

Comparação da eficiência dos eletrodos de carbono, titânio e TiRuO_2 na Desinfecção de águas

Rodolfo Tolentino-Bisneto¹
Ederio D. Bidoia¹

Recebido em: 10/03/2002
Aceito em: 15/07/2002

TOLENTINO-BISNETO, Rodolfo; BIDOIA, Ederio D. Comparação da eficiência dos eletrodos de carbono, titânio e TiRuO_2 na Desinfecção de águas. *Salusvita*, Bauru, v. 21, n. 2, p. 67-74, 2002.

RESUMO

A desinfecção de águas de abastecimento é de vital importância para a saúde pública. Porém processos convencionais de desinfecção, por requererem a adição de substâncias à água, podem gerar compostos tóxicos como é o caso dos trihalometanos formados quando o cloro entra em contato com substâncias orgânicas presentes na água. O tratamento eletrolítico pode ser um substituto para o processo de cloração com a vantagem de não requerer a adição de nenhuma substância ao processo. O tratamento eletrolítico é facilmente automatizável, versátil, requer pouco espaço para sua implantação e tem baixo custo operacional. O presente trabalho visou comparar o efeito do tratamento eletrolítico com eletrodos de carbono, titânio e titânio recoberto por óxido de titânio e óxido de rutênio (TiRuO_2) na viabilidade do *Bacillus subtilis*. Suspensões de *B. subtilis* em tampão fosfato pH 7,2 foram eletrolisadas com eletrodos de carbono esponjoso vitrificado, titânio ou TiRuO_2 , que foram utilizados como catodo. Uma placa de platina recoberta por uma membrana de diálise foi utilizada como anodo. Após aplicação de 0,60A de corrente contínua em diferentes tempos de tratamento nas suspensões do *B. subtilis* foram determinados: o número de células viáveis, o pH e a temperatura. Os resultados permitiram concluir que o eletrodo de carbono reduz a viabilidade do bacilo em 99,999 % em 30 min de eletrólise, ao passo que os eletrodos de titânio e TiRuO_2 não possibilitaram uma redução significativa até 45 min depois do tratamento.

UNITERMOS: Desinfecção, *Bacillus subtilis*, eletrólise, carbono, titânio, TiRuO_2 .

¹ Departamento de Bioquímica e Microbiologia
- Instituto de Biociências de Rio Claro -
UNESP

endereço:
Av. 24-A, 1515, Bela
vista, Rio Claro-SP. CEP
13506-900
Telefone: (19) 526-4135
Fax: (19) 526-4137
e-mail:
ederio@rc.unesp.br

INTRODUÇÃO

Microorganismos patogênicos estão presentes na maioria das fontes de água e a eliminação desses no abastecimento é indispensável à saúde pública (TOMINAGA; MIDIO, 1999). Segundo a Organização Mundial de Saúde 80 % de todas as doenças que se alastram nos países de terceiro mundo são provenientes de água contaminada (TOMINAGA; MIDIO, 1999).

O processo tradicional de desinfecção de águas implica na adição de substâncias químicas as quais podem gerar compostos tóxicos afetando a saúde daqueles que a utilizam. O método mais utilizado atualmente é o da cloração, que consiste em adicionar cloro livre (Cl_2), ou substâncias que o liberem na água, para que esse promova desinfecção. Mas esse método apesar de barato e eficaz promove a formação de trialometanos quando o cloro entra em contato com compostos orgânicos presentes na água (TOMINAGA; MIDIO, 1999). Os trialometanos são comprovadamente carcinógenos além de apresentarem outros efeitos toxicológicos (TOMINAGA; MIDIO, 1999).

Historicamente, o tratamento eletrolítico vem sendo usado com sucesso em águas residuárias. Devido este ser versátil, eficiente, facilmente automatizável, possuir compatibilidade ambiental e baixo custo efetivo de operação (ANGELIS et al., 1998). Além disso, este tratamento poder ser associado ao tratamento biológico diminuindo o tempo de retenção do efluente ou transformando as substâncias persistentes de difícil biodegradação em material facilmente degradável ou mais biocompatível (ANGELIS et al., 1998).

