

**SILVESTRE ZECHINELLI DE OLIVEIRA**

**ADAPTAÇÃO DE EQUIPAMENTO DE GERAÇÃO DE GASES  
OXIDANTES PARA APLICAÇÃO NA DESINFECÇÃO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola, para  
obtenção do título de *Magister  
Scientiae*.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

## Ficha catalográfica

**SILVESTRE ZECHINELLI DE OLIVEIRA**

**ADAPTAÇÃO DE EQUIPAMENTO DE GERAÇÃO DE GASES  
OXIDANTES PARA APLICAÇÃO NA DESINFECÇÃO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola, para obtenção  
do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 06 de agosto de 2009.

---

Prof. Adelson Luiz Araújo Tinôco  
(Co-Orientador)

---

Prof<sup>a</sup> Ilda de Fátima Ferreira Tinôco

---

Prof. José Wallace Barbosa  
Nascimento

---

Prof<sup>a</sup>. Ana Augusta Passos Rezende

---

Prof<sup>a</sup>. Cecília de Fátima Souza  
(Orientadora)

## AGRADECIMENTOS

Aos professores Adelson Luís Araújo Tinôco e Ilda de Fátima Ferreira Tinôco pela oportunidade concedida em trabalhar em um tema tão importante e acreditar no desenvolvimento desse trabalho.

À professora Cecília de Fátima Souza pela paciência, compreensão e fundamental ajuda nos momentos mais difíceis.

Ao professor co-orientador Alisson Carraro Borges pela ajuda na obtenção dos resultados;

Ao professor Roberto Cecon pela ajuda nas análises estatísticas;

Ao Simão do Laboratório de Qualidade da Água do DEA pelo apoio concedido;

Aos amigos da estação de tratamento de água da UFV, Luís Eduardo e Endrik Nardotto Rios, pela ajuda fundamental nas análises;

À Jucilene Teixeira e família pelo companheirismo dedicado à minha pessoa;

A todos os colegas e professores da pós-graduação.

A todos os amigos e companheiros de república.

... e principalmente a Deus e à Minha Família que, mesmo longe, acompanhou essa jornada.

À CAPES pela bolsa concedida.

À Universidade Federal de Viçosa.

## **BIOGRAFIA**

SILVESTRE ZECHINELLI DE OLIVEIRA, filho de Sebastião Honorato de Oliveira e Cecília Zechinelli de Oliveira, nasceu em 20 de Agosto de 1981, em São Mateus – ES.

Em Março de 2002, iniciou o curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em Maio de 2006.

Em março de 2007, iniciou o Mestrado em Engenharia Agrícola – Construções Rurais e Ambiência na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de dissertação em Agosto de 2009.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 - OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
<b>3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>6</b>
3.1 - Desinfecção da água.....	6
3.1.1 - Histórico.....	6
3.1.2 - Mecanismos de ação dos desinfetantes clorados .....	10
3.2 - Microrganismos indicadores de contaminação .....	12
3.3 - Sistema MOGGOD.....	15
3.3.1 - Histórico.....	15
3.3.2 - A produção de gases oxidantes .....	17
3.3.3 - Experiências brasileiras com equipamentos de geração de oxidantes .	20
<b>4 - MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
4.1 - Funcionamento geral dos equipamentos .....	23
4.2 - Desenvolvimento do equipamento UFV-Água .....	25
4.3 - Teste e comparação do teor de cloro total gerado pelos equipamentos. ....	30
4.4 - Descrição Geral dos Ensaios de desinfecção.....	34
4.4.1 - Ensaio de desinfecção utilizando água “sintética” .....	35
4.4.2 - Ensaio de desinfecção utilizando água natural.....	38
<b>5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>40</b>
5.1 - Fase 01 – Desenvolvimento do equipamento .....	40
5.2 - Fase 02 – Teste e comparação do teor de cloro total gerado pelos equipamentos.....	42
5.3 - Fase 03 - Ensaio de desinfecção em água produzida em laboratório .....	49
5.4 - Fase 04 – Ensaio de desinfecção em água natural .....	52
<b>6 - CONCLUSÕES .....</b>	<b>54</b>
<b>7 - REFERENCIAS .....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>61</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Faixas de cor e turbidez pretendidas na produção da água sintética.	36
Tabela 4.2 - Características do microrganismo utilizado nos ensaios de desinfecção da água.....	36
Tabela 5.1 - Valores de produção de cloro total e respectivas potências lidas ao final do tempo de operação utilizando as concentrações de solução eletrolítica propostas, nos equipamentos Original e UFV-Água.....	42
Tabela 5.2 - Resultado de teste de desinfecção com cloro após o tempo de contato igual a 10 min para os diferentes tipos de qualidade da água analisadas. ....	50
Tabela 5.3 - Resultados do ensaio de desinfecção utilizando água natural proveniente do Rio São Bartolomeu.....	52
Tabela A.1 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração de solução de cloreto de sódio P.A. inicial igual a $100 \text{ g.l}^{-1}$ no compartimento anódico. ....	61
Tabela A.2 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração de solução de cloreto de sódio P.A. inicial igual a $125 \text{ g.l}^{-1}$ no compartimento anódico. ....	62
Tabela A.3 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração de solução de cloreto de sódio P.A. inicial igual a $150 \text{ g.l}^{-1}$ no compartimento anódico. ....	63
Tabela A.4 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração de solução de cloreto de sódio P.A. inicial igual a $175 \text{ g.l}^{-1}$ no compartimento anódico. ....	64
Tabela A.5 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração de solução de cloreto de sódio P.A. inicial igual a $200 \text{ g.l}^{-1}$ no compartimento anódico. ....	65
Tabela A.6 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração inicial de solução de sal comercial igual a $100 \text{ g.l}^{-1}$ no compartimento anódico.....	66
Tabela A.7 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração inicial de solução de sal comercial igual a $150 \text{ g.l}^{-1}$ no compartimento anódico.....	67
Tabela A.8 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração inicial de solução de sal comercial igual a $200 \text{ g.l}^{-1}$ no compartimento anódico.....	68

