

VIABILIDADE DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR NA DESINFECÇÃO DA ÁGUA

Patricia Campos Gomes Monteiro (*1)

Cristina Celia Silveira Brandão (*2)

Marco Antonio Almeida de Souza (*3)

(*1) Engenheira Sanitarista , Mestranda em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (Univ. Brasília)

(*2) Professora da Universidade de Brasília; PhD em Engenharia Ambiental (Imperial College / Inglaterra)

(*3) Professor da Universidade de Brasília; PhD em Engenharia Ambiental (Univ. Birmingham / Inglaterra)

Universidade de Brasília - UnB

Departamento de Engenharia Civil

Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Campus Universitário - Asa Norte

70910-900 Brasília - DF - Brasil

Fone: (061) 348-2304 / Fax: (061) 273 - 4644

e-mail: mtarh@guarany.unb.br

VIABILIDADE DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR NA DESINFECÇÃO DA ÁGUA

RESUMO

Foram realizados ensaios de exposição solar controlada de água à radiação solar, em testes de batelada, com o objetivo de demonstrar a viabilidade técnica do emprego da desinfecção solar de águas para abastecimento público. Os resultados obtidos indicam ótimas condições de rendimento para o caso do Distrito Federal, Brasil, confirmando os dados e conclusões obtidas em outros estudos realizados fora do país. Com os dados obtidos até o momento, foi possível planejar e dar continuidade aos experimentos da pesquisa sobre desinfecção solar sendo realizada na Universidade de Brasília com o objetivo de conhecer as variáveis e parâmetros básicos de operação do processo de desinfecção solar.

Palavras-chave: (1) desinfecção de água; (2) desinfecção solar; (3) radiação solar

RESUMÉN

Se realizaron ensaios batch de exposición controlada de agua a la radiación solar, con el objetivo de demostrar la viabilidad tecnica del uso de la desinfección solar en el tratamiento de la agua de subministro publico. Los resultados obtenidos indican mui buenas condiciones de rendimiento para el caso del Distrito Federal, Brasil, lo que confirma los datos y conclusiones obtenidas en otros estudios conducidos afuera del pais. Com los datos obtenidos asta ahora, fue posible planear y continuar los experimentos de investigación en desinfección solar sendo realizados en la Universidad de Brasilia con el objetivo de conocer las variables y parametros basicos de operación del proceso de desinfección solar.

Palavras-clave: (1) desinfección de agua; (2) desinfección solar; (3) radiación solar

SUMMARY

Batch tests were conducted with water exposition to solar radiation, having the objective of demonstrating that solar disinfection is technically viable to be used for public water supply. The results have indicated good efficiency conditions for the case of the Federal District, Brazil, showing agreement with data and conclusions of other studies performed outside Brazil. These results were used for planning and continuing the research about solar disinfection being conducted at Brasilia University with the objective of determining variables and basic operational parameters of the solar disinfection process.

Key-words: (1) water disinfection; (2) solar disinfection; (3) solar radiation

INTRODUÇÃO

A América Latina enfrenta sérios problemas com a alta incidência de doenças relacionadas com a falta de saneamento básico, sendo mais afetadas as populações que vivem em localidades pobres, periféricas, e em zonas rurais. Estes locais, por não possuírem sistemas de esgoto ou drenagem, despejam uma elevada carga de poluição em corpos d'água, muitos dos quais servem de abastecimento de água sem nenhum tratamento antes do seu consumo. Como consequência, depara-se com um ciclo vicioso, onde o homem ingere uma água que está contaminada, contamina-se, e, depois, com seus dejetos, contamina a água. Este ciclo ocorre com as principais doenças relacionadas com a água, como cólera, febre tifóide, disenteria bacilar, giardíase, salmonelose, e poliomielite (Galal-Gorchev, 1996).

Segundo Geldreich e Craun (1996), o maior impacto da degradação da qualidade das águas sobre a saúde pública ocorre através da ingestão de água. Esta degradação pode ser resultante do lançamento de diversos tipos de águas residuárias, porém os despejos de origem humana e animal são os que mais fortemente contribuem com agentes de doenças relacionadas com a água.

Estima-se que 80% das doenças e mais de um terço das disfunções ocorridas nos países da América Latina estão associadas com a água, e que nada menos do que um décimo do tempo produtivo de um indivíduo é perdido como consequência dessas doenças (Galal-Gorchev, 1996).

Segundo Wegelin *et al.* (1994), pelo menos um terço da população dos países em desenvolvimento não tem acesso a suprimentos de água confiáveis e seguros, e, desta forma, esta população está sujeita a diversos problemas de saúde pública, em particular, às doenças de veiculação hídrica. Para superar este quadro, os investimentos necessários são muito grandes, e, freqüentemente não estão disponíveis, especialmente nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. Buscando promover água potável para as comunidades, estes países buscam desenvolver projetos alternativos e de baixo custo para o tratamento de água. Uma das alternativas que vêm sendo estudadas é a utilização da energia solar para a desinfecção da água.

Deve ser considerado o conceito de múltiplas barreiras à contaminação, para diminuir o risco à saúde das populações, conceito que envolve a proteção dos mananciais, o tratamento de águas residuárias e o próprio tratamento da água. Dentro deste conceito, a desinfecção é uma barreira de importância fundamental.

Em estudo realizado pela Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS) em 1984, verificou-se que a desinfecção era inadequada ou inexistente em 75% dos sistemas de água na América Latina e Caribe, e que apenas 25% da população recebia água desinfetada através de métodos confiáveis. Ainda segundo este estudo, a confiabilidade da desinfecção nas pequenas e médias cidades era consideravelmente inferior a dos grandes municípios, e mais de 90% das comunidades com menos de

10.000 habitantes careciam totalmente de sistemas de desinfecção. Dados mais recentes, coletados pela OPAS em 1994, sugerem que cerca de 59% da população dos dezessete países da América Latina e Caribe que forneceram informações adequadas recebem água desinfetada em mais do que 98% do tempo (Reiff, 1996).

No Brasil, dados coletados na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico em 1989 mostram que os problemas mais graves de abastecimento de água e saneamento encontram-se nos municípios com até 20.000 habitantes, onde o tratamento adequado de água não atinge, em média, 20% da água distribuída à população (ISPN, 1995). De acordo com o XVII Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES, 1994), em 1992, cerca de 33% da população do Brasil não era servida pelos sistemas de abastecimento de água. Considerando os investimentos realizados dessa data até o momento, não se pode esperar que este quadro tenha sido alterado substancialmente.

Observa-se que a maioria da população que não tem acesso aos serviços de saneamento está na zona rural, nos pequenos municípios sem capacidade de geração de recursos, e nas zonas marginalizadas dos grandes centros urbanos. Wegelin *et al.* (1994) sugerem que, para prover água para essas comunidades, é essencial que se reduzam os custos dos sistemas de abastecimento de água através do uso de tecnologias apropriadas e de baixo custo, e também se instalem sistemas cuja operação e manutenção possam ser gerenciadas e sustentadas com recursos locais.