O tratamento eletrolítico pode ser uma alternativa ao processo tradicional de desinfecção de água de abastecimento. Além das vantagens na saúde pública, o tratamento eletrolítico, por não requerer a adição de nenhuma substância ao processo, é um processo limpo (LUBICKI; JAYARAM, 1996), podendo ser utilizado em indústrias de alta tecnologia que necessitem de águas extremamente puras em seus processos.

Do ponto de vista ambiental, o tratamento eletrolítico leva inúmeras vantagens sobre a cloração (LUBICKI; JAYARAM, 1996), a formação dos trialometanos é reduzida, favorecendo, além da preservação do meio ambiente, a saúde das pessoas que utilizem dessa água.

O presente trabalho visou comparar o efeito dos eletrodos de carbono, titânio e TiRuO_2 sobre a viabilidade do *Bacillus subtilis*.

MATERIAL E MÉTODOS

Preparo do Inóculo

Culturas de *B. subtilis* CCT 2576 foram obtidas a partir de dois repiques consecutivos. O primeiro em meio sólido NA (nutriente ágar) incubado a 28°C por 24h. O segundo em meio de cultura líquido NC (nutriente caldo) incubado a temperatura ambiente por 24h sob agitação.

TOLENTINO-BISNETO, Rodolfo; BIDOIA, Ederio D. Comparação da eficiência dos eletrodos de carbono, titânio e TiRuO_2 na Desinfecção de águas. *Salusvita*, Bauru, v. 21, n. 2, p. 67-74, 2002.

TOLENTINO-
BISNETO,
Rodolfo;
BIDOIA, Ederio
D. Comparação da
eficiência dos ele-
trodos de carbo-
no, titânio e Ti-
RuO₂ na
Desinfecção de
águas. *Salusvita*,
Bauru, v. 21, n. 2,
p. 67-74, 2002.

Tratamento Eletrolítico

Suspensões de *B subtilis* obtidas à partir da adição de uma alíquota de 2 mL do inóculo a tampão fosfato 0,2M a pH 7,2 livre de cloreto e estéril. Essas suspensões foram eletrolisadas com eletrodo de carbono esponjoso vitrificado fabricado pela Tokai Carbon Co.® do Japão, de titânio ou titânio recoberto por oxido de titânio e oxido de rutênio (TiRuO₂). Como anodo foi utilizado um eletrodo de platina policristalina da Aldrich (99,98% m/m) recoberto com uma membrana de diálise. Essa membrana ainda foi preenchida com 2ml de tampão fosfato 0,2M a pH 7,2 livre de cloreto e estéril. O recobrimento desse eletrodo impede o efeito desse na desinfecção.

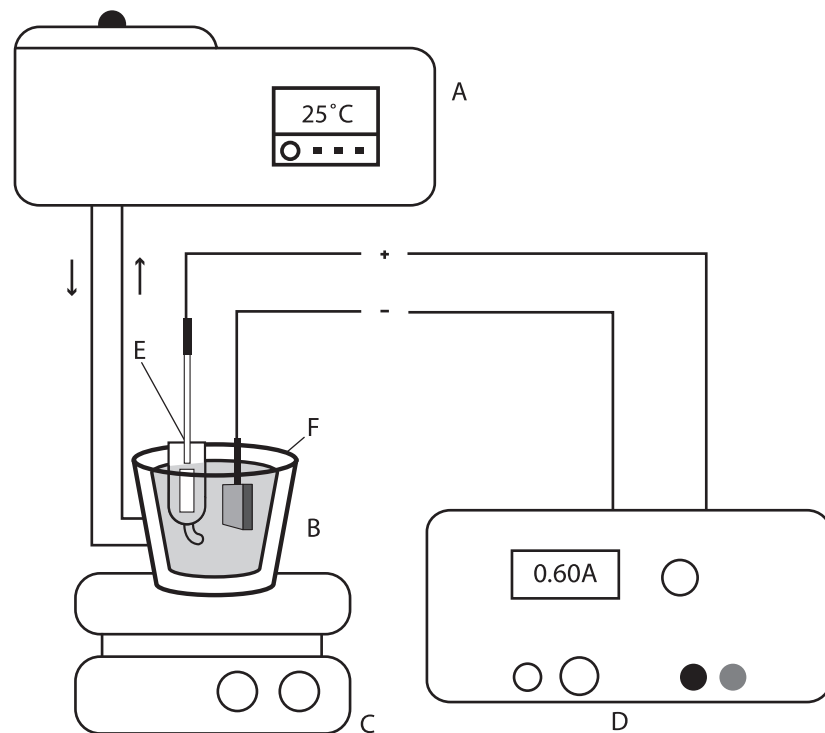


FIGURA 1: Diagrama do sistema de tratamento. A: banho termostático; B: célula eletrolítica; C: agitador magnético; D: fonte de corrente DC; E: anodo de platina recoberto pela membrana de diálise; F: catodo de carbono, titânio ou TiRuO₂.