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.2: Diagrama esquemático da célula eletrolítica da tecnologia MOGGOD .	18
Figura 4.1: Foto ilustrativa do equipamento Original. ....	24
Figura 4.2: Fluxograma ilustrativo do sistema simplificado de desinfecção da água.....	25
Figura 4.3: Componentes utilizados na confecção da base do equipamento. ....	26
Figura 4.4: Componentes da base do equipamento após soldagem com uso de cola para PVC. ....	26
Figura 4.5: União da base dos compartimentos do equipamento com uso de flanges em PVC. ....	27
Figura 4.6: Figura ilustrativa da montagem do anodo soldado ao condutor elétrico (a) e da membrana (b), previamente colados às borrachas vulcanizadas. ....	28
Figura 4.7: Esquema referente às ordenações dos eletrodos e membrana, separados pelas borrachas vulcanizadas.....	28
Figura 4.8: Foto ilustrativa da base do equipamento e conexões de mangueira para entrada de ar e medida de nível de soluções.....	29
Figura 4.9: Foto ilustrativa do compartimento anódico e conexões. ....	29
Figura 4.10: Conexão da base do equipamento com o início do compartimento catódico. ....	30
Figura 4.11: Representação do equipamento Original em operação durante ensaios de produção de gases oxidantes. ....	31
Figura 4.12: Bomba de sucção da água do reservatório. ....	32
Figura 4.13: Ilustração da bateria (a) utilizada no sistema de alimentação dos equipamentos e do multímetro (b) utilizado na leitura de corrente e voltagem. ....	33
Figura 4.14 - Representação do equipamento UFV-Água na produção da solução desinfetante. ....	38
Figura 4.15 - Representação do ensaio de desinfecção utilizando água natural. ...	39
Figura 5.1 - Representação esquemática do equipamento UFV-Água finalizado com respectivos componentes. ....	40
Figura 5.2 - Representação do equipamento UFV-Água, em operação. ....	41
Figura 5.3 - Teores de cloro total na água de tratamento e potências demandadas ao longo do funcionamento dos equipamentos quando se operou com concentração da solução inicial de cloreto de sódio igual a 100 g.l <sup>-1</sup> .....	43

Figura 5.4 - Teores de cloro total na água de tratamento e potências demandadas ao longo do funcionamento dos equipamentos quando se operou com concentração da solução inicial de cloreto de sódio igual a $200 \text{ g.l}^{-1}$ .....	44
Figura 5.5 - Representação do trocador de calor situado no compartimento catódico do equipamento Original. ....	46
Figura 5.6 - Representação da entrada de água e sistema de resfriamento situados no compartimento catódico do equipamento UFV-Água, atuando como amenizador da temperatura. ....	46
Figura 5.7 - Teores de cloro e potências quando foram utilizadas soluções com concentrações iguais a $100 \text{ g.l}^{-1}$ de sal comercial e cloreto de sódio PA no compartimento anódico em ambos os equipamentos.....	48
Figura 5.8 - Teores de cloro e potências quando foram utilizadas soluções com concentrações iguais a $150 \text{ g.l}^{-1}$ de sal comercial e cloreto de sódio PA no compartimento anódico em ambos os equipamentos.....	48
Figura 5.9 - Teores de cloro e potências quando foram utilizadas soluções com concentrações iguais a $200 \text{ g.l}^{-1}$ de sal comercial e cloreto de sódio PA no compartimento anódico em ambos os equipamentos.....	48

## RESUMO

OLIVEIRA, Silvestre Zechinelli de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2009. **Adaptação de equipamento de geração de gases oxidantes para aplicação na desinfecção de água.** Orientador: Cecília de Fátima Souza. Co-Orientadores: Adelson Luiz Araújo Tinôco e Alisson Carraro Borges.

