

I-023 – INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS FÍSICOS NA INATIVAÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES ATRAVÉS DA DESINFECÇÃO SOLAR, SODIS

Márcio Pessoa Botto⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Saneamento Ambiental no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará. Professor do curso de Saneamento Ambiental da Faculdade de Tecnologia CENTEC.

Francisco Suetônio Bastos Mota

Doutor em Saúde Ambiental pela Universidade de São Paulo. Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará

Endereço⁽¹⁾: Rua Nunes Valente, 687; apt-1901. Bairro: meireles. CEP: 60125-070. Fortaleza, CE - Brasil. Telefones: (85) 3224 0117; (85) 9995 1578. E-mail: marciobotto@yahoo.com.

RESUMO

O pré-requisito básico para viabilizar a desinfecção solar é a intensidade de radiação solar incidente. O método SODIS, utiliza duas componentes da radiação: UV-A, responsável pela modificação do DNA dos microorganismos e a radiação infravermelha, responsável pelo aumento da temperatura da água. A presente pesquisa visa avaliar a influência dos parâmetros físicos (temperatura e radiação solar) na inativação de coliformes termotolerantes a partir do método em batelada de desinfecção solar, SODIS, para as condições climatológicas do Estado do Ceará. Os resultados comprovaram que a temperatura e a intensidade de radiação solar são diretamente proporcionais à taxa de remoção; quanto maiores esses parâmetros, maior é a velocidade de decaimento bacteriano. Foi encontrada uma forte correlação linear entre as variáveis agrupadas, $R^2 = 0,9909$ (constante de decaimento bacteriano x temperatura da água) e $R^2 = 1$, (correlação perfeita - constante de decaimento bacteriano x radiação solar). Após 6 horas de exposição, foi alcançada elevada eficiência de remoção, acima de 99,999%, sempre com temperaturas abaixo de 44°C. Com base nesses resultados, seria mais apropriado considerar a radiação solar como o agente desinfetante, associada à temperatura

PALAVRAS-CHAVE: Radiação solar, SODIS, desinfecção de água, temperatura.

INTRODUÇÃO

A literatura especifica que a radiação ultravioleta estudada como alternativa à cloração, por ter o intuito de minimizar a formação de precursores de THM (trialometanos) e outros subprodutos, atua como meio físico, atingindo principalmente os ácidos nucléicos dos microrganismos, promovendo reações fotoquímicas que inativam os vírus e bactérias (PROSAB, 2001). Sabe-se, também, que o aquecimento da água tem efeito germicida, através da sensibilidade dos microrganismos às altas temperaturas. O sol, fonte inesgotável, universal e gratuita tanto de radiação UV como de calor, alia esses dois efeitos para ser o insumo principal de um sistema de desinfecção de água, considerado uma opção simples e de baixo custo, principalmente para o uso em comunidades difusas (MONTEIRO; BRANDÃO; SOUZA, 2002).

SODIS, sigla em inglês para desinfecção solar, foi primeiramente estudada por Aftim Acra, em 1984, e posteriormente aprimorada pelo instituto EAWAG, na Suíça. O SODIS, método em batelada, extremamente simples e barato, dispensa o fornecimento de energia elétrica e utiliza apenas garrafas tipo PET (Polietileno tereftalato) como insumo e o sol, universalmente disponível e gratuito (EAWAG/SANDEC, 2005).

Mercado; Romero; Coronado (2005) classificam o SODIS como um “método ambientalmente sustentável no tratamento de água para consumo humano a nível domiciliar em localidades onde a população corre risco de consumir água microbiologicamente contaminada”.

O pré-requisito básico para viabilizar a desinfecção solar em certa localidade é o grau de radiação solar incidente. Conforme Zapp et al. (1987 apud Prosab 2001) é necessário um mínimo de duas horas de exposição a 600W/m² de radiação solar global direta, para se fazer uso da desinfecção solar.

Segundo SODIS (2003), o método SODIS, utiliza duas componentes da radiação: UV-A, responsável pela modificação do DNA dos microorganismos e a radiação infravermelha, responsável pelo aumento da temperatura da água.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência dos parâmetros físicos (temperatura e radiação solar) na inativação de coliformes termotolerantes a partir do método em batelada de desinfecção solar, SODIS para as condições climatológicas do Estado do Ceará.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na estação meteorológica da Universidade Federal do Ceará. Para sua realização, foi utilizada uma estação automática, equipada com um Datalogger, um painel solar para alimentação da bateria e 12 termopares tipo T para medição da temperatura da água.

Os experimentos foram realizados utilizando amostras de água contaminada sinteticamente com esgoto bruto, resultando na concentração de coliformes termotolerantes de 10^5 NMP.100mL⁻¹.