Tais suspensões foram eletrolisadas a uma corrente contínua de 0,60 A em sistema de batelada em diferentes tempos. A célula eletrolítica foi mantida sobre refrigeração constante de modo que a temperatura do sistema não tenha ultrapassado 27°C. Durante a eletrólise a suspensão foi mantida sob agitação constante. As suspensões eletrolisadas tiveram seu pH, temperatura e quantidade de células viáveis determinados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O eletrodo de carbono demonstrou ser mais eficiente na redução da viabilidade do *B. subtilis* (FIGURA 2) que os eletrodos de titânio (FIGURA 3) e $TiRuO_2$ (FIGURA 4) quando utilizados como catodo. Enquanto o tratamento utilizando eletrodo de carbono reduziu a viabilidade do bacilo à praticamente zero após 30 min de eletrólise o tratamento com eletrodos de titânio e $TiRuO_2$ não apresentaram redução significativa na viabilidade até 45 min de eletrólise.

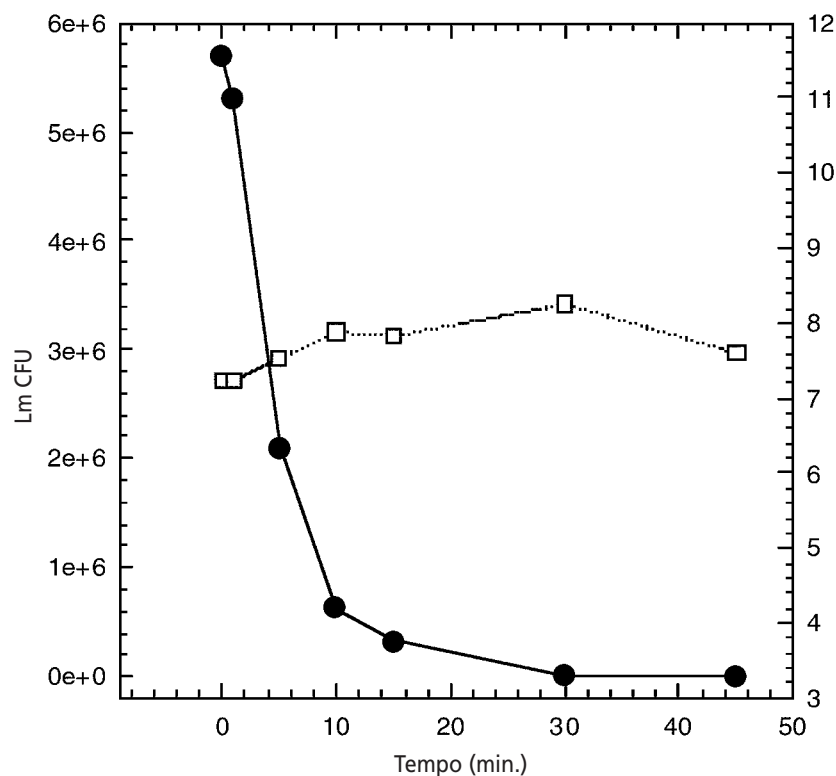


FIGURA 2: Unidades formadoras de colônia (UFC) de *Bacillus subtilis* (●) e pH (□) em função do tempo de eletrólise. Eletrodo de carbono vitrificado como catodo e platina recoberta por membrana de diálise como anodo. Corrente 0,60A. Tensão de 12,5 a 10,1V. Tampão fosfato pH 7,2.

TOLENTINO-BISNETO, Rodolfo; BIDOIA, Ederio D. Comparação da eficiência dos eletrodos de carbono, titânio e $TiRuO_2$ na Desinfecção de águas. *Salusvita*, Bauru, v. 21, n. 2, p. 67-74, 2002.