O consumo humano da água fora dos padrões microbiológicos de potabilidade constitui-se fator de risco e agravos a saúde. Através do processo de infiltração no solo, as águas subterrâneas podem ser contaminadas pelos resíduos gerados pela atividade humana e depositados no solo, lançados nos cursos d'água ou ar. O consumo humano da água *in natura*, capitada neste manancial, pode levar ao risco de doenças. Uma das tecnologias alternativas para desinfecção de água que tem se mostrado bastante promissora, é a de geração de solução oxidante *in loco*. A reação eletroquímica do cloreto de sódio produz gases oxidantes, que reagindo com a água, produzem o íon hipoclorito em equilíbrio com o ácido hipocloroso, além de traços de outros oxidantes. Neste trabalho buscou-se desenvolver um equipamento baseado em um modelo importado que utiliza este tipo de tecnologia, a fim de reduzir o custo de aquisição e torná-lo disponível às comunidades menos favorecidas nas questões de distribuição de água de qualidade. Buscou-se avaliar também, a eficiência dessa tecnologia na desinfecção de água com diferentes características de qualidade (cor e turbidez), utilizando coliformes totais e *Escherichia coli* como organismos indicadores de contaminação. Em cada experimento a qualidade da água bruta, e da água após adição do oxidante, foi analisada quanto às variáveis turbidez, cor verdadeira, residual de cloro, pH, temperatura, e presença de microorganismos indicadores. Nos experimentos realizados, verificou-se que o equipamento adaptado mostrou-se tão eficiente na produção de agentes desinfetantes, quanto o equipamento original. Nos ensaios microbiológicos realizados com água contaminada com *E. coli* (água sintetizada em laboratório e natural) e coliformes totais (água natural), observou-se que a inativação desses organismos foi eficaz com a utilização dos gases

provenientes do equipamento adaptado, levando-se em consideração o teor de cloro na água tratada com o equipamento.

### ABSTRACT

OLIVEIRA, Silvestre Zechinelli de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2009. **Adaptation of generator oxidant gases equipment to application in water disinfection.** Adviser: Cecília de Fátima Souza. Co-Advisers: Adelson Luiz Araújo Tinôco and Alisson Carraro Borges.

Human consumption of water outside of the microbiological standards for drinking constitutes a health and disease risk factor. Through the process of infiltration in the soil, groundwater may be contaminated by the waste generated by human activity and deposited in the soil, waterways or air. The consumption of water in natura, captured in a spring, may lead to the risk of disease. One of the alternative technologies for disinfecting water that has shown promise is the generation of an oxidant solution *in loco*. The electrochemical reaction of sodium chloride produces oxidizing gases, which reacts with the water to produce the hypochlorite ion in balance with hypochlorous acid, along with traces of other oxidants. In the present study the development of a device based on an imported model that uses this type of technology was sought in order to reduce the cost of acquisition and make it more available to disadvantaged communities with water quality issues. The evaluation of the efficiency of this technology in disinfecting water with different qualities (color and turbidity) was also sought, using total coliforms and *Escherichia coli* as indicator organisms of contamination. In each experiment the quality of untreated water, and water after adding the oxidant was examined on turbidity, true color, residual chlorine, pH, temperature, and quantification of microorganism indicators. In the experiments performed we found that the adapted equipment showed to be as efficient in the production of disinfectant agents as the original equipment. In the microbiological assays performed on water contaminated with *E. coli* (synthesized water in a laboratory and natural) and total coliforms (natural water), the inactivation of these organisms was observed to be effective with the use of gases that came from the adapted equipment, taking into account the content of chlorine in water treated with the equipment.

## 1 - INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água de boa qualidade para consumo, preparação de alimentos, higiene pessoal e doméstica é essencial para garantir a saúde e o bem estar dos seres humanos.

No continente americano a água é encontrada abundantemente, contudo, sua distribuição territorial irregular, o desperdício e a poluição diminuem a importância desse privilégio. O Brasil é um país afortunado, possui uma das maiores reservas de água doce do planeta. Entretanto, ainda existem imensos desafios a enfrentar em um País onde o acesso à água impõe enormes restrições à população mais pobre. Na região Nordeste do País, por exemplo, mais de um terço da população não tem acesso seguro ao abastecimento de água potável. A água constitui um dos elementos primordiais para a promoção do crescimento sustentável e inclusão social.