A questão da sustentabilidade dos sistemas levantada por Wegelin *et al.* (1994) é reforçada pelas observações da OPAS com relação às causas da carência de sistemas de desinfecção na América Latina e no Caribe. A OPAS enumerou dezesseis causas principais desta carência (Reiff, 1996), e, dentre elas, seis estão diretamente relacionadas a problemas de seleção de tecnologia apropriada, a saber: (1) seleção de equipamento ou tecnologia não apropriada; (2) impossibilidade de aquisição de desinfetantes; (3) impossibilidade de aquisição de peças de reposição e de reparos; (4) dificuldades de operação e manutenção; (5) capacitação insuficiente dos técnicos encarregados da operação, manutenção e reparos; e (6) falhas no fornecimento de energia elétrica.

Considerando este quadro, particularmente quando se pensa na zona rural e em pequenas comunidades, uma opção tecnológica a ser considerada é a adoção de sistemas de abastecimento de água individuais (unifamiliares) ou de pequeno porte (multifamiliares), com alternativas tecnológicas seguras para tratamento, desinfecção e reservação domiciliares de água, mas que, ao mesmo tempo, levem em conta a realidade social, cultural e econômica das populações. A desinfecção solar é introduzida neste contexto, como uma alternativa de desinfecção da água independente de insumos, que funciona sem fornecimento de energia elétrica, e que apresenta grande simplicidade.

OBJETIVOS

O objetivo final da pesquisa é avaliar a viabilidade do uso da radiação solar na desinfecção da água, buscando apontar em que situações o uso da desinfecção solar é mais apropriado, e as limitações de caráter técnico e operacional do processo. Para tanto, propõe-se que sejam estudados os seguintes

fatores intervenientes: (1) o comprimento de onda da radiação solar que é mais ativo na desinfecção; (2) a dose de radiação mínima requerida no processo para cada tipo de aplicação prática da desinfecção solar; (3) o organismo que melhor se adequa ao monitoramento do processo; (4) a influência da temperatura no processo de desinfecção e seus limites; e (5) a interferência da qualidade da água (matéria orgânica, turbidez, etc.) no processo. Com o objetivo de estudar aspectos de concepção de equipamentos para realizar a desinfecção solar, espera-se estudar, ao final, a forma, as dimensões, e os materiais mais apropriados para recipientes de desinfecção solar.

No presente trabalho, realizaram-se ensaios simples em batelada, com o objetivo preliminar de propor uma metodologia para a investigação dos fatores que tornam eficiente o processo de desinfecção solar. É incluída uma discussão do atual estágio de conhecimento e da aplicabilidade da desinfecção solar da água.

DESINFECÇÃO

A desinfecção é definida por vários autores (Fair *et al.*, 1968; Weber e Posselt, 1972; Rossin, 1987; Witt e Reiff, 1996; entre outros) como um processo através do qual se deseja inativar ou destruir os organismos patogênicos e outros microorganismos indesejados. A desinfecção da água de abastecimento é uma medida que data no início do século XX, e sua importância para a saúde pública tem sido demonstrada na teoria e na prática. Um exemplo clássico citado no Brasil é o decaimento do coeficiente de mortalidade por febre tifoide observado no município de São Paulo, a partir de 1926, ano da implantação da cloração das águas da capital paulista (Oliveira, 1976).

Vários agentes desinfetantes são atualmente utilizados no tratamento de água. Entre eles destacam-se o cloro (sob diversas formas), o ozônio e a radiação ultravioleta (UV). A nível domiciliar, a fervura da água ainda ocupa lugar de destaque, apesar do elevado consumo de energia.

Um agente desinfetante, para ser usado no tratamento de água de abastecimento, deve satisfazer os seguintes critérios (Reiff e Witt, 1995): (1) deve poder inativar, dentro de um tempo limitado, as classes e números de organismos patogênicos presentes na água; (2) a determinação de sua concentração deve ser precisa, rápida, fácil, e passível de ser executada, tanto em campo como no laboratório; (3) deve ser aplicável dentro da ampla faixa de condições apresentadas pelas águas; (4) deve produzir residuais resistentes para evitar a recontaminação da água no sistema de distribuição; (5) não deve ser tóxico ao ser humano ou produzir substâncias tóxicas acima dos limites permitidos na legislação, também não deve ser capaz de alterar a aceitabilidade da água pelo consumidor; (6) deve ser razoavelmente seguro e fácil de manejar e aplicar; e (7) o custo do produto, dos equipamentos, instalação e manutenção devem ser razoáveis.

Na prática não há um desinfetante ideal e que atenda a todos os requisitos independentemente da situação de uso. Cada agente desinfetante apresenta vantagens e desvantagens em função de condições específicas de sua utilização, e depende, para otimização de seus resultados, tanto da qualidade da água a ser desinfetada (características físicas, químicas, e grau de contaminação

microbiológica), como das condições de projeto, operação e manutenção das unidades. Dessa forma, a seleção da tecnologia de desinfecção apropriada a cada realidade deve levar em conta esses aspectos, e outros fatores que influenciam na confiabilidade, continuidade e eficiência do sistema.

O mecanismo de destruição ou inativação dos organismos na desinfecção depende, principalmente, da natureza do agente desinfetante e do tipo de organismo presente na água (Weber e Posselt, 1972). Segundo Bryant *et al.* (1992), os mecanismos através dos quais a desinfecção acontece não são bem estabelecidos, mesmo para o cloro, que vem sendo usado desde o início do século. Algumas teorias sobre a ação desinfetante das várias formas de cloro sobre bactérias são citadas por esses autores. Entre elas, a que parece de maior aceitação, é a de que o cloro interfere com certas enzimas essenciais para a vida desses microorganismos. Diferentemente das bactérias, os vírus não parecem ser susceptíveis à inativação através da ação sobre enzimas específicas, sendo a ação do cloro livre explicada por outras formas de atuação. De fato, não parece haver um único mecanismo de ação, mesmo considerando apenas as diferentes formas de cloro.

Em relação ao ozônio, Bryant *et al.* (1992) acreditam que o principal mecanismo de inativação está associado ao forte poder oxidante desse composto, que tem a capacidade de interromper a função da membrana celular das bactérias e de atacar a camada de proteção dos vírus. Os mecanismos de ação, tanto do cloro como do ozônio, sobre os protozoários (e.g.: *Giardia* e *Cryptosporidium*) não são discutidos por esses autores. Entretanto, o ozônio tem-se mostrado mais efetivo no combate aos cistos de *Giardia* do que o cloro livre, que, por sua vez, é mais poderoso do que o dióxido de cloro e as cloraminas.