TOLENTINO-
BISNETO,
Rodolfo;
BIDOIA, Ederio
D. Comparação da
eficiência dos ele-
trodos de carbo-
no, titânio e Ti-
RuO₂ na
Desinfecção de
águas. *Salusvita*,
Bauru, v. 21, n. 2,
p. 67-74, 2002.

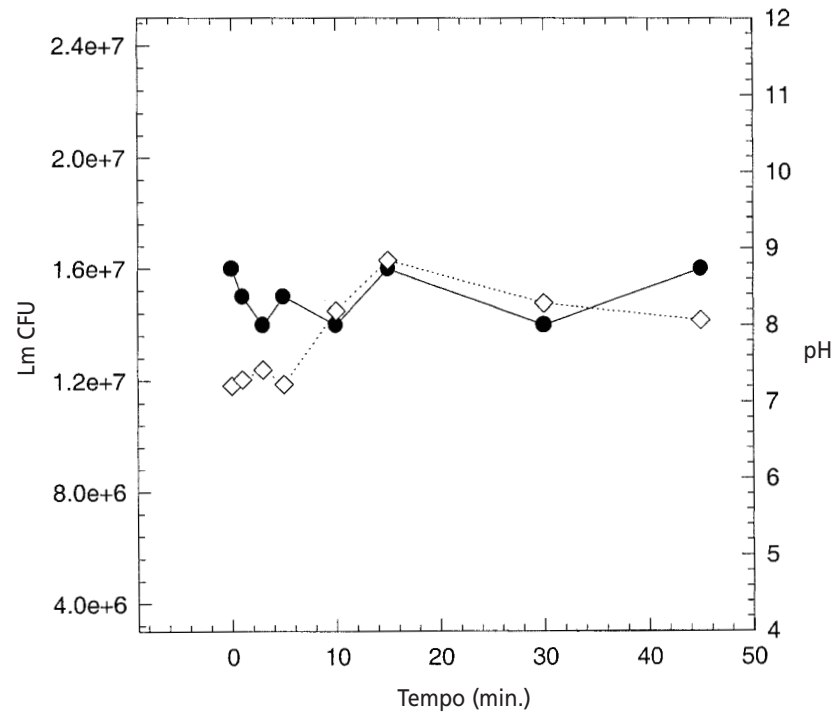


FIGURA 3: Unidades formadoras de colônia (UFC) de *Bacillus subtilis* (●) e pH (□) em função do tempo de eletrólise. Eletrodo de Titânio como catodo e platina recoberta por membrana de diálise como anodo. Corrente 0,60A. tensão de 13,0 a 8,7V. Tampão fosfato pH 7,2.