Segundo dados da Organização das Nações Unidas (2003) e do IBGE (2004), no Brasil:

- cerca de 85% das doenças conhecidas são de veiculação hídrica ou estão relacionadas à água;
- 60 milhões de brasileiros não têm saneamento básico;
- 3,4 milhões de residências não têm água encanada, o que atinge 15 milhões de brasileiros;
- 1/3 dos municípios com menos de 20.000 habitantes não têm água tratada; e 75% desses municípios têm menos de 10.000 habitantes;
- No nível distrital, 12% não têm rede de abastecimento d'água; destes, 46% se valem de poço raso particular;
- Doenças intestinais, como diarreia e verminoses, são uma das principais causas de internações no Brasil; e
- O Brasil desperdiça ainda até 40% da água tratada.

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 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 por meio 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 levantada por WEGELIN *et al.* (1994) é reforçada pelas observações da OPAS (Organização Pan-Americana de Saúde) com relação às causas da carência de sistemas de desinfecção na América Latina e Caribe. Essa Organização enumera 16 causas principais desta carência (REIFF, 1996) e, dentre elas, seis estão diretamente relacionadas a problemas de seleção da tecnologia adequada à realidade local, a saber:

- seleção de equipamento ou tecnologia não apropriada;
- impossibilidade de conseguir agentes desinfetantes;
- impossibilidade de conseguir peças de reposição e de reparos;
- requisitos de operação e manutenção complicados;
- insuficiente capacitação técnica para as tarefas de operação, manutenção e reparos; e
- falhas no fornecimento de energia elétrica.

Neste quadro, particularmente quando se pensa na zona rural e pequenas comunidades, uma opção tecnológica a ser considerada é a adoção de sistemas de abastecimento de água individuais ou de pequeno porte. Entretanto, para que esses sistemas sejam seguros, fazem-se necessários o desenvolvimento e a avaliação de tecnologias alternativas de tratamento e desinfecção que levem em conta a condição socio-cultural das populações.

Uma das tecnologias alternativas para desinfecção de água que tem se mostrado bastante promissora é a da geração de solução oxidante no local de uso. A solução é produto da reação eletroquímica do cloreto de sódio e contém o íon hipoclorito em equilíbrio com o ácido hipocloroso (cloro livre), outras espécies de cloro, além de traços de outros oxidantes. A

solução pode ser produzida em batelada ou de forma contínua, e, nesse caso, dosada diretamente na água a ser desinfetada.

Em 1982, a OPAS começou a desenvolver uma tecnologia para geração *in loco* de misturas de oxidantes para a desinfecção de água, a fim de aplicá-la em pequenas comunidades ou comunidades isoladas. Essa tecnologia ficou conhecida pela sigla MOGGOD (*Mixed Oxidant Gases Generated on-site for Disinfection*). No MOGGOD, a geração de gases oxidantes é realizada por eletrólise de uma solução salina de cloreto de sódio. O processo gera também, como subprodutos, solução de hidróxido de sódio e gás hidrogênio. A célula eletrolítica típica é dividida em dois compartimentos, anódico e catódico, separados por uma membrana semipermeável e seletiva (geralmente Nafion, co-polímero perfluorado), que permite a passagem de íons sódio, mas não de íons cloreto. O ânodo é feito de titânio ou grafite, enquanto o cátodo, de aço inoxidável (REIFF, 1988, BARROT *et al.*,1990).

Os trabalhos que demonstram a potencialidade dessa tecnologia, desenvolvidos na década de 80 e início dos anos 90, estão resumidos em vários artigos de autoria de REIFF, a maioria dos quais foram publicados pela própria OPAS. As principais vantagens do MOGGOD são o baixo consumo de matéria-prima (1 kg de sal por dia atende a 3.000 consumidores), o baixo consumo de energia e a eliminação dos problemas de aquisição, transporte, armazenamento e o manuseio de matérias-primas tóxicas e/ou agressivas aplicadas à desinfecção de águas (por exemplo, cloro gasoso), além de deixar residual de agente desinfetante, prevenindo subsequentes contaminações de estocagem de água tratada. A desvantagem do sistema pode ser a produção de trihalometanos e outras substâncias tóxicas, devido ao uso de cloração no processo de desinfecção e dificuldades na operação e manutenção em alguns equipamentos (DECONTO e SANTOS, 1995).

A necessidade de encontrar meios alternativos que facilitassem o acesso à água potável para populações, principalmente de baixa renda, e o controle da qualidade da água que será ingerida, levou a “*New Life International*” ao desenvolvimento de um equipamento de desinfecção de

água, que também utilizasse o princípio da eletrólise. De acordo com a instituição, o equipamento de desinfecção caracteriza uma medida eficaz para o problema de tratamento da água de mananciais contaminados, a partir da produção de cloro ( $\text{Cl}_2$ ) e, além disso, apresenta características como portabilidade, fácil operação e manutenção, produção de grandes volumes de água tratada (dependendo do nível de contaminação da água a ser tratada) e eficácia, na inativação de microrganismos em água.