Garrafas PET, transparentes de 2 litros, foram preenchidas com as amostras de água e expostas à radiação solar sobre cinco tipos de superfície (telha de amianto, telhado cerâmico, alumínio, concreto pintado de preto e concreto pintado de branco) durante o horário de 09h00min as 15h00min, horário este escolhido, por ser o de maior insolação na região. A frequência de amostragem foi definida de hora em hora (1, 2, 3, 4, 5, 6 horas). Em cada alíquota de amostra, para cada bateria de ensaio, foram realizadas as medições de concentração de coliformes termotolerantes, temperatura da água e coletados, através da estação climatológica, os dados de radiação solar global.

Foram realizadas 3 baterias de ensaio, totalizando 102 amostras, 6 de água bruta, 90 de garrafas expostas ao sol e 6 amostras controle (longe da radiação solar).

O método utilizado para a determinação da constante de decaimento bacteriano k foi o método dos mínimos quadrados, de Reed-Theriault. O modelo matemático consistiu em um processo iterativo que procurou otimizar a função objetivo, em termos de minimização dos erros quadrados entre os valores observados e calculados a partir da lei de Chick (VON SPERLING, 1996). Para tal, foi utilizada a ferramenta solver do Excel.

A partir dos dados climatológicos coletados pela estação automática, das temperaturas medidas pelos termopares e das taxas de decaimento bacteriano (coliformes termotolerantes) obtidas pelo solver, foi feita a correlação desses parâmetros através de diagramas de dispersão.

Para a determinação de coliformes, o método usado foi o da Fermentação em Tubos Múltiplos com Meio A1 DIFCO® baseado no NMP (Número Mais Provável). Essa metodologia está preconizada pelo “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, publicação da American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF).

RESULTADOS

Em apenas duas horas de exposição, foi verificado mais de 90% de remoção de coliformes termotolerantes nas amostras. Após 6 horas, todas as superfícies apresentaram elevadas eficiências, 99,999% para o concreto pintado de preto; 99,997% para a telha de barro; 99,999% para a bacia de alumínio e 100% para o concreto pintado de branco e para a telha de amianto (Tabela 1).

Tabela 1 – Concentração média de coliformes termotolerante em função do tempo de exposição – etapa de superfície. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

Tempo	coliformes termotolerantes [NMP/100mL]				
	concreto branco	concreto preto	telha de amianto	telha de barro	bacia de alumínio
0	1,83E+05	1,83E+05	1,83E+05	1,83E+05	1,83E+05
1	8,96E+04	8,04E+04	6,21E+04	8,62E+04	1,44E+05
2	3,07E+03	1,03E+04	2,43E+03	5,05E+03	6,10E+03
3	2,69E+02	1,02E+03	1,55E+02	1,36E+02	1,68E+02
4	2,10E+01	7,66E+01	1,36E+01	6,03E+01	3,06E+01
5	2,76E+00	1,59E+00	5,43E+00	3,91E+00	2,00E+00
6	0,00E+00	2,00E+00	0,00E+00	5,14E+00	2,00E+00

Os valores médios da constante de decaimento bacteriano obtidas das superfícies concreto pintado de branco e telha de amianto foram superiores às demais superfícies, uma vez que as mesmas proporcionaram uma maior eficiência na desinfecção. Os valores das constantes nas diferentes superfícies, em ordem crescente, foram: 0,26 h^{-1} para o concreto pintado de preto; 0,27 h^{-1} para a telha de barro; 0,29 h^{-1} para a bacia de alumínio; 0,30 h^{-1} para a superfície branca e 0,31 h^{-1} para a telha de amianto.

Ao correlacionar as médias de temperatura das amostras de água e radiação solar global com as médias diárias das constantes de decaimento bacteriano “k” identificou-se (Figuras 01 e 02) uma forte correlação linear entre as variáveis agrupadas, $R^2 = 0,9909$ (constante k x temperatura da água) e $R^2 = 1$, (correlação perfeita - constante “k” x radiação solar). Os valores correlacionados mostraram-se diretamente proporcionais. Na Tabela 3, observa-se que, no dia 31 de janeiro, registrou-se o maior valor médio de radiação solar global ($751,32W/m^2$), comparado aos demais dias de ensaio, 18 de janeiro ($573,59 W/m^2$) e 14 de fevereiro ($627,02 W/m^2$), acarretando assim um valor médio de temperatura da água de $38,64^{\circ}C$, (Tabela 2) e consequentemente, maior taxa de inativação, indicada pela constante “k” de $0,31h^{-1}$ em valor absoluto.