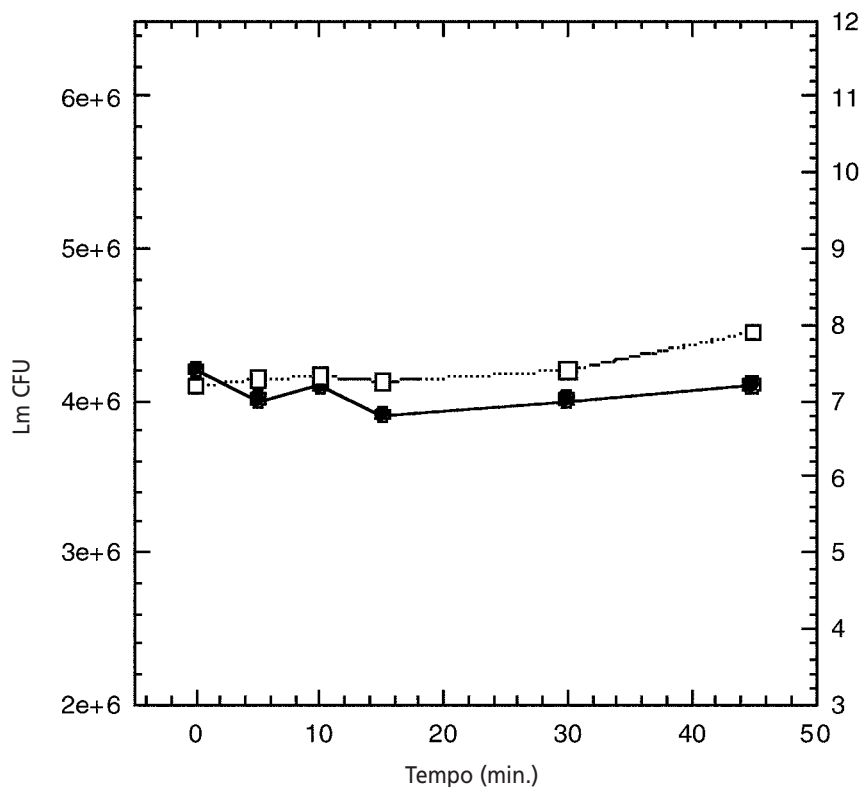


FIGURA 4: Unidades formadoras de colônia (UFC) de *Bacillus subtilis* (●) e pH (□) em função do tempo de eletrólise. Eletrodo de TiRuO₂ como catodo e platina recoberta por membrana de diálise como anodo. Corrente 0,60A. tensão de 13,0 a 8,7V. Tampão fosfato pH 7,2.

A morte do *B. subtilis* se deu pela transferência de carga entre o eletrodo e o microrganismo (PATERMARAKIS; FOUTOUKINDIS, 1990; NAKASONO et al., 1992, 1993; BRATFICH et al., 1999; TOLENTINO-BISNETO; BIDOIA, 2000 b) associado a eletroporação (LUBICKI; JAYARAM, 1996; FRIENDRICH et al., 1998; LEE; TAI, 1999; XUE et al., 2000).

Altos potenciais aplicados a células promovem a destruição da membrana citoplasmática ou simplesmente um aumento em sua permeabilidade e diminuição em sua seletividade (LUBICKI; JAYARAM, 1996; FRIENDRICH et al., 1998; LEE; TAI, 1999). Esse fenômeno é denominado de eletroporação. A eletroporação pode ser irreversível ou reversível. No primeiro caso há a formação de rupturas na membrana ocorrendo à morte celular e no segundo caso o rompimento da membrana celular é ínfimo, a morte celular não é obrigatória e a permeabilidade da membrana é muito aumentada (LUBICKI; JAYARAM, 1996; FRIENDRICH et al., 1998; LEE; TAI, 1999).

A maior eficiência do eletrodo de carbono em reduzir a viabilidade do *B. subtilis* pode ser atribuída à adsorção do bacilo ao eletrodo, ao pas-

TOLENTINO-BISNETO, Rodolfo; BIDOIA, Ederio D. Comparação da eficiência dos eletrodos de carbono, titânio e Ti-RuO₂ na Desinfecção de águas. *Salusvita*, Bauru, v. 21, n. 2, p. 67-74, 2002.

TOLENTINO-BISNETO, Rodolfo; BIDOIA, Ederio
D. Comparação da eficiência dos eletrodos de carbono, titânio e TiRuO₂ na Desinfecção de águas. *Salusvita*, Bauru, v. 21, n. 2, p. 67-74, 2002.

so que essa não ocorre nos eletrodos de titânio e TiRuO₂. Desse modo, o microrganismo estando aderido ao eletrodo a transferência de cargas entre bactéria e eletrodo é mais efetiva ao mesmo tempo em que o bacilo está exposto por mais tempo ao campo elétrico.

A morte celular pela variação do pH da solução não ocorreu devido à solução estar tamponada e manter-se dentro da faixa suportada pela bactéria (TOLENTINO-BISNETO; BIDOIA, 2000 a). A desinfecção pela formação de cloro e substâncias derivadas (PARELEUX; SICARD, 1970; STONER et al., 1982; PATERMARAKIS; FOUTOUKINDIS, 1990) não foi considerada pelo sistema estar isento de cloreto. A morte pela oxidação de substâncias celulares como a Coenzima A (MATSUNAGA et al., 1992; NAKASONO et al., 1992; OKOCHI et al., 1999) também não ocorreu, pois o anodo esteve isolado pela membrana de diálise de modo que o *B. subtilis* não teve contato com esse eletrodo.

CONCLUSÃO

Os resultados permitiram concluir que o eletrodo de carbono reduz a viabilidade do bacilo em mais de 99,999 % em 30 min de eletrólise, ao passo que os eletrodos de titânio e TiRuO₂ não possibilitaram uma redução significativa até 45 min de tratamento.