Os mecanismos de ação da radiação UV sobre os microorganismos são diferentes daqueles dos agentes desinfetantes químicos. O mecanismo predominante é, supostamente, o da alteração do DNA das células, tornando o organismo incapaz de reproduzir-se. Desta forma, o organismo é inativado com relação a sua capacidade de proliferação e transmissão da doença (Bryant *et al.*, 1992). Nas condições usuais de exposição, a radiação ultravioleta é capaz de inativar bactérias e vírus patogênicos, porém não se mostra adequada à inativação de protozoários, cistos de protozoários e ovos de nematóides (Reiff e Witt, 1995). Para efetiva inativação desses microorganismos a intensidade da radiação e/ou o tempo de detenção devem ser aumentados.

A capacidade de desinfecção dos agentes desinfetantes é também influenciada pela qualidade da água (particularmente pH, turbidez e concentração de matéria orgânica), tempo de contato entre o agente desinfetante e a água, concentração do desinfetante e temperatura da água.

De um modo geral, a presença de turbidez afeta negativamente a desinfecção, uma vez que os microorganismos podem proteger-se da ação dos desinfetantes ocluindo-se nas partículas em suspensão. A matéria orgânica dissolvida, por sua vez, leva a um aumento da demanda do desinfetante, e está associada a formação de subprodutos indesejáveis. O aumento do tempo de contato e da concentração do agente desinfetante, por outro lado, favorece uma boa desinfecção. A influência de

cada fator na eficiência da desinfecção é tratada com detalhes em inúmeros artigos técnicos e vários livros especializados (Fair *et al.*, 1968; Weber e Posselt, 1972; Rossin, 1987; Hass, 1990; Bryant *et al.* 1992; Di Bernardo, 1993; Reiff e Witt, 1995; entre outros). A maioria desses livros apresenta também os critérios de projeto mais usados para o dimensionamento das unidades de desinfecção.

Um problema que vem preocupando os pesquisadores e técnicos ligados ao tratamento de água, e particularmente à desinfecção, é o da formação de subprodutos da desinfecção química. Os subprodutos mais conhecidos hoje são os trihalometanos (THMs), que se formam a partir da cloração de águas que contém substâncias húmicas (Rook, 1977; Babcock e Singer, 1979), produtos extracelulares de algas (Morris e Baum, 1978; Brailey *et al.*, 1980) e compostos nitrogenados que ocorrem naturalmente.

Do ponto de vista de qualidade da água tratada, a OMS (1993) considera que quatro compostos do grupo dos trihalometanos são de interesse, que são: o bromofórmio; o dibromoclorometano; o bromodiclorometano; e o clorofórmio, que é o de ocorrência mais comum. Os dois primeiros foram classificados pela Agência Internacional para Pesquisa do Câncer (IARC) como sendo do grupo 3 (“o agente não é classificável pelo seu potencial carcinógeno para seres humanos”) enquanto os dois últimos foram classificados no grupo 2B (“o agente é possivelmente cancerígeno para seres humanos”). A OMS (1993) propõe valores limites para a concentração desses compostos na água de abastecimento.

O dióxido de cloro e as cloraminas produzem níveis de THM consideravelmente menores que o cloro livre (Galal-Gorchev, 1996). O principal subproduto da desinfecção com cloraminas é o CNCl, que é rapidamente metabolizado a cianeto no corpo humano, tendo os seus efeitos tóxicos associados a esse ânion. Em relação ao dióxido de cloro, os principais subprodutos formados são o clorato e o clorito. Segundo a OMS (1993), os dados sobre os efeitos crônicos do clorato ainda não são suficientes para o desenvolvimento de um valor guia, porém recomenda-se que os níveis de clorato sejam minimizados, desde que a eficiência da desinfecção não seja afetada.

Dentre os subprodutos da ozonização encontram-se aldeídos, ácidos carboxílicos, peróxido de hidrogênio, bromato, bromometanos, ácidos acéticos bromados, acetonitrilos bromados e acetonas (Galal-Gorchev, 1996). O bromato e o formaldeído foram classificados pelo IARC como, respectivamente, “possivelmente” e “provavelmente” agentes cancerígenos para seres humanos (grupo 2B e 2A). A OMS (1993) propõe valores limites para os teores desses sub-produtos na água potável.

Na América Latina e Caribe cerca de 82% da população que recebe água desinfetada se beneficiam do uso do cloro gasoso. 17% recebe água clorada com hipoclorito, e apenas 1% da água é desinfetada por outros agentes desinfetantes (ozônio, dióxido de cloro, radiação ultravioleta e mistura de oxidantes, etc.). Esta realidade, associada à preocupação com a geração de sub-produtos indesejados na desinfecção química, levaram o Instituto Internacional de Ciências da Vida (ILSI) e a OPAS/OMS a

realizarem o Simpósio Regional sobre Qualidade da Água: Ponderação dos Riscos Microbiológicos contra os Riscos dos Subprodutos da Desinfecção Química.

Os objetivos desse evento eram: (i) examinar a informação existente sobre os riscos químicos dos subprodutos da desinfecção, comparando esses riscos potenciais com os riscos microbianos ao qual estaria exposta a população sem a desinfecção da água potável; (ii) recomendar estratégias e tecnologias apropriadas para a América Latina que assegurem que a água potável seja microbiologicamente segura e, ao mesmo tempo, quando factível, levem a redução dos subprodutos; e, (iii) formular recomendações para o desenvolvimento de políticas, programas e normas nacionais, dirigidas a assegurar que a água potável seja tão saudável quanto acessível financeiramente. Os diversos aspectos discutidos no simpósio são apresentados por Craun e Castro, (1996).

Do simpósio originaram-se quatorze recomendações, das quais destacam-se as três primeiras:

1 – Devido ao fato de que a contaminação microbiológica da água para consumo humano representa riscos imediatos para a saúde, que são milhares de vezes mais graves que os riscos possíveis e de longo prazo, derivados dos sub-produtos de desinfecção, os funcionários dos países da América Latina e Caribe não devem nunca, em nenhuma circunstância, abandonar a desinfecção ou pô-la em perigo, como modo de controlar os sub-produtos dela derivados. Uma desinfecção contínua, efetiva e confiável deve ter prioridade, sempre.

2 – Como o custo da desinfecção, especialmente da cloração, é tão baixo e seus benefícios para a saúde são tão extraordinariamente altos, a desinfecção deve ser praticada sempre, mantendo-se os níveis adequados de cloro residual em todos os pontos da rede de distribuição e nas residências, permitindo que toda a população se beneficie com água microbiologicamente segura.

3 - Dado que na região existem tecnologias adequadas para desinfecção de água, ao alcance de todas as comunidades, recomenda-se que a tecnologia a ser selecionada em cada caso deva ser a mais apropriada por sua eficácia em função dos custos e pelo seu grau de complexidade. A desinfecção deve adaptar-se às condições locais e às técnicas disponíveis para assegurar, de modo sustentável, seu funcionamento e manutenção.

As recomendações do Simpósio concluem pela priorização da desinfecção eficaz como barreira de segurança microbiológica, e a necessidade constante do desenvolvimento, adequação e reavaliação de tecnologias de desinfecção, principalmente aquelas voltadas para as comunidades de menor porte e que ainda não tem acesso a água segura.