Para a utilização do método, necessita-se criar um modelo que além de utilizar materiais facilmente adquiridos, trabalhe com a mesma capacidade de tratamento do projeto original, reduzindo o custo e propiciando aquisição pelas populações visadas.

O processo de desinfecção é importante em todos os sistemas de abastecimento de água, porém é fundamental para as pequenas comunidades e zonas rurais, já que este pode vir a ser o único processo de tratamento ao qual a água será submetida.

## 2 - OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo geral o desenvolvimento e a avaliação de um equipamento eletrolisador, gerador de gases oxidantes, baseado no modelo do equipamento da “*New Life international – Model 5*”.

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Comparação da produção de agente desinfetante a partir do teor de cloro total na água armazenada em um reservatório de volume fixo, submetida à ação dos equipamentos (equipamento desenvolvido em comparação com o da “*New Life*”);
- Avaliação o nível de eficiência dessa tecnologia utilizando *E. coli* como microrganismo indicador de contaminação;
- Verificação da influência da presença de cor, turbidez e dosagem de desinfetante na eficiência de remoção de coliformes totais e *E. coli*, levando em consideração o tempo de contato fixo do agente desinfetante na água de tratamento.

### **3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 - Desinfecção da água**

A desinfecção tem por finalidade a destruição ou inativação de microrganismos patogênicos presentes na água, incluindo bactérias, protozoários, vírus e vermes. Deve-se notar a diferença entre desinfecção e esterilização. Esterilizar significa a destruição total de todos os organismos, patogênicos ou não, enquanto que a desinfecção é a destruição de parte ou todo um grupo de organismos patogênicos. Os vírus de hepatite e de poliomielite, por exemplo, não são completamente destruídos ou inativados pelas técnicas usuais de desinfecção (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 2003).

A desinfecção é necessária porque não é possível assegurar a remoção total dos microrganismos pelos processos físico-químicos, usualmente utilizados no tratamento da água.

##### **3.1.1 - Histórico**

No século XVII o microscopista amador Antony Van Leeuwenhoek (1632-1723) descobriu numa minúscula gota d'água um mundo incrível e até então desconhecido – o mundo microbiológico, alertando pela primeira vez para as formas microscópicas de vida. Vários anos se passaram e, com o trabalho incansável de cientistas pioneiros, curiosos e perspicazes, as bases da Microbiologia se consolidaram. No entanto, até meados do século XIX acreditava-se ainda que as doenças eram causadas por fatores vagos, tais como o ar ou sangue ruins (PELCZAR *et al.*, 1997).

A água, especificamente, foi reconhecida como veículo transmissor de doenças somente na segunda metade do século XIX, com o trabalho do médico inglês John Snow. Ele comprovou sua teoria em um episódio acontecido em 1854 na cidade de Londres (Inglaterra). Após mapear as mortes ocorridas durante a epidemia de cólera, constatou que todas ocorreram num raio de 230 m nas cercanias da estação de Broad Street. Ao remover a bomba, impediu a comunidade de se abastecer da fonte d'água, resultando na estabilização imediata do número de infectados pela epidemia de cólera (WHITE, 1986 apud DANIEL, 2001).

SCHOENEN (2002) cita que até o fim do século XIX apenas duas doenças graves – cólera e febre tifóide - eram conhecidas serem veiculadas pela água. A partir da descoberta dos patogênicos baseada nos trabalhos de Louis Pasteur (1822-1895), Ferdinand Cohn (1828-1898) e Robert Koch (1842-1910) é que se tomou conhecimento de que muitas doenças podem ser causadas por microrganismos e que também muitos desses podem ser veiculados pela água.

Com o aumento da incidência de doenças de veiculação hídrica começaram a surgir as primeiras medidas, em grande escala, para o tratamento da água de consumo, destacando a filtração, que era realizada com o objetivo de eliminar turbidez e odores, e a desinfecção, cujo objetivo, ainda baseado em idéias ultrapassadas, era eliminar odores ruins.

Na Tabela 3.1 estão listadas algumas doenças conhecidas que podem ser transmitidas pela água, direta ou indiretamente, por rota feco-oral.

Tabela 0.1 - Principais doenças causadas por organismos patogênicos veiculados pela água.

