2, p.125-130, 2006

HEASELGRAVE, W.; KILVINGTON, S. The efficacy of simulated solar disinfection (SODIS) against Ascaris, Giardia, Acanthamoeba, Naegleria, Entamoeba and Cryptosporidium. **Acta Tropica**, v. 119, n. 2-3, p.138-143, 2011.

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.

JOYCE, T. M.; MCGUIGAN, K. G.; ELMORE-MEEGAN, M.; CONROY, R. M. Inactivation of Fecal Bacteria in Drinking Water by Solar Heating. **Applied And Environmental Microbiology**, v. 62, n. 2, p.399-402, 1996.

JUNGFER, C.; SCHWARTZ, T.; OBST, U. UV-induced dark repair mechanisms in bacteria associated with drinking water. **Water Research**, v. 41, n. 1, p.188-196, 2007.

KEHOE, S. C.; JOYCE, T. M.; IBRAHIM, P.; GILLESPIE, J. B.; SHAHAR, R. A.; MCGUIGAN, K. G. Effect of Agitation, Turbidity, Aluminium Foil Reflectors and Container Volume on the Inactivation Efficiency of batch-process solar

disinfectors. **Water Research**, v. 35, n. 4, p.1061-1065, 2001.

KEHOE, S. C.; BARER, M. R.; DEVLIN, L. O.; MCGUIGAN, K. G. Batch process solar disinfection is an efficient means of disinfecting drinking water contaminated with Shigella dysenteriae type I. **Letters In Applied Microbiology**, v. 38, n. 5, p.410-414, 2004.

MALATO, S.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; MALDONADO, M. I.; BLANCO, J.; GERNJAK, W. Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends. **Catalysis Today**, v. 147, n. 1, p.1-59, 2009.

MEIERHOFER, R.; LANDOLT, G. Factors supporting the sustained use of solar water disinfection: Experiences from a global promotion and dissemination programme. **Desalination**, v. 248, n. 1, p.144-151, 2009.

MONCAYO-LASSO, A.; SANABRIA, J.; PULGARIN, C.; BENÍTEZ, N. Simultaneous E. coli Inactivation and NOM 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.

OATES, P. M. Solar disinfection for point of use water treatment in haiti. 2001. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Department Of Civil And Environmental Engineering, Massachusetts Institute Of Technology, Cambridge, 2001.

OGUMA, K.; KATAYAMA, H.; MITANI, H.; MORITA, S.; HIRATA, T.; OHGAKI, S. Determination of pyrimidine dimers in Escherichia coli and Cryptosporidium parvum during UV light inactivation, photoreactivation, and dark repair. **Applied And Environmental Microbiology**, v. 67, n. 10, p.4630-4637, 2001.

PONTIS, F.W. Water Quality and Treatment: A Handbook of Community

Water Supplies. 4. ed. New York, Ny, Usa: Mcgraw-hill Professional, 1990.

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.

REGLI, S. Disinfection requirements to control for microbial contamination. In: GILBERT, C. E.; CALABRESE, E. J. (Org.). **Regulating Drinking Water Quality**. Mich, USA: Lewis, 1992.

ROJKO, C. Solar disinfection of drinking water. 2003. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Worcester Polytechnic Institute, Worcester, Massachusetts, USA, 2003.

RYER, A. D. Light measurement handbook. Newburyport: International Light Inc, 1997. 64 p. (Technical Publications).

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; SEDIYAMA, G. C.; DESOUSA, 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.

SCIACCA, F.; RENGIFO-HERRERA, J. A.; WETHE, J.; PULGARIN, C. Dramatic enhancement of solar disinfection (SODIS) of wild Salmonella sp. In PET bottles by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> addition on natural water of Burkina Faso containing dissolved iron. **Chemosphere**, v. 78, n. 9, p.1186-1191, 2010.

SOLARTE, Y.; SALAS, M. L.; SOMMER, B.; DIEROLF C.; WEGELIN, M. Uso de la radiación solar (UV-A y temperatura) en la inactivación del Vibrio cholerae en agua para consumo humano: Factores que condicionan la eficiencia del proceso. *Colombia Médica*, v. 28, n. 3, p.123-129, 1997

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse. 4. ed. Boston: Mcgraw-hill Professional, 2003. 1819 p. (METCALF & EDDY INC.).

TOSA, K.; HIRATA, T. Photoreactivation of enterohemorrhagic Escherichia coli following UV disinfection. **Water Research**, v. 33, n. 2, p.361-366, 1999.

UBOMBA-JASWA, E.; 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. Wastewater technology fact sheet: ultraviolet disinfection. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 1999. (EPA/832/F-99/064).

USEPA – U. S. Environmental Protection Agency. Ultraviolet Disinfection Guidance Manual: DRAFT, 478. Washington-dc: United States Environmental Protection Agency, 2003. (4601/ 815-D-03-007).

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, aquíicultura e hidroponia. Rio de Janeiro: Abes, 2003. p. 276-336.

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.

WEF – Water Environment  
Federation. Wastewater  
disinfection: manual of practice FD-10.  
Alexandria: WEF, 1996. 299 p.

WEGELIN, M. CANONICA, S.;  
MECHSNER, K.; 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.