DESINFECÇÃO SOLAR

A literatura mostra que os microorganismos patogênicos geralmente presentes nas água são vulneráveis ao calor e à radiação ultra-violeta (Bryant *et al.*, 1992). Uma vez que o sol é uma fonte natural, universalmente disponível e gratuita, tanto de calor como de radiação UV, é de se imaginar que

essa fonte pode ser a base de um sistema desinfecção efetivo e de baixo custo para uso em regiões afastadas e menos favorecidas.

Os estudos relativos à desinfecção solar, conhecida como SODIS (do inglês *Solar Disinfection* e que neste trabalho será designada pela sigla em português por DESSOL), tiveram seu início no final da década de 70, entretanto, só vieram a tomar corpo a partir de 1985. Os estudos iniciais foram financiados por organismos internacionais como a UNICEF e a *Integrated Rural Energy Sistem Association* (INRESA), da Universidade das Nações Unidas, e seus resultados fazem parte de relatórios publicados por essas organizações que, infelizmente, são de difícil acesso.

No estudo pioneiro desenvolvido pelo Professor Acra na Universidade do Líbano (Cf. Wegelin *et al.*, 1994; Vargas e Bravo, s.d.), foram realizados testes em batelada para avaliar o efeito da radiação solar na qualidade da água a ser usada na preparação de soluções de rehidratação oral. As amostras de água, contaminadas deliberadamente com esgotos, foram colocadas em recipientes transparentes e expostas diretamente ao sol durante algumas horas, em recipientes de tamanho e material variado. Foram mantidas amostras idênticas guardadas em habitações iluminadas com luz artificial em um período das 9 às 14 horas. Foram avaliados diversos recipientes de vidro e plástico. Os principais resultados foram: (1) 99,9% das bactérias coliformes foram eliminadas depois de 95 minutos de exposição ao sol, enquanto foram necessários 630 minutos para a mesma eliminação nas amostras de controle que foram mantidas sobre luz artificial; (2) dentre as bactérias avaliadas no estudo, as cepas de *E. coli* mostraram-se mais resistentes à luz solar, sugerindo que este pode ser um bom indicador do efeito da radiação solar sobre bactérias entéricas; e (3) a componente da radiação solar mais efetiva na destruição de microrganismos parece ser a radiação UV na faixa de 320 a 400 nm (UV-A), e, em menor grau, a luz violeta e azul (400 – 490 nm). Entretanto, os autores alertam para necessidade de mais testes sobre este aspecto (Acra *et al.*, 1984).

Acra e seus colaboradores, posteriormente, realizaram também testes com unidades de fluxo contínuo. Os bons resultados obtidos por Acra e equipe motivaram a INRESA (Associação do Sistema Rural do Sistema Integrado de Energia), no Canadá, a iniciar, em 1985, um trabalho para incentivar a pesquisa e a disseminação da desinfecção solar. Este trabalho contou com a participação de instituições de cinco diferentes países: Peru, Colômbia, Nigéria, Egito e Sri Lanka (Wegelin *et al.*, 1994; Vargas e Bravo, s.d.). Os testes realizados nos diversos países confirmaram o efeito germicida da radiação solar e seu potencial de utilização em diversas partes do mundo. Entretanto, devido a falta de uma metodologia padronizada, os experimentos pouco contribuíram para o desenvolvimento de unidades de desinfecção solar.

Em esforços de forma isolada aos do grupo do INRESA, uma considerável quantidade de pesquisas foi conduzida por fotobiologistas. Estes buscavam caracterizar uma faixa de radiação induzida pela luz ultravioleta e luz visível que causasse danos a vida celular. Assim, mostraram que é possível destruir o mecanismo do DNA em muitas formas de vida celular. Grandes esforços também foram realizados para determinação da ação espectral, isto é, do parâmetro de inativação em função do

comprimento de onda. Os resultados obtidos mostraram que a taxa de inativação dos microrganismos cresce com a magnitude do aumento do comprimento de onda. Ele cresce na ordem da luz visível < UV-A < UV-B < UV-C e reage até que o valor da radiação UV-C atinge um máximo em torno de 260nm (Webb *et al.*,1982), o que corresponde a um máximo de adsorção do DNA. Outras formas de sinergismo foram observadas entre a radiação da luz e o tratamento por calor (Tyrell *et al.*, 1981). Alguns experimentos realizados com a luz solar também determinavam o dano produzido pela luz solar para as vidas celulares e organismos, tendo-se utilizado alguns microrganismos como dosímetros biológicos, isto é, como padrões para medida de intensidade de atividade biológica em uma porção do espectro solar (Calkins e Barcelo,1976; Jagger, 1985). Alguns resultados expressivos foram obtidos por Lawand (1988), que, realizando experimentos similares aos realizados por Acra *et al.* (1984), obteve os seguintes tempos para total destruição de alguns microrganismos: *Pseudomonas aeruginosa* - 15min, *Salmonella Flexneri* - 30 min, *S. typhi* e *S. enteritidis* - 60 min, *Escherichia coli* - 75 min, *Candida ssp.* - 3 horas.

Paralelamente ao trabalhos da INRESA, várias outras pesquisas básicas foram desenvolvidas por biólogos visando caracterizar os mecanismos de ação da radiação solar sobre os microrganismos. Wegelin *et al.* (1994) apresentaram uma boa revisão desses estudos. Os avanços mais significativos no campo da desinfecção solar surgiram a partir dos estudos realizados pelo Instituto Federal Suíço para Ciências Ambientais e Tecnologia (EAWAG) em colaboração com instituições de pesquisa da Colômbia, Costa Rica, Jordânia e Tailândia. Neste trabalho de colaboração, foram expressivas as investigações de campo realizadas no CINARA (Instituto de Investigação e Desenvolvimento em Água Potável, Saneamento Básico e Conservação dos Recursos Hídricos) em Cali, Colombia. Um dos experimentos conduzidos pelo CINARA correlacionaram a taxa de inativação do *Vibrio Cholerae* (Vch) com os coliformes fecais.

No trabalho cooperativo do EAWAG, as investigações foram conduzidas, inicialmente, com o objetivo de responder algumas questões mais fundamentais. Posteriormente, elas avançaram para os testes de campo em várias localidades. A equipe envolvida no projeto consistia de engenheiros sanitaristas, químicos especializados em foto-química, "bacteriologistas" e "virulogistas". Na parte mais fundamental dos estudos procurou-se identificar: (1) a faixa do espectro da radiação solar responsável pela inativação dos microrganismos; (2) as doses de radiação (fluxo de energia) requeridas para inativação de organismos específicos, e o organismo indicador mais apropriado; (3) a influência da temperatura da água; (4) o papel da matéria orgânica dissolvida na desinfecção solar; e (5) o efeito do azul de metileno (fotoativador) na eficiência do processo. Nesse estudo, foram realizados testes em laboratório, utilizando-se lâmpadas onde era possível controlar a faixa de radiação incidente sobre as amostras, e testes de exposição a radiação solar natural. Foram usadas três diferentes bactérias (*E. coli*, *Str. faecalis* e enterococos) na faixa de $10^2 - 10^7$ UFC/ml, e três diferentes vírus (bacteriófago f2, vírus encefalomiocarditis, e rotavírus) na faixa de 10^4 a 10^{10} UFP/ml (Cf. Wegelin *et al.*, 1994).