Pôde-se concluir que a inviabilização do *B. subtilis* ocorreu devido à transferência de elétrons no contato entre a parede celular do microrganismo e o eletrodo em combinação com o fenômeno de eletroporação. A inviabilização celular foi intensificada no eletrodo de carbono devido à absorção do bacilo na superfície do eletrodo.

AGRADECIMENTOS

CAPES, FUNDUNESP, CNPq e FAPESP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANGELIS, D. F. et.al. Eletrólise de resíduos poluidores: I - Efluentes de uma indústria liofilizadora de condimentos. *Química Nova*, v. 21, n.1, p. 20-24, 1998.
2. BRATFICH, O. J. et.al. Electrolysis of cell suspensions of *Bacillus subtilis* (ATCC-9372) and of *Saccharomyces cerevisiae* (Fleischmann Royal[™]) using cast-iron electrodes. *Brazilian Journal of Ecology*, v. 3, p. 83-84, 1999.
3. FRIEDRICH, U. et.al. High efficiency electrotransfection with aluminum electrodes using microsecond controlled pulses. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, v. 47, p. 103-111, 1998.
4. LEE, S. W.; TAI, Y. C. A micro cell lysis device. *Sens. and Actuat.*, v. 73, p. 74-79, 1999.

5. LUBICK, P.; JAYARAM, S. High voltage pulse application for the destruction of Gram-negative bacterium *Yersunia enterocolitica*. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, v. 43, p. 135-141, 1997.
6. MATSUNAGA, T. et.al. Disinfection of drinking water by using a novel electrochemical reactor employing carbon-cloth electrodes. *Applied Environmental Microbiology*, v. 58, p. 686-689, 1992.
7. NAKASONO, S. et.al. Electrochemical disinfection of marine bacteria attached on plastic electrode. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, v. 27, p. 191-198, 1992.
8. NAKASONO, S. et.al. Electrochemical prevention of marine biofouling with a carbon-chloroprene sheet. *Applied Environmental Microbiology*, v. 59-11, p. 3757-3752, 1993.
9. OKOCHI, M.; NAKAMURA, N.; MATSUNAGA, T. Electrochemical killing of microorganisms using the oxidized form of ferrocenemonocarboxylic acid. *Electrochimica Acta*, VII. 44, p. 3795-3799, 1999.
10. PATERMARAKIS, G.; FOUNTOUKIDIS, E. Disinfection of water by electrochemical treatment. *Water Research*, VII. 24, n.12, p. 1491-1496, 1990.
11. PARELIEUX, A.; SICARD, N. Lethal effects of Electric Current on *Escherichia coli* *Applied Environmental Microbiology*, v. 19, p. 421-421, 1970.
12. STONER, G. E. et.al. The mechanism of low frequency AC electrochemical disinfection. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, VII. 9, p. 229-243, 1982.
13. TOLENTINO-BISNETO, R.; BIDOIA, E. D. Efeito do pH na desinfecção de águas de abastecimento por eletrólise utilizando eletrodos de carbono. *IV simpósio de iniciação científica do Campus de Rio Claro – Unesp*. p. 13. 2000.
14. TOLENTINO-BISNETO, R.; BIDOIA, E. D. Desinfecção de águas de consumo através de eletrólise utilizando eletrodos de carbono. *XII Congresso de iniciação científica da UNESP*. São José do Rio Preto-SP. p. 14. 17 a 20 de outubro de 2000.
15. TOMINAGA, M. Y.; MIDIO, A. F. Exposição humana a trihalometanos presentes em águas tratadas. *Revista Saúde Pública*, São Paulo, VII. 33, n. 4, p. 413-421, 1999.
16. XUE, G. P.; JOHNSON, J. S. DALRYMPLE, B. P. High osmolarity improves the electro-transformation efficiency of Gram-positive bacteria *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*. *Journal of Microbiological Methods*, VII. 34, p. 183-191, 1999.

TOLENTINO-BISNETO, Rodolfo; BIDOIA, Ederio D. Comparação da eficiência dos eletrodos de carbono, titânio e Ti-RuO₂ na Desinfecção de águas. *Salusvita*, Bauru, v. 21, n. 2, p. 67-74, 2002.