Bactéria	Vírus	Protozoário
Cólera	Poliomielite	Amebíase
Febre Tifóide	Hepatites A e E	Giardiase
Febre Paratifóide	Enteroviroses	Criptosporidiose
Salmonelose	Rotaviroses	Toxoplasmose
Yersiniose	Adenoviroses	
Enterite campilobacteriana (EHEC)	Gastroenteropatia pelo agente	
Leptospirose	Norwalk	
	Moléstia de Coxsackie	

Fonte: Adaptado de SCHOENEN (2002)

A aplicação da desinfecção química em larga escala, no tratamento de água para abastecimento público, tem aproximadamente um século e meio, tendo sido usada inicialmente em situações de emergenciais. O primeiro uso da cloração de forma contínua em estações de tratamento de água se deu em 1904, após um surto de febre tifóide em Lincoln (Nebraska, EUA) utilizando como agente desinfetante o hipoclorito de sódio (PRESCOTT e HARWOOD, 1946 apud WEBER e POSSELT, 1972). Ao passo que a desinfecção química usando o hipoclorito de cálcio, foi

inicialmente aplicada no tratamento de água de abastecimento da cidade de Chicago (EUA), em 1908. A decisão do uso da desinfecção química para o tratamento de água destinada ao consumo humano só foi liberado pelo Supremo Tribunal de Nova Jersey em 1910, quando aceitaram que essa prática seria melhor para a saúde pública (JOHNSON, 1913 apud WEBER e POSSELT, 1972).

A prática da cloração no Estados Unidos espalhou-se rapidamente após liberação, porém, sofreu alguns obstáculos devido à instabilidade do hipoclorito originalmente usado para a desinfecção.

A partir de então, desde que a água de abastecimento passou a ser clorada, há mais de um século, a cloração exerceu papel dominante e providenciou segurança microbiológica à água (TRUSSELL, 1999). É um monopólio tradicional que nenhum outro desinfetante jamais atingiu.

No Brasil, a cloração foi implantada em 1926. A cidade de São Paulo sofria constantes epidemias de febre tifóide, causadas, na maioria dos casos, pela água contaminada do sistema público. Após a utilização de cloro no tratamento de água, observou-se decaimento do índice de mortalidade no município de São Paulo (OLIVEIRA, 1976).

Apesar de ser muito difundido, este agente desinfetante, apresenta também desvantagens por ser venenoso e corrosivo, requerendo cuidadoso manejo. Pode também, causar problemas de gosto e odor à água, particularmente na presença de fenóis.

São vários os agentes desinfetantes utilizados atualmente no tratamento de água, destacam-se: o cloro (sob diversas formas), o ozônio e a radiação ultravioleta (UV). Em nível domiciliar, a fervura ainda ocupa lugar de destaque, apesar do elevado consumo de energia.

Os agentes desinfetantes podem ser classificados em: agentes químicos; agentes físicos; agentes biológicos; meios mecânicos; e radiação. (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

Entre os agentes da desinfecção, os desinfetantes mais comuns são os produtos químicos oxidantes, dos quais o cloro é o mais utilizado.

O ozônio é o mais próximo competidor do cloro, sendo utilizado em larga escala somente na Europa (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

Um agente desinfetante, para ser usado no tratamento de água, deve satisfazer uma série de critérios segundo REIFF e WITT (1995):

- poder inativar, dentro de um tempo limitado, as classes e números de organismos patogênicos presentes na água;
- a determinação de sua concentração deve ser precisa, rápido, fácil e passiva de ser executada tanto em campo como em laboratório;
- deve ser aplicada dentro de uma ampla faixa de condição apresentadas pelas águas;
- deve produzir residuais resistentes para evitar recontaminação da água no sistema de distribuição;
- não deve ser tóxico ao ser humano ou produzir substâncias tóxicas acima dos limites permitidos na legislação;
- não deve ser capaz de alterar a aceitabilidade da água pelo consumidor;
- deve ser razoavelmente seguro e fácil de manejar e aplicar; e
- 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 independente 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 microbiológico), 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 desinfecção depende basicamente da natureza do desinfetante e do tipo de organismo que se pretende inativar. Algumas

espécies, como esporos e vírus, são mais resistentes que bactérias, por exemplo (WEBER e POSSELT, 1972).

A capacidade de desinfecção dos agentes desinfetantes é também influenciada pela qualidade da água, particularmente as variáveis pH, turbidez e concentração de material orgânico, tempo de contato entre o agente desinfetante e a água de tratamento, concentração de desinfetante e temperatura da água.

De uma forma geral, a presença de turbidez afeta negativamente a desinfecção, uma vez que os microrganismos podem proteger-se da ação dos desinfetantes, ocluindo-se nas partículas em suspensão. A matéria orgânica dissolvida (cor), por sua vez, leva ao aumento da demanda do desinfetante devido sua reação com o mesmo e está associada a formação de subprodutos indesejáveis. O aumento do tempo de contato e da concentração do agente desinfetante, por outro lado, favorecem uma boa desinfecção. A influência de cada fator na eficiência da desinfecção é tratada com detalhes por vários autores e vários livros especializados (FAIR *et al.*, 1968; WEBER e POSSELT, 1972; ROSSIN, 1987; BRYANT *et al.* 1992; DI BERNARDO, 1993; REIFF e WITT, 1995; entre outros). A maioria desses autores apresenta também os critérios de projeto mais utilizados para o dimensionamento das unidades de desinfecção.

### **3.1.2 - Mecanismos de ação dos desinfetantes clorados**

A ação do cloro como desinfetante envolve uma série de fatores, de maneira que não foi possível se determinar com precisão sua atuação sobre as bactérias e outros microrganismos. Uma das teorias mais difundidas se refere à reação do ácido hipocloroso (HOCl) com um dos sistemas enzimáticos (possivelmente sobre triosefosfato dihidrogenase) que é essencial na oxidação da glucose, processo muito importante para o metabolismo celular bacteriano. Comprovadamente o ácido hipocloroso exerce maior ação desinfetante que o íon - hipoclorito (OCl<sup>-</sup>), o que se explica pela maior facilidade de penetração do ácido através da parede celular, por ser este uma molécula pequena e neutra. O íon hipoclorito por

sua vez tem maior dificuldade em atravessar a parede celular e atingir o sistema enzimático em função de sua carga negativa. Portanto, é possível que a maior dificuldade na eliminação de formas esporuladas se deva à resistência a penetração do agente desinfetante pelo seu envoltório de proteção. A necessidade de dosagens mais elevadas de cloro na inativação de vírus favorece a teoria de que a ação bactericida se dê por ação enzimática, sendo os vírus desprovidos de enzimas, a sua destruição só é possível por oxidação direta de matéria protéica, o que exige mais cloro (ZARPELON e RODRIGUES, 2002).

De acordo com CAIRNS (1995), a cloração provoca a reação da molécula do desinfetante com alguma biomolécula crítica do microrganismo. Sendo que, vários fatores influenciam o sucesso da inativação microbiana, dentre os quais:

- a elevada dependência do pH das espécies de cloro  $OCl^-$  e  $HOCl$ ; a natureza da superfície celular; o pH intracelular do organismo; o equilíbrio entre as espécies de cloro; a temperatura, que influencia as taxas de reação química; e a difusão intracelular que influencia o acesso do desinfetante às biomoléculas críticas. Ainda, a habilidade que o cloro possui de sofrer transformações ao ocorrerem as reações de substituição e de oxidação, dificulta ainda mais a compreensão da química da desinfecção com cloro.

CAMEL e BERMOND (1998) citam que os fatores que influenciam o processo de desinfecção são o tempo de contato, a natureza do desinfetante, as cinéticas de reações competitivas que podem consumir o desinfetante, a natureza dos microrganismos bem como sua forma física e temperatura. O fator C.t, definido como o produto da concentração residual (C), em  $mg.l^{-1}$ , e o tempo de contato (t), em minutos, que o desinfetante permanece em contato com a água, consiste em um dos parâmetros mais importantes para prognosticar a eficiência germicida de um desinfetante (USEPA, 1999).

Enfim, a multiplicidade dos mecanismos de reações químicas, dos grupos funcionais reativos, do comportamento dos grupos funcionais das biomoléculas, a variabilidade dos grupos de microrganismos, da superfície

celular e do estado fisiológico desses, são fatores que sugerem que durante a cloração não há um mecanismo comum de inativação para todos os microrganismos. Esse mecanismo varia também, conforme a dose de cloro e o pH extracelular no qual os microrganismos se encontram (CAIRNS, 1995).

### **3.2 - Microrganismos indicadores de contaminação**

Por limitações de ordem prática, técnica e econômica é impossível examinar todos os potenciais organismos patogênicos presentes na água. Tradicionalmente são usados microrganismos indicadores para sugerir a ocorrência de contaminação fecal, verificar a eficiência de processos de tratamento de água e esgoto e possível deterioração ou pós-contaminação da água no sistema de distribuição.

Alguns critérios são propostos para a validação dos indicadores:

(i) devem estar presentes quando organismos patogênicos estão presentes e ausentes quando os patogênicos estão ausentes;

(ii) as características de persistência e crescimento de ambos devem ser semelhantes;

(iii) organismos patogênicos e indicadores devem ocorrer em níveis constantes para que a contagem dos indicadores seja boa estimativa do número de patogênicos presentes;

(iv) preferivelmente, o indicador deve estar presente nas fontes poluidoras em índices mais elevados do que a concentração de organismos patogênicos;

(v) o indicador deve ser tão resistente quanto o organismo patogênico às condições ambientais e aos desinfetantes;

(vi) o indicador deve ser facilmente quantificável e não patogênico;

(vii) os testes para quantificação do indicador devem ser aplicáveis a todos tipos de água;

(viii) os testes devem quantificar apenas o organismo indicador e não dar reações falso-positivas (STETLER, 1984).

Não existe microrganismo indicador universalmente aceito. A validade de qualquer indicador é afetada pela sua taxa relativa de remoção e destruição versus a do organismo-alvo, pelas diferenças de resistência ambiental ou mesmo habilidade de multiplicar-se no ambiente, e ainda, vírus, bactérias, protozoários e helmintos não possuem obviamente o mesmo comportamento que um único grupo indicador e, nem certamente em todas as situações (BERG e METCALF, 1978).

Os indicadores são usados para sugerir a presença de patogênicos, muito embora não exista relação direta entre organismos indicadores e patogênicos entéricos. Em decorrência, por diversas razões, podem ocorrer falhas quanto à presença do indicador e ausência de patogênicos ou vice-versa.

De acordo com BRASIL (2004) os principais microrganismos indicadores de contaminação fecal (ou, os mais comumente usados) são:

**Coliformes totais (bactérias do grupo coliforme):** bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a  $35,0 \pm 0,5$  °C em 24 a 48 horas e que podem apresentar atividade da enzima  $\beta$ -galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo. Não são indicadores específicos de poluição fecal.

**Coliformes termotolerantes:** subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a  $44,5 \pm 0,2$  °C em 24 horas, tendo como principal representante a *Escherichia coli* de origem exclusivamente fecal.

**Escherichia coli:** bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a  $44 \pm 0,2$  °C em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidrolisa a uréia e apresenta atividade das enzimas  $\beta$ -galactosidase e  $\beta$ -glucoronidase, sendo considerada o indicador mais específico de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos.

**Clostrídios sulfito redutores (CSR):** bacilos gram-positivos, estritamente anaeróbios, imóveis, formadores de esporos, reduzem o sulfito a sulfeto.

**Clostridium perfringens:** mesmas características dos CSR e ainda fermentam a lactose, manose e sacarose com produção de gás e fermentação turbulenta do leite, reduzem o nitrato, hidrolizam a gelatina, produzem lecitinase e fosfatase ácida. Nem todos os CSR presentes nas águas são indicadores de poluição fecal, apenas *C. perfringens* são indicadores apropriados.

**Bacteriófagos (fagos):** são vírus de bactérias, encontrados no meio ambiente. Apropriados para testar a qualidade da água e como modelos de vírus entéricos humano, com maior interesse nos colifagos somáticos, colifagos F-RNA (male-especific) e os fagos que infectam *Bacteroides fragilis*.

No Brasil, a prática de controle microbiológico de qualidade da água de consumo se fundamenta no controle da presença de bactérias do grupo coliformes (DANIEL, 2001). O padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano é estabelecido na Portaria MS 518/2004 conforme BRASIL (2004).

As técnicas de detecção de coliformes e *E. coli* são práticas e relativamente rápidas. São vários os métodos disponíveis, dentre eles, tubos múltiplos, contagem em membranas filtrantes e substratos cromogênicos.

Para CERQUEIRA (1999), as técnicas de detecção e identificação de outros indicadores microbiológicos para funções similares às que são atribuídas aos coliformes fecais devem ser padronizadas e simplificadas, podendo-se assim assegurar ausência de microrganismos patogênicos de maior persistência que essa espécie. Como colifagos, que podem informar sobre a eficiência do tratamento de água na remoção de enterovírus e outros vírus como o da hepatite de veiculação hídrica e *C. perfringens* que, por ser esporulado, informa sobre poluição fecal mais remota que aquelas indicadas pela presença de *E. coli*.

Nenhum grupo ou espécie de bactéria completa todos estes requerimentos, porém, poucos organismos se aproximam. O grupo

coliforme, designado por coliformes totais, tem sido usado como indicador para águas naturais e tratadas. O grupo dos coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*) e as medidas destes organismos na água são relacionadas com riscos de contrair doenças gastrointestinais. Porém, essas doenças atualmente estão mais fortemente associadas à presença de *Enterococcus sp.* invés de *E. coli* (BARREL *et al.*, 2000).

### **3.3 - Sistema MOGGOD**

Comparando-se os métodos mais utilizados atualmente na desinfecção da água: irradiação ultravioleta, ozonização, tratamentos com cloro e com hipoclorito, os dois últimos métodos são mais eficientes e de menor custo do que os dois primeiros métodos. Os tratamentos com cloro e hipoclorito apresentam a vantagem de possuírem ação residual, o que os difere dos tratamentos por irradiação ultravioleta e por ozônio como mostram (KRAFT *et al.*, 1999). Entretanto, para essa finalidade, a fabricação em grande escala tanto de cloro como de hipoclorito é economicamente desfavorável e/ou ecologicamente arriscada como mostram BASHTAN *et al.*(1999) e GUSTIN (2005).

Tendo em vista os riscos envolvidos/gerados na produção de cloro e as dificuldades encontradas no seu transporte devido aos riscos ambientais e de segurança, recomenda-se que as unidades consumidoras de cloro estejam localizadas próximas das unidades de produção do cloro como mostram (BASHