

I-176 - AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA SODIS NA DESINFECÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA EM CISTERNA DE PLACA

Márcio Pessoa Botto⁽¹⁾

Engenheiro Civil da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Doutorando em Saneamento Ambiental na UFC.

Flávia Mendes Lacerda Alves

Estudante de graduação do curso de engenharia civil pela Universidade Federal do Ceará

Carla Beatriz Costa de Araújo

Estudante de graduação do curso de engenharia civil pela Universidade Federal do Ceará

André Bezerra dos Santos

Doutor em Saneamento Ambiental pela Wageningen University - Holanda. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

Endereço⁽¹⁾: Rua Água da Prata, 2991, Casa 05. Bairro: Edson Queiroz. CEP: 60834-414. Fortaleza, Ceará. Brasil. Telefone: +55 (85) 99951578. E-mail: marcio.botto@funasa.gov.br

RESUMO

A captação de água de chuva através de cisternas de placas é uma realidade presente no semi-árido cearense, tendo o Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) uma alternativa viável para mitigar a escassez de água para o fim mais nobre que é a dessedentação humana. No entanto, vários estudos já comprovaram que a água captada nas cisternas de placa não está livre de contaminação microbiológica, ou seja, não atende aos padrões de potabilidade exigidos pela OMS. Este trabalho objetivou avaliar a tecnologia SODIS (desinfecção solar) no tratamento da água de chuva armazenada nas cisternas de placa de uma comunidade peri-urbana, situada a 30km da capital do Ceará. A partir do histórico dos ensaios de qualidade das águas de chuva armazenadas nas cisternas da comunidade, foi utilizada para ensaio a amostra de água com maior contaminação microbiológica, acima de 10^2 NMP de coliformes termotolerantes por 100 mL de água. A água desta cisterna foi então colocada em garrafas PET e expostas ao sol durante o período de maior insolação no Ceará, das 9:00 as 15:00hs. Foram, então, realizadas análises microbiológicas nas amostras a cada hora de ensaio. Após o término do teste de exposição ao sol, foi feita a análise do recrescimento bacteriano por um período de um mês. Os resultados dos ensaios mostraram que a tecnologia SODIS pode ser uma estratégia bastante eficiente e barata na remoção de coliformes termotolerantes presentes em águas de chuva armazenadas em cisternas de placa. Não foi verificado recrescimento bacteriano durante os 30 dias de armazenamento das amostras de água que foram expostas a radiação solar pelo período de 6 horas.

PALAVRAS-CHAVE: Cisternas, chuva, SODIS, desinfecção de água, tratamento.

INTRODUÇÃO

Dentre as diversas técnicas existentes que visam solucionar o acesso a recursos hídricos para a população rural do semi-árido brasileiro, as cisternas de captação e armazenamento de água de chuva ganharam destaque a partir de 2002, após o início do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) através da parceria entre sociedade civil e governo federal.

O principal objetivo do P1MC é beneficiar cerca de cinco milhões de pessoas localizadas em toda a região semi-árida, com água para beber e cozinhar por meio do uso de cisternas de placa construídas com a capacidade para 16 mil litros. Até março de 2011, aproximadamente 480.000 cisternas tinham sido construídas (XIMENES, 2011) beneficiando mais de 2.000.000 de pessoas situadas em áreas rurais e peri-urbanas.

A captação de água de chuva através de cisternas de placas é uma realidade presente no semi-árido cearense. Dos 1.124 municípios beneficiados em todo o País pelo programa P1MC (Programa 1 Milhão de Cisternas), Aquiraz, município na região nordeste do Ceará, possui uma comunidade chamada de Lagoa Funda ou Vila Tomé, em que 10% das famílias são abastecidas pelas águas das cisternas de placa construídas pelos próprios moradores ou por entidades ligadas ao programa como por exemplo a FEBRABAN, em parceria com a ASA.

Vários estudos (PEREIRA *et al.*, 2007; SILVA, 2006; TAVARES, 2009) já comprovaram que a água captada nas cisternas de placa não está livre de contaminação microbiológica, ou seja, não atende aos padrões de potabilidade exigidos pela OMS. Segundo Blackburn *et al.* (2005), as possíveis fontes de contaminação bacteriológica das cisternas são: a presença de animais sobre as estruturas de captação e dentro das cisternas; o mau acondicionamento dos baldes usados para coletar água na cisterna; o uso da cisterna para receber água de outras fontes; o não descarte ou descarte inadequado das primeiras águas de chuva.

Uma técnica de tratamento de água que vem sendo estudada, aplicada e difundida em países em desenvolvimento como uma tecnologia segura para o tratamento microbiológico é a desinfecção solar. Essa técnica, hoje denominada SODIS, 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 PET como insumo e o sol, universalmente disponível e gratuito.

No Brasil, o estudo da desinfecção solar iniciou em 1993. Ceballos; Sousa; Konig (1993) estudaram o efeito da luz solar na inativação de coliformes termotolerantes e estreptococos fecais utilizando recipientes de vidro transparente. Segundo esses autores, a luz solar tem elevada ação bactericida. Os resultados de seus experimentos apontaram uma redução acumulada de 99,24% de coliformes termotolerantes e a remoção total de estreptococos em 5 horas de exposição.

O método SODIS utiliza duas componentes da radiação: UV-A, responsável pela modificação do DNA dos microrganismos e a radiação infravermelha responsável pela elevação da temperatura da água, tendo em vista que os microrganismos são sensíveis ao aquecimento (SODIS, 2003).

De acordo com Botto (2006), o Estado do Ceará possui condições propícias para a desinfecção solar, com médias anuais de radiação acima de 700W.m^{-2} e 86% das horas entre o intervalo de intensa radiação (09:00 as 14:00) acima de 500W.m^{-2} .

Este trabalho objetivou avaliar a tecnologia SODIS (desinfecção solar) na desinfecção da água de chuva armazenada nas cisternas de placa de uma comunidade peri-urbana, situada a 30km da capital do Ceará, bem como o potencial de recrescimento bacteriano após o período de 1 mês.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do estudo

Vila Tomé é uma pequena comunidade com aproximadamente 140 famílias que vivem do comércio local, agricultura de subsistência ou empregados em fábricas de produção de tijolos cerâmicos ou de castanha de caju. A renda média das famílias da comunidade está situada entre 1 a 2 salários mínimos.

95% dos domicílios contam com uma rede improvisada de abastecimento de água proveniente de um chafariz público construído pela prefeitura, enquanto o restante é abastecido por cisternas de captação de água de chuva ou poços rasos. Não existe sistema público de esgotamento e mais de 38% das famílias não possuem banheiros.

Após a caracterização microbiológica das amostras de água de chuva armazenadas nas cisternas de placa e verificada a elevada contaminação de coliformes termotolerante, conforme mostrado na tabela 1, foi decidido pesquisar o uso de tecnologias sociais de desinfecção de água de fácil acessibilidade e replicabilidade.

Dentre as tecnologias recomendadas pela Organização Mundial de Saúde em seu relatório de 2002, o SODIS, foi escolhido e avaliado tecnicamente durante o mês de abril de 2010.

Tabela 1: Concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) de três cisternas de placa e do chafariz público na comunidade Vila Tomé, durante fevereiro de 2009 a abril de 2010.

Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)										
Amostra	07/fev	20/mar	24/jul	01/set	12/out	19/jan	26/jan	01/fev	30/abr	Média Geom.
Chafariz público	10,8	1	7,5	NC	238,2	NC	38,4	NC	1	9,51
Cisterna 1	648,8	920,8	139,6	325,5	NC	NC	NC	NC	61,3	278,12
Cisterna 2	214,3	365,4	240	1413,6	1553,1	2850,3	387,3	517,2	NC	625,92
Cisterna 3	547,5	60,2	7,5	11	7,5	1299,7	95,9	NC	2511,3	94,54

NC: amostra não coletada

Amostra de Água

A partir do histórico dos ensaios de qualidade das águas de chuva armazenadas nas cisternas da comunidade, foi utilizada para ensaio a amostra de água com maior contaminação microbiológica, acima de 10^2 NMP de coliformes termotolerantes por 100mL de água.

Preparo das Garrafas

Garrafas transparentes tipo PET (volume de dois litros) de refrigerantes foram escolhidas para servirem de recipientes. Mesmo sendo um material de baixa transmitância da radiação UV-A (SOMMER *et al.* 1997), é o mais acessível para moradores de comunidades difusas e também é o material difundido pela Fundación SODIS nos países em que dá suporte.

As garrafas foram recolhidas em restaurantes e seus rótulos foram retirados. Estas foram lavadas com detergente neutro e enxaguadas várias vezes.

Delineamento Experimental

Após cada hora de exposição ao sol, uma garrafa era retirada do sol e encaminhada para análise imediata no laboratório. Seguindo a metodologia de Monteiro; Brandão; Souza (2000), a frequência de amostragem adotada foi de hora em hora (1, 2, 3, 4, 5 e 6 horas), com o propósito de melhor definir o intervalo de tempo de inativação. Portanto, todas as garrafas foram preenchidas completamente com as amostras de água de chuva e expostas sobre uma superfície de concreto durante o horário de 09h00min às 15h00min. Para cada bateria de ensaio, foram realizadas medições de turbidez, cor, pH, oxigênio dissolvido, temperatura da água e concentração de coliformes termotolerantes. Foram coletados os dados meteorológicos: radiação solar global, pluviometria, temperatura do ar e insolação.

Cálculo da taxa de decaimento bacteriano nas amostras de água

A taxa de mortalidade bacteriana foi estimada de acordo com a lei de Chick (equação 1) (VON SPERLING, 1996).

(1)

$$N = N_0 \cdot e^{-k_b \cdot t}$$

Em que:

N: concentração de coliformes termotolerantes no tempo t (NMP/100mL).

N₀: concentração inicial de coliformes termotolerantes (NMP/100mL).

k_b: constante de inativação (d⁻¹)

t: tempo (h).

Avaliação do recrescimento bacteriano

Alguns pesquisadores não recomendam estocar a água desinfetada previamente pelo método SODIS por mais de 1 dia, pois não tem efeito residual, existindo assim, a possibilidade do recrescimento de microrganismos.

Para tanto, foram conduzidas análises microbiológicas com a amostra de água exposta por 6 (seis) horas ao sol. A cada semana era realizada uma análise de coliformes termotolerantes por um período de 1 mês, totalizando 4 análises com duplicata para verificação de um possível recrescimento bacteriano.

RESULTADOS

Os resultados da concentração de coliformes termotolerantes das amostras expostas à luz solar e das amostras controle são apresentados nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 - Concentração média de coliformes termotolerante e eficiência de inativação em função do tempo de exposição das garrafas com água à luz solar. Fortaleza, Ceará. 2010.

Tempo (hs)	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Eficiência (%)
0	2,51E+03	0,00%
1	7,10E+02	71,74%
2	4,42E+02	82,38%
3	6,51E+01	97,41%
4	4,01E+01	98,40%
5	1,50E+00	99,94%
6	0,00E+00	100,00%

Tabela 3 - Concentração média de coliformes termotolerante e eficiência de inativação em função do tempo de exposição das amostras controle. Fortaleza, Ceará. 2010.

Tempo (hs)	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Eficiência (%)
0	7,32E+03	0,00%
1	5,48E+03	25,20%
2	9,23E+03	-26,15%
3	6,13E+03	16,24%
4	8,66E+03	-18,36%
5	4,61E+03	37,01%
6	9,21E+03	-25,79%

Em apenas três horas de exposição, foi verificado mais de 90% de remoção de coliformes termotolerantes nas amostras. Após o período total de ensaio (6 horas), ocorreu a inativação total, como apresentado na tabela 2, ou seja, a redução de três unidades logarítmicas. Por outro lado, as amostras que se encontravam longe da radiação solar, não sofreram qualquer redução na concentração do indicador microbiano, mantendo-se sempre acima de 10^3 coliformes termotolerantes por 100mL de água, conforme verificado na tabela 3.

As amostras controle não apresentaram decaimento bacteriano apreciável, como verificado na tabela 3 e figura 2, sugerindo que a desinfecção esteja relacionada apenas a fatores climatológicos, como radiação solar incidente e temperatura.

Plotando os dados de concentração de coliformes termotolerantes versus temperatura da água, verifica-se que quanto maior a temperatura maior é o decaimento bacteriano. A temperatura da água dentro das garrafas expostas à luz solar no início do ensaio, ou seja, no tempo 0 era de 20,2°C e ao final de 42,1 °C, apresentando um aumento na temperatura de 21,9 °C, ou ainda 52%. Para as amostras controle, esse aumento de temperatura foi de 4,5 °C ou 18% ao final do experimento. Constata-se ainda que o aumento da temperatura segue uma distribuição logarítmica, conforme o diagrama de dispersão e, consequentemente, devido à forte correlação, $R^2=0,9965$, apresentado na figura 1 e $R^2=0,9965$, figura 2.

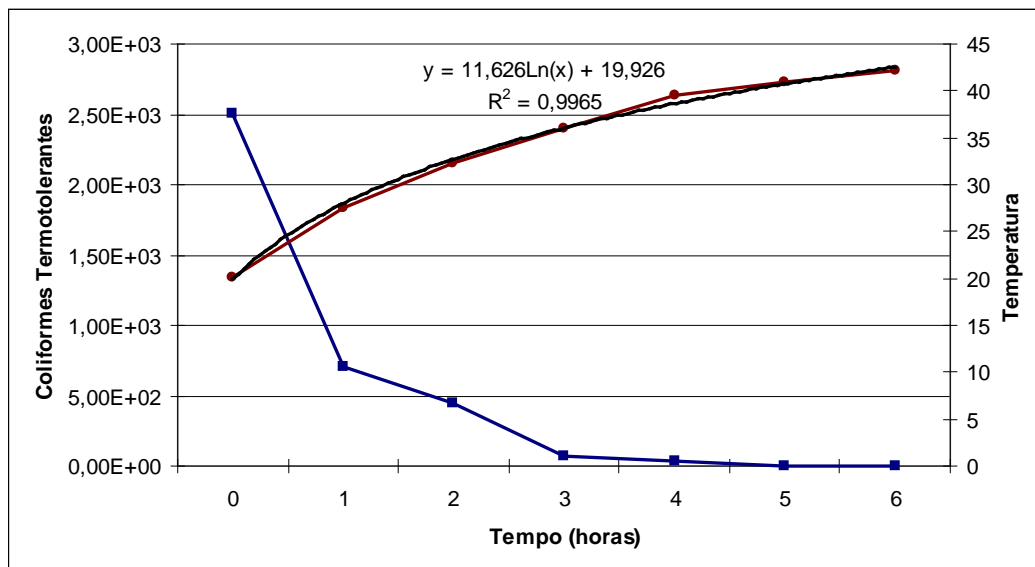


Figura 1: Comportamento da concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) e temperatura (°C) das amostras expostas à radiação solar. Fortaleza, Ceará. 2010.

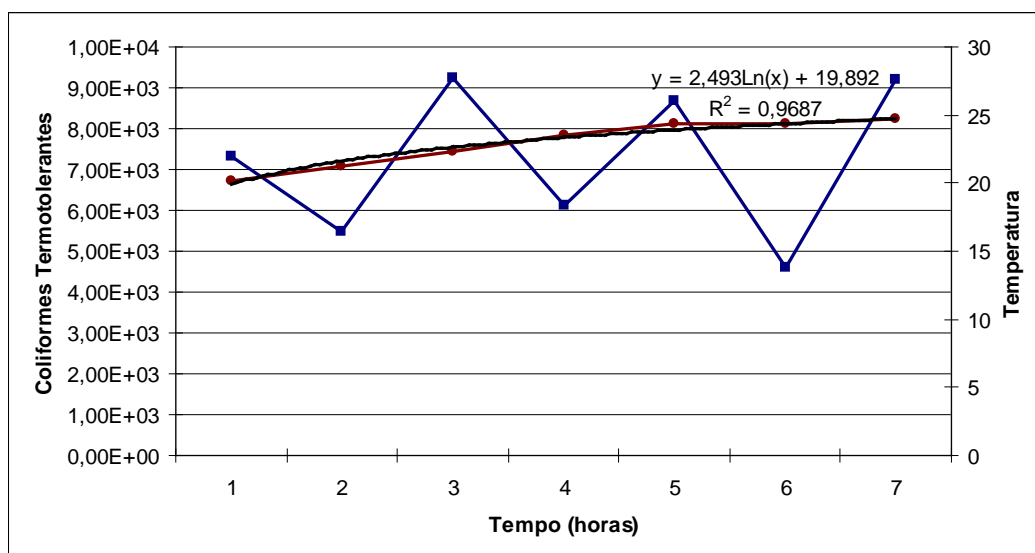


Figura 2: Comportamento da concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) e temperatura (°C) das amostras controle, longe da radiação solar. Fortaleza, Ceará. 2010.

Calculando os dados de inativação expressos em termos logarítmicos pelo modelo cinético de 1ª ordem, a constante de decaimento bacteriano (k) foi igual a $0,2623h^{-1}$ (Tabela 4). Fuentes e Torrico (2005) estudando modelos cinéticos de inativação no processo SODIS encontraram um valor da constante de decaimento de coliformes termotolerante, $k = 0,275$ para amostras expostas sobre uma superfície metálica. Segundo os autores, esse valor está de acordo com a bibliografia. Ressalta-se que este valor foi obtido segundo suas condições de ensaio.

É pertinente mencionar que valor de “ k ” obtido no presente experimento condiz 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).

Tabela 4 - Modelo cinético de 1ª ordem das amostras de água expostas à radiação solar Pesquisa SODIS. Fortaleza, Ceará. 2010.

No:		3,400	
Tempo [h]	Dados observados	Modelo - Cinética de 1º ordem	Erro (dados-cinética)²
0	3,400	3,400	0,000000
1	2,851	2,615	0,055564
2	2,646	2,012	0,401885
3	1,814	1,548	0,070788
4	1,603	1,191	0,169918
5	0,176	0,916	0,547255
6	0,000	0,705	0,496365
Σ do erro			1,741774
k [h⁻¹]			-0,2623

Os resultados do ensaio confirmaram a eficácia da utilização do SODIS na remoção de coliformes termotolerantes da água armazenada nas cisternas de placa, levando em consideração as condições climáticas favoráveis no estado do Ceará.

Apoiando-se nos resultados obtidos, considera-se que a mortalidade bacteriana seja causada pelos fatores climáticos, em especial a luz solar, uma vez que, verificou-se a permanência no número de coliformes termotolerante para as amostras controle ao final de 6 horas.

Uma das desvantagens da desinfecção solar apontada por Kehoe *et al.* (2001) e SODIS (2003) é a necessidade de consumo da água tratada no mesmo dia ou no máximo após 1 dia em que foi submetida ao processo de desinfecção devido ao risco de recrescimento bacteriano uma vez que o SODIS não apresenta efeito residual.

Os resultados de análise microbiológica da amostra de água exposta a radiação solar pelo período de 6 horas não indicaram o potencial de recrescimento bacteriano (Tabela 5). Em todas as quatro análises realizadas durante os 30 dias de armazenamento após a exposição solar, ou seja, uma análise por semana, encontrou-se ausência de coliformes termotolerantes na amostra de água.

Tabela 5 – Concentração de coliformes totais e termotolerantes após a exposição de radiação solar para verificação do recrescimento bacteriano. Fortaleza, Ceará. 2010.

Dia	Coliformes (NMP/100mL)	
	Totais	Termotolerantes
12/04/2010	166,4	0
19/04/2010	21,3	0
26/04/2010	3,1	0
03/05/2010	9,8	0

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

É indiscutível a melhora sanitária da água quando se faz uso do SODIS. Os resultados do ensaio confirmaram a eficácia da utilização do SODIS na remoção de coliformes termotolerantes da água armazenada nas cisternas de placa, levando em consideração as condições climáticas favoráveis no estado do Ceará.

Apoiando-se nos resultados obtidos, considera-se que a mortalidade bacteriana seja causada pelos fatores climáticos, uma vez que, verificou-se a permanência no número de coliformes termotolerante para as amostras controle ao final de 6 horas.

A taxa de decaimento bacteriano para as condições climáticas do estado do Ceará e segundo as peculiaridades do ensaio, como tipo de superfície de exposição e garrafa utilizada foi de $0,2623h^{-1}$. Apesar de relatos na bibliografia especializada, não foi verificado o recrescimento bacteriano nesta pesquisa. Recomenda-se a realização de uma detalhada pesquisa abrangendo diversos tipos de microrganismos, como protozoários, vírus e outros parasitas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Saneamento (Labosan), ao CNPq (Projeto 560014/2008-0) e à CAGECE pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACRA, A.; RAFFOUL, Z.; KARAHAGOPIAN, Y. Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solution- guidelines for households application in developing countries. Department of Environmental Health. Beirut. American University of Beirut. UNICEF, 1984.
2. BOTTO, M.P. Avaliação do Processo de Desinfecção Solar (SODIS) e sua Viabilidade Social no Estado do Ceará. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza (CE), 2006.
3. CEBALLOS, B.S.O.; SOUSA, A.A.P., KONIG A. Eliminação de três métodos simples de eliminação de bactérias fecais. XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1993.
4. FUENTES, I.; TORRICO, A. Cálculo de propiedades ópticas en los plásticos PET (Polietileno de Tereftalato) para optimizar el método SODIS. 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.
5. KEHOE, S.C.; JOYCE, T.M.; IBRAHIM, P.; GILLESPIE, J.B.; SHAHAR, R.A.; MCGUIGAN, K.G. Effect of agitation, Turbidity, aluminum foil reflectors and container volume on the inactivation efficiency of batch-process solar disinfectors. Water Res. v. 35, n. 4, p. 1061-1065, 2001.
6. 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.
7. PEREIRA, F.; BRAGA, C.; SILVA, A; AMÉRICO, J. Análise da qualidade e do armazenamento da água consumida na antiga escola agrícola de Ceará-Mirim/RN. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, João Pessoa-PB. Anais. João Pessoa, 2007.
8. SILVA, C.V. da. Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenada em cisternas de placa. Estudo de caso: Araçuaí, MG. 206. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2006.
9. SODIS. Climatic conditions: solar radiation, Technical Note #5, 2003. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 13 maio 2006.
10. 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.
11. TAVARES, A.C. Aspectos físicos, químicos e microbiológicos da água armazenada em cisternas de comunidades rurais no semi-árido paraibano. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Campina Grade – PB, 2009.
12. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2ªed. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 243p.
13. WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply. Geneva. Disponível em: http://whqlibdoc.who.int/hq/2002/WHO_SDE_WSH_02.07.pdf. Acesso em: 27 dez. 2005.

14. XIMENES, D. Dia da Água: cisternas melhoram a vida de 2,4 milhões pessoas no Semiárido. Revista ECO-21, Edição 172, Março, 2011. Disponível em: <http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=2407>. Acessado em: 15 de maio de 2011.