Os principais resultados obtidos pelos estudos do EAWAG podem ser resumidos como: (1) a luz UV-A (320 – 400 nm) é a principal responsável pela inativação dos microrganismos, e a luz violeta (400

– 450 nm) sozinha praticamente não tem efeito bactericida; (2) entretanto, o efeito sinérgico dessas duas faixas de radiação (como é o caso na radiação solar) aumenta significativamente a taxa de inativação dos microorganismos; (3) o aumento da temperatura da água de 20 para 40° C não influenciou na taxa de inativação de bactérias, porém gerou um aumento significativo da taxa de inativação dos diversos vírus estudados; (4) o efeito na inativação de cada vírus foi diferenciado, e a taxa de inativação aumentou em 1,8 vezes para bacteriófago f2, 2,4 vezes para enterovírus, e 3,6 vezes para rotavírus; (5) em temperaturas superiores a 50°C, foi observado um aumento significativo na taxa de inativação tanto para bactérias como para vírus, indicando um efeito sinérgico; (6) a presença de matéria orgânica natural (substâncias húmicas) em níveis elevados influenciou negativamente a taxa de inativação, uma vez que ela absorve parte da radiação incidente; e (7) o uso do azul de metileno como fotoativador acelerou a taxa de inativação apenas no início do decaimento dos microorganismos. Considerou-se que a *E. coli* e bacteriófago f2 são bons indicadores para avaliação da inativação de bactérias e vírus em estudos através da radiação solar, reforçando as observações de Acra *et al.* (1984).

Do ponto de vista do desenvolvimento de unidades de desinfecção solar, o resultado mais relevante do trabalho de Wegelin e colaboradores (*op. cit.*) é a observação do efeito sinérgico entre a radiação solar e a temperatura. De acordo com Feachem *et al.* (1983, *apud* Sommer *et al.*, 1997), para destruição do enterovírus através do calor, faz-se necessário expor este organismo a temperatura de 63°C por 30 minutos. Wegelin *et al.* (*op. cit.*), em seus experimentos, observaram uma redução de 99,9% de enterovírus após 42 minutos de exposição ao sol para uma temperatura da água de 40° C. Para a mesma água, sob similar condição de radiação, mas com uma temperatura de 20° C, foram necessários 150 minutos para se atingir o mesmo grau de inativação. É possível concluir que a temperatura sozinha não é capaz de inativar vírus porém amplifica significativamente o efeito da radiação. Parece óbvio, também, que, sob condições de temperatura mais elevadas, o efeito da temperatura por si só passe a ser significativo.

O trabalho de Sommer *et al.* (1997) apresenta os dados obtidos em trabalhos de campo desenvolvidos em diferentes países, utilizando-se uma metodologia padronizada. Neste trabalho, foram testados, em regime de batelada, diferentes recipientes e águas naturais com variados graus de contaminação microbiológica (até 10⁹ NMP ou UFC/100ml) e níveis de turbidez (até 400 UTN). A temperatura também foi variada. Os resultados obtidos foram bastante promissores e elucidativos, os principais aspectos do trabalho serão discutidos a seguir. Excelentes resultados de inativação de coliformes e vibrião colérico foram obtidos nos testes realizados. O vibrião colérico mostrou-se menos resistente a desinfecção solar que os coliformes fecais. Entretanto, quando o processo de desinfecção solar é interrompido, e é continuado posteriormente, um comportamento o inverso é observado. A turbidez e a espessura da lâmina d'água interferem significativamente na eficiência de inativação de microorganismos. O aumento da turbidez e da profundidade da água levam a uma menor eficiência do processo, se considerado um tempo fixo de exposição. Águas mais turvas necessitarão de maior tempo de exposição para efetiva desinfecção, ou, a depender do nível de turbidez não serão passíveis de uma desinfecção eficaz. Os autores não sugerem um limite de turbidez para utilização da tecnologia.

Entretanto, em testes realizados sob condição controlada, pode-se observar que mesmo com elevada turbidez (≈ 110 UTN) e elevado grau de contaminação (10^9 UFC/100 ml), a eliminação total de coliformes pode ser conseguida com um tempo de exposição de duas horas e temperatura da água de 50°C .

No que tange aos recipientes, os sacos de polietileno transparentes se mostraram mais eficientes do que os vasilhames de refrigerante em vidro e PET. Os autores atribuem tal eficiência a baixa perda de radiação do material e ao aumento mais rápido da temperatura observado nos mesmos. Resultados similares são apresentados por Vargas e Bravo (s.d.) a partir de estudos independentes realizados no México. A eficiência maior dos sacos plásticos pode ser atribuída a maior relação área/volume desses recipientes, que implica numa maior área de exposição à radiação solar e em uma menor espessura da lâmina d'água por volume tratado, e ao fato dos mesmos encontrarem-se apoiados sobre fundo negro.

O uso dos sacos descartáveis na realidade brasileira não parece interessante na medida em que, face ao poder aquisitivo e ao grau de instrução das populações alvo dessa tecnologia, a reutilização dos recipientes, ou mesmo a utilização do mesmo saco para vários fins, poderia levar a contaminações cruzadas, e ineficiência do processo. A utilização de sacos plásticos novos, a serem descartados após uso, pode significar um custo excessivamente elevado para os usuários rurais, além de não fazer parte da sua cultura. Deve ser buscado o desenvolvimento de recipientes específicos, com dimensões apropriadas para otimizar a captura da radiação, menor susceptibilidade à contaminação externa e maior durabilidade. Uma possível maior perda de radiação do material usado poderá ser compensada com um maior tempo de exposição.

Além dos testes em batelada, Sommer e colaboradores (*op. cit.*) realizaram testes em unidade piloto de fluxo contínuo, que foi operada sob temperatura de 50°C , obtida a partir de um aquecedor solar. Nesses experimentos foram testadas várias vazões de aplicação (e tempos de detenção) e diferentes condições de nebulosidade. O equipamento mostrou-se eficiente, mesmo sob condições de 50% de nebulosidade, quando operado a uma vazão capaz de produzir 45,6 litros/hora de água desinfetada. Condições mais severas de nebulosidade podem exigir taxas de aplicação menores ou não atingir a eficiência desejada.

Em testes realizados no México, utilizando-se um aquecedor solar como unidade de desinfecção (desinfecção baseada apenas na ação térmica), os usuários mostraram-se inicialmente resistentes a utilizar a água do aquecedor solar. A rejeição era justificada pela temperatura da água e, principalmente, pelo sabor de plástico que a água apresentava em função do material usado para confecção do aquecedor solar. Passados os primeiros dias, a aceitação foi plena (Bravo, s.d.). Nos estudos realizados por Sommer *et al.* (1997), a unidade piloto era provida de uma serpentina simples que promovia a troca de calor entre a água desinfetada (a 50°C) e a água bruta (a temperatura ambiente), promovendo o resfriamento da água desinfetada e o pré-aquecimento da água bruta. Como efeito deste

dispositivo têm-se a aceleração do processo de desinfecção, e a produção de uma água desinfetada que se resfriará mais rapidamente e assim, mais rapidamente será palatável.

METODOLOGIA

O Brasil, como a maioria dos países em desenvolvimento da América Latina, está localizado em uma área com condições excelentes de insolação. Mais particularmente, o Distrito Federal, onde se realizou a presente pesquisa, localiza-se entre os paralelos 15°30' e 16°03' de latitude sul e entre os meridianos 47°25' e 48°12' de longitude Wgr, ocupando o centro do Brasil e possuindo uma insolação total anual de 2500 horas (CODEPLAN,1996). As condições de insolação no Distrito Federal, portanto, podem representar as condições existentes no resto do Brasil e em países vizinhos.

A área experimental selecionada para exposição das amostras à radiação solar está localizada no Campus da Universidade de Brasília, ao lado do Observatório Sismológico. A seleção dessa área levou em conta o fato de ser uma área plana, sem vegetação de grande porte ou edificações que criem sombras, além de encontrar-se próxima ao Laboratório de Análise de Água, onde foram realizados os exames de qualidade da água.

A metodologia utilizada parte de uma amostra na qual se pode manter sob controle as características de qualidade, da qual são retiradas alíquotas de igual volume que são submetidas a três condições distintas: (a) exposição à radiação solar em recipiente claro (luz e calor); (b) exposição à radiação solar em recipiente escuro (calor); e (c) não exposição à luz sob temperatura constante. Em fazendo assim, torna-se possível avaliar, separadamente, o efeito da radiação solar, da temperatura (aquecimento) e do decaimento natural dos microorganismos.

Os testes realizados até o momento consistiram em analisar três tipos de amostras: (1) água bruta de um ribeirão que corta o perímetro urbano (amostras tipo R); (2) efluente do polimento final de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) diluído em água tamponada (amostras tipo EP); e (3) efluente dos decantadores secundários de uma ETE diluído em água tamponada (amostras tipo ED).

As amostras foram colocadas em sacos transparentes, de baixa densidade, de 30x40 cm, com volumes de 1 litro. Em cada bateria de ensaios foram utilizadas dez alíquotas idênticas de amostras, onde seis foram expostas diretamente ao sol, sobre uma placa de madeira coberta com uma lona preta, e quatro foram deixadas em um incubadora de DBO com a temperatura constante de 24°C. Os recipientes expostos ao sol foram apoiados em suporte plano revestido de cor negra, para favorecer o aquecimento das amostras.

Cada bateria de ensaios foi realizada no período entre 9:00 e 16:00 horas, considerado ideal para os experimentos. Durante este período, foram tomadas alíquotas das amostras nos tempos zero, ½ hora, 1 hora, 2 horas, 4 horas e 6 horas após o início da exposição ao sol.

Em cada alíquota de amostra, para cada bateria de ensaios, foram realizadas as medidas de turbidez, pH, coliformes totais e fecais. As metodologias usadas são aquelas propostas pelo *Standard Methods* (APHA, AWWA e WEF, 1995). No recipiente contendo a alíquota de amostra para medida do efeito de exposição de 6 horas ao sol foi introduzido um termômetro de bulbo de mercúrio, utilizado para monitoramento da temperatura da água durante o período de exposição.

Além das características de qualidade da água mencionadas, nas datas de realização dos experimentos foram obtidos os valores monitorados de uma série de variáveis climáticas, a saber: temperatura do ar, radiação solar total, radiação solar global na faixa UV, radiação UV-A, umidade relativa do ar, horas de insolação, precipitação e evaporação. Tais dados foram obtidos pelas estações climatológicas da própria Universidade de Brasília, situada próxima ao local do experimento, e do Instituto Nacional de Meteorologia, situada no Cruzeiro, também no Plano Piloto.

RESULTADOS OBTIDOS

Os ensaios nas amostras tipo “EP” mostraram valores de turbidez em torno de zero, pH próximo de 6.3, e temperatura máxima de 50°C, apresentando um melhor desenvolvimento da curva de decaimento de coliformes. A Figura 1 mostra o decaimento de coliformes durante o tempo de exposição solar, e os dados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperatura das alíquotas da amostra EP

Amostras	Temperatura(°C)	Turbidez (NTU)	pH
Zero	19	0.1	6.2
½ hora	28	0.1	6.2
1 hora sol	34	0.2	6.3
2 horas sol	39.5	0.1	6.3
4 horas sol	48.5	0.2	6.3
6 horas sol	43.5	0.1	6.3

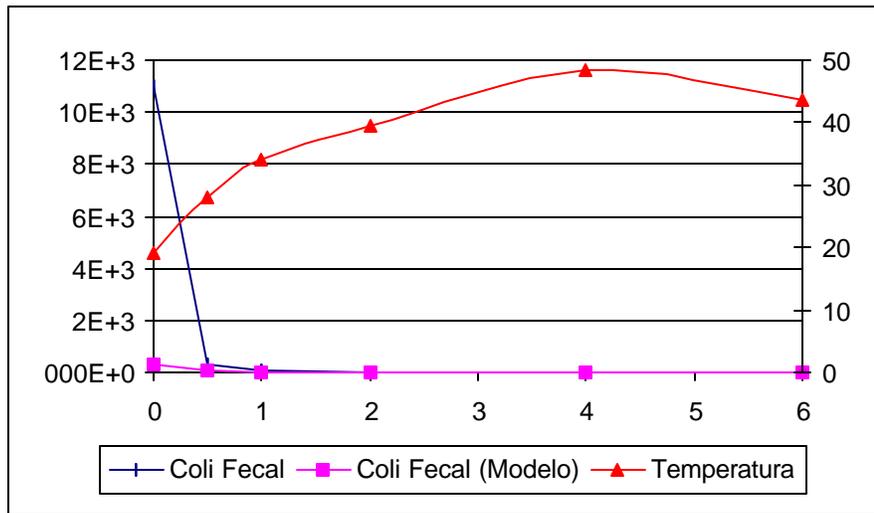


Figura 1 - Gráfico dos resultados encontrados na amostra EP

Nos testes nas amostras tipo “ED”, a turbidez apresentada foi em torno de 18 NTU, pH de 6.7 e temperatura máxima de 47°C, sendo que os resultados de coliformes apresentaram-se elevados até que se atingissem temperaturas superiores a 40°C, quando ocorre o início efetivo do decaimento, conforme a Figura 2 e Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados encontrados para amostra ED

Amostras	Temperatura(°C)	Turbidez (NTU)	pH
Zero	20.5	19	6.8
½ hora	21.5	19	6.5
1 hora sol	24	16	6.7
2 horas sol	30	18	6.8
4 horas sol	42	18	7.0
6 horas sol	40	18	7.0

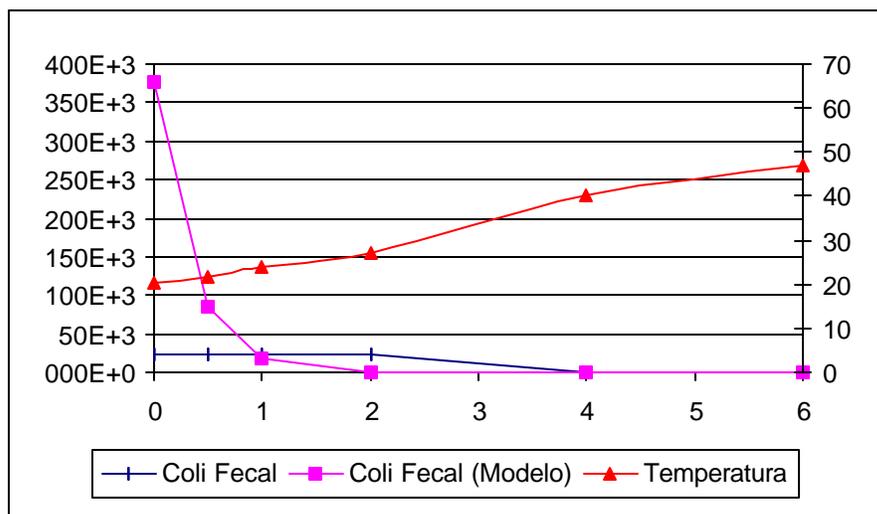


Figura 2 - Gráfico dos resultados encontrados na amostra ED

Nos testes nas amostras tipo “R”, a turbidez ficou em torno de 4,8 NTU, o valor de pH em 6.4, e a temperatura máxima em 67°C sob exposição solar, apresentando um decaimento de coliformes que pode ser considerado excelente. Os resultados são mostrados na Tabela 3 e na Figura 3.

Em todos os gráficos apresentados, acrescentou-se o traçado da curva de decaimento expressa pela cinética de primeira ordem. Pode-se observar, assim, a obediência dos pontos ao modelo cinético.

Tabela 3 - Resultados da amostra R

Amostras	Temperatura(°C)	Turbidez (NTU)	pH
Zero	24	4.8	6.4
½ hora	31	4.8	6.4
1 hora sol	39	4.7	6.4
2 horas sol	50	4.8	6.4
4 horas sol	60	4.8	6.4
6 horas sol	35	4.8	6.4

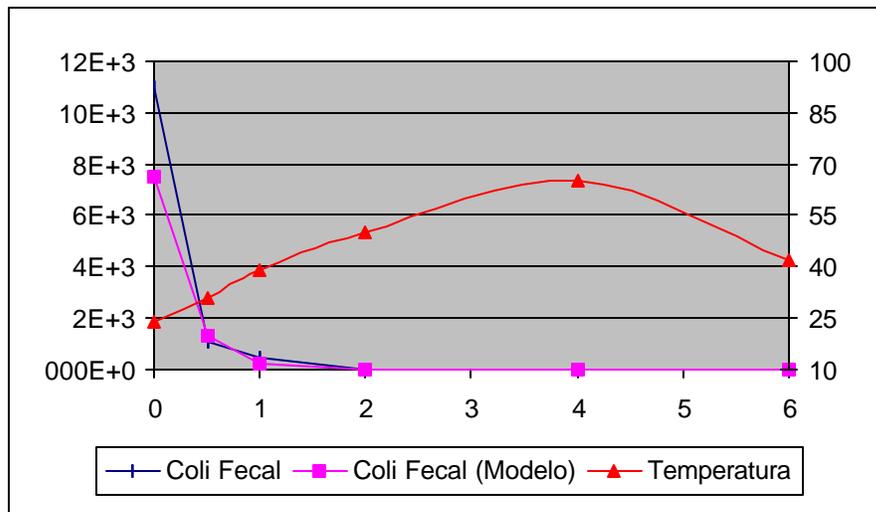


Figura 3 - Gráfico dos resultados encontrados na amostra R

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados preliminares obtidos até então demonstram que a desinfecção solar apresentou eficiência pelo menos similar ao que foi registrado por outros pesquisadores. O bom desempenho obtido pode ser atribuído à excelente posição geográfica do Brasil, e principalmente do Distrito Federal, em relação à insolação. Ressalva-se o caso das amostras com elevada turbidez, nas quais a desinfecção solar não mostrou o mesmo desempenho. Ainda que mais dados devam ser levantados e os experimentos devam continuar, avalia-se que a desinfecção solar é uma alternativa de baixo custo para fornecer água às populações, sem riscos à saúde, naquelas localidades que possuem altos índices de radiação solar. A desinfecção solar da água pode ser empregada principalmente naquelas localidades onde não existe tratamento algum da água e onde são comuns os problemas de doenças como cólera e diarreia.

Recomenda-se ao usuário, no caso de empregar a desinfecção em batelada, que o material do recipiente utilizado para exposição solar da água seja limpo e desinfetado, e que seja bem vedado, para

se evitar contaminação. Também recomenda-se que a água a ser desinfetada possua a menor turbidez possível, para que se obtenha um maior nível de segurança no tratamento.

Os trabalhos de pesquisa devem ser continuados, levando-se em conta o estudo de novos materiais e volumes maiores, e observando a remoção de outros organismos patogênicos. Atualmente dá-se continuidade à presente pesquisa, testando-se protótipos para a desinfecção fotoquímica que empregam diferentes materiais e volumes maiores. Procura-se, também, relacionar os resultados obtidos de eficiência de desinfecção com os valores de energia solar recebida durante a exposição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABES (1994) *Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, CABES XVII*. ABES, Rio de Janeiro, Brasil.
- ACRA, A.; RAFFOUL, A.; e KARAHAGOPIAN, Y. (1984) *Solar Disinfection of Drinking Water and Oral Rehydration Solutions*. Paris: UNICEF.
- APHA, AWWA, e WEF (1995). *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*, 19ª Edição, AWA, Washington, EUA
- BABCOCK, D.B. e SINGER, P.C. (1979) "Chlorination an coagulation of humic and fulvic acids". *Jour. AWWA*, **71**(3), 149.
- BRAVO, L.G.M. (s.d.) Caracterización de un Calentador Solar Utilizado como Sistema de Desinfección de Agua para Consumo Humano en el Medio Rural.(Referência incompleta, sem data).
- BRYANT, E. A., FULTON, G.P. e BUDD, G.C. (1992) *Disinfection alternatives for safe drinking water*. Van Nostrand Reinhold Ed., Nova York, EUA. 518p.
- CALKINS, J. e BARCELO, J.A. (1976) Somer futher considrations on the use of repair-defective organisms as biological dosimeters for broad-band ultraviolet radiation sources. *Photochem. Photobiol.*, Vol.30, pp. 733-737.
- CODEPLAN (1996) *Anuário Estatístico do Distrito Federal*. Secretaria da Fazenda e Planejamento. Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central - Governo do Distrito Federal.
- CRAUN, G.F. e CASTRO (editores) (1996) *La Calidad del Agua Potable en America Latina: Ponderación de los Riesgos Microbiológicos contra los Riesgos de los Subproductos de la Desinfección Química*. ILSI Press, Washigton, EUA, 222p.
- DI BERNARDO, L. (1993) *Métodos e técnicas de tratamento de água*. vol. 2, ABES, rio de Janeiro, Brasil, 503p.
- FAIR, G.M., GEYER, J.C. e OKUN, D.A. (1968) *Water and wastewater engineering, Vol. 2: Water purification and wastewater treatment and disposal*. 2ª Edição, John Wiley & Sons, Nova York, EUA.

- FEACHEM, R., BRADLEY, D, GARELICK, M. e MARA D. (1983) *Sanitation and disease, health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley & Sons, Inc., Reino Unido.
- GALAL-GORCHEV (1996) "Desinfección del agua potable y subproductos de inter's para la salud". In: *La Calidad del Agua Potable en America Latina: Ponderación de los Riesgos Microbiológicos contra los Riesgos de los Subproductos de la Desinfección Química*, Editado por Craun, G.F. e Castro, R., 89-100. ILSI Press, Washigton, EUA.
- GELDREICH, E.E. e CRAUN, G.F. (1996) "Barreras múltiples para la protección y el tratamiento del abastecimiento de agua potable: um método probado de prevención de la propagación de las enfermedades transmitidas por el agua". ". In: *La Calidad del Agua Potable en America Latina: Ponderación de los Riesgos Microbiológicos contra los Riesgos de los Subproductos de la Desinfección Química*, Editado por Craun, G.F. e Castro, R., 1-6. ILSI Press, Washigton, EUA.
- HASS, C.N. (1990) "Disinfection". In *Water quality and treatment*, Editado por Pontius, F.W.. McGraw-Hill Inc., EUA. 1194p.
- ISPN – INSTITUTO SOCIEDADE, POPULAÇÃO E NATUREZA (1995) *Demanda, oferta e necessidades dos serviços de saneamento*. Série Modernização do Setor Saneamento, 4. IPEA, SEPURB/MPO. Brasília. 219p.
- JAGGER, J. (1985) Solar-UV Acrions on Living Cells. *Photochem. Photobiol.*, Vol.27, pp 86-91.
- LAWAND, T.A.; ALWARDS, R.; OEYEMI, O.; HABIN, J.; KANPDAN, T.C. e AYOUB, J. (1988) eds. Solar water disinfecton. *Proceedings of workshop held at the Brace Reserch Institute. Montreal, Canada*. International Development Research Centre ,IDRC-MR231e,Ottawa, Ontario,Canada.
- MORRIS, J.C. e BAUM, B. (1978) "Precursors and mecanismos of haloform formation in the chlorination of water supplies". In *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects*, Jolley et al. (eds) vol. 2, Ann Arbor, EUA.
- OLIVEIRA, W.E. (1976) "Importância do abastecimento de água na transmissão de doenças". In *Técnicas de abastecimento e tratamento de água*, Azevedo Netto *et al.*. Vol. 1. CETESB, São Paulo, Brasil, 550p.
- OMS (1993) *Guidelines for drinking-water quality*. Vol.1, 2ª Edição, Genebra, Suíça, 188p.
- REIFF, F.M. (1988) "Drinking –water improvement in the Americas with mixed oxidant gases generated on site for disinfection (MOGGOD)". *Bulletin of the Pan American Health Organization*. **22**(4). 394-415.
- REIFF, F.M. (1993) "Introduction to mixed oxidants generated on-site for disinfection". *Seminário Internacional em Desinfecção de Águas de Abastecimento e Residuárias em Países em Desenvolvimento*, 55-73. Belo Horizonte, Brasil.
- REIFF, F.M. (1996) "El estado de la desinfección del agua potable en América Latina y el Caribe". In: *La Calidad del Agua Potable en America Latina: Ponderación de los Riesgos Microbiológicos contra*

los Riesgos de los Subproductos de la Desinfección Química, Editado por Craun, G.F. e Castro, R., 101-114. ILSI Press, Washigton, EUA.

REIFF, F.M. e WITT, V.M. (1995) *Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección de la agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe*. Division de Saud y Ambiente, Série Técnica No. 30, OPAS/OMS, Washington, EUA, 227p.

ROOK, J.J. (1977) "Halofoms in drinking water". *Jour. AWWA*, **69**(12), 158.

ROSSIN, A. C. (1987) "Desinfecção". In *Técnicas de abastecimento e tratamento de água*, Azevedo Netto *et al.*. Vol 2. 3ª Edição, CETESB, São Paulo, Brasil. 320p.

SOMMER, B.; MARINO, A.; SOLARTES, Y.; SALAS, M.L.; DIEROLF, C.; VALIENTE, C.; MORA, D.; RECHSTEINER, R.; SETTERS, P.; WIEOJANAGUDS, W.; AJARMEH, H.; AL-HASSAN, A. e WEGELIN, M. (1997). SODIS - an emerging water treatment process. *J. Water SRT - Aqua*, Vol.46(3), pp.127-137.

TYRELL, R.M. e SOUZA-NETO, A. (1981). Lethal effects of natural solar ultraviolet radiation in repair proficient and repair deficient strains of *Escherichia coli*: actions and interactions. *Photochem. Photobiol.* Vol.34, pp.331-337.

VARGAS, C.C. e BRAVO, L.G.M. (s.d.) "Uso de la energia solar en la desinfección de agua para consumo humano. Referência incompleta.

WEBER, W.J. e POSSELT, H.S. (1972) "Disinfection". In *Physicochemical processes for water quality control*, Editado por Weber, W.J.. John Wiley & Sons, Inc., EUA. 640p.

WITT, V.M. e REIFF, F.M. (1996) "Tecnologías de desinfección del agua para comunidades pequeñas y zonas rurales". In: *La Calidad del Agua Potable en America Latina: Ponderación de los Riesgos Microbiológicos contra los Riesgos de los Subproductos de la Desinfección Química*, Editado por Craun, G.F. e Castro, R., 153-186. ILSI Press, Washigton, EUA.

WEGELIN, M.; CANONICA, S.; MECHSNER, K.; FLEICHMMAN, T.; PESARO, F.; e METZLER, A. (1994) Solar Water Disinfection: Scope on the Process and Analysis of Radiation Experiments. *J. Water SRT-Aqua*, Vol.43(3), pp.154-169.