Tabela 2 – Constantes de decaimento bacteriano e temperaturas médias diárias das amostras de água sobre cinco superfícies analisadas. Fortaleza, Ceará, 2006.

data	Superfícies de exposição											
	conc. branco		conc. preto		telha de barro		bacia de alumínio		telha de amianto		Média	
	k (h^{-1})	temp. média ($^{\circ}C$)	k (h^{-1})	temp. média ($^{\circ}C$)	k (h^{-1})	temp. média ($^{\circ}C$)	k (h^{-1})	temp. média ($^{\circ}C$)	k (h^{-1})	temp. média ($^{\circ}C$)	k (h^{-1})	temp. ($^{\circ}C$)
18/1/2006	-0,27	33,57	-0,25	32,76	-0,27	33,57	-0,30	33,80	-0,29	33,33	-0,28	33,41
31/1/2006	-0,33	39,05	-0,27	38,30	-0,35	38,50	-0,28	38,87	-0,31	38,49	-0,31	38,64
14/2/2006	-0,31	34,09	-0,26	33,84	-0,22	34,60	-0,31	35,47	-0,34	34,42	-0,29	34,48

Tabela 3 - Constantes de decaimento bacteriano e valores médios diários de radiação solar global. Fortaleza, Ceará, 2006.

data	k (h^{-1})	Médias de radiação solar global (W/m^2)
18/1/2006	0,28	573,59
31/1/2006	0,31	751,32
14/2/2006	0,29	627,02

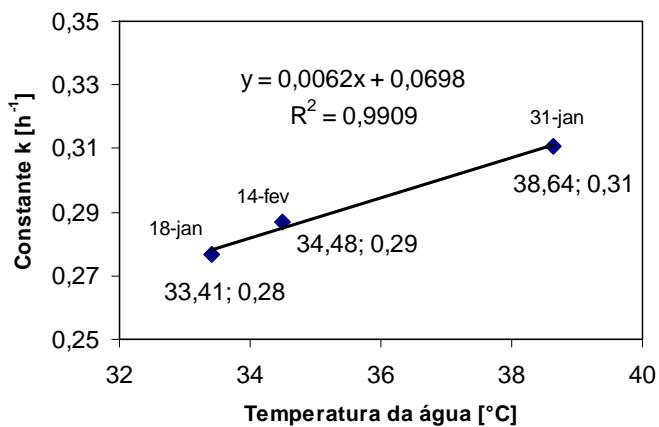


Figura 1 - Diagrama de dispersão correlacionando as temperaturas médias da água (°C) durante o horário de exposição ao sol e as constantes médias de inativação de todas as superfícies (h⁻¹) para os três dias de ensaio. Fortaleza, Ceará. 2006.

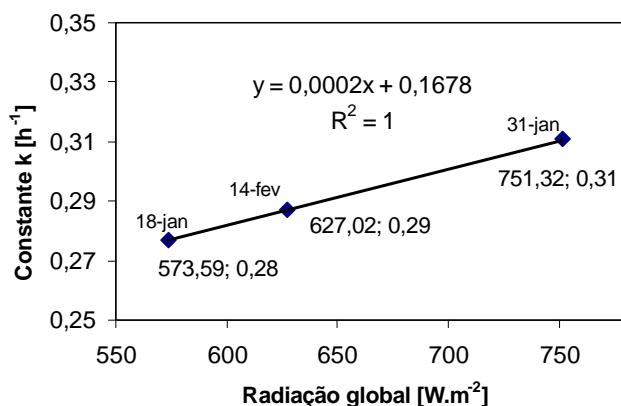


Figura 2 - Diagrama de dispersão correlacionando as radiações médias globais (W/m²) durante o horário de exposição ao sol e as constantes médias de inativação de todas as superfícies (h⁻¹) para os três dias de ensaio. Fortaleza, Ceará. 2006.

É pertinente mencionar que os valores de “k” determinados condizem com a realidade do experimento, ou seja, microrganismo utilizado: coliforme termotolerante, recipiente: garrafas PET transparentes de uma única marca (refrigerante de ampla penetração no mercado) e profundidade da lâmina d’água: 12cm (altura das garrafas de 2 L na posição horizontal).

Solsona e Mendéz (2002) afirmam que a desinfecção solar é alcançada somente com o processo de pasteurização, ou seja, apenas pelo aumento da temperatura da água. Essa pasteurização consiste na exposição da água durante um certo intervalo de tempo à temperatura elevada ($\geq 70^{\circ}\text{C}$) a fim de destruir os microrganismos. Ainda segundo, Solsona e Méndez (2002), as bactérias, em geral, podem suportar temperaturas até 40°C .

A tabela 4 apresenta as temperaturas das águas nas garrafas PET durante os ensaios de exposição à radiação solar.

Tabela 4 - Temperatura da água nos recipientes sobre as superfícies de exposição: concreto pintado de branco, concreto pintado de preto, telha de barro, bacias de alumínio e telha de amianto.

Data	Tempo	Temperatura [°C]				
		concreto branco	concreto preto	telha de barro	bacia de alumínio	telha de amianto
18/1/2006	0	25,24	24,97	25,63	24,78	25,01
	1	28,08	27,57	28,26	28,65	28,07
	2	30,71	30,1	30,83	31,64	30,57
	3	35,98	34,67	36,03	37,6	35,96
	4	39,67	38,46	39,63	40,55	39,62
	5	39,19	38,21	38,88	38,54	38,67
	6	36,13	35,36	35,74	34,87	35,4
31/1/2006	0	32,32	31,55	32,15	32,31	32,2
	1	34,97	34,3	34,67	34,9	35,07
	2	37,57	36,85	37,31	37,62	37,48
	3	39,53	38,75	39,15	39,92	39,06
	4	42,57	41,6	41,63	43,01	41,68
	5	43,68	42,93	42,81	43,05	42,67
	6	42,71	2,12	41,81	41,21	41,45
14/2/2006	0	28,89	28,52	28,76	29,44	28,91
	1	30,88	30,54	31,16	31,86	31,23
	2	32,43	32,06	33,69	33,41	33,1
	3	34,4	34,1	36,2	36,82	34,9
	4	37,01	36,64	37,23	39,43	37,43
	5	37,6	37,57	37,65	39,05	37,83
	6	37,41	37,46	37,51	38,32	37,59

Durante a etapa do estudo comparativo das superfícies, a completa inativação do indicador bacteriano de contaminação fecal foi alcançada em 67% dos ensaios realizados, sempre com temperaturas abaixo de 44°C (Tabela 4). Desses 67%, 50% ocorreram em 5 horas de exposição, 40% em 6 horas e 10% em três horas de exposição. Com base nesses resultados, seria mais apropriado considerar a radiação solar como o agente desinfetante, associada à temperatura. Isto também é confirmado por Wegelin et al. (1994) e Sommer et al. (1997).

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A temperatura e a intensidade de radiação solar são diretamente proporcionais à taxa de remoção; quanto maiores esses parâmetros, maior é a velocidade de decaimento bacteriano.

A temperatura não pode ser considerada como o principal fator responsável pela destruição dos microrganismos, visto que em nenhum momento a temperatura da água alcançou valores superiores a 70°C, em que ocorre o fenômeno da pasteurização.

As amostras de água não alcançaram valores de temperatura acima de 44°C durante os ensaios, e ainda assim, o SODIS apresentou 4 log de remoção de coliformes termotolerantes em todos os ensaios durante a 6 horas de exposição.

Mais uma vez, comprova-se que a temperatura não é o fator principal na desinfecção; caso a mesma fosse, a bacia de alumínio, por ter sido a superfície que mais concentrou calor teria produzido a maior eficiência na remoção do indicador e isto não ocorreu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA, WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington DC: APHA. 1998 (CD).
2. EAWAG/SANDEC. Desinfección Solar del Agua - Guia de Aplicación, Cochabamba, Bolivia. 80p, 2005.
3. MERCADO, A. ROMERO, A.M.; CORONADO, O. Desinfección solar del agua em Bolivia: Proyecto piloto sacabamba y difusión inicial (1996-2000). Desinfección solar del agua, de la investigación a la aplicación. Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental – Facultad de Ciencias y Tecnología, v.1, n.1, p. 59-64, 2005.
4. MONTEIRO, P.; BRANDÃO, C.; SOUZA, M.A. Viabilidade do uso da radiação solar na desinfecção da água. Brasília, 2002. Disponível em: http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/CD_Agua/pdf/por/doc14605/doc14605.pdf Acesso em: 08 de junho de 2004, 21:20:30
5. PROSAB 2, Processos de Desinfecção Alternativos na Produção de Água Potável. ABES. Rio de Janeiro, 2001. p139.
6. SODISf. SODIS efficiency: the process, Technical Note #9, 2003. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 13 maio 2005.
7. SOLSONA, F; MÉNDEZ, J.P. Desinfección de aguas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (CEPIS), 2002. CD-ROM.
8. SOMMER, B.; MARINO, A.; SOLARTE, Y.; SALAS, M.; DIEROLF, C.; VALIENTE, C.; MORA, D.; RECHSTEINER, R.; SETTER, P.; WIROJANAGUD, W.; ALARMED, H.; AL-HASSAN, A.; WEGELIN, M. SODIS – an emerging water treatment process. Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua, v. 46, n. 3, p. 127-137, 1997.
9. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2ºed. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 243p.
10. WEGELIN, M.; CANONICA, S.; MECHSNER, K.; FLEISHMANN, 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, n3, p154-159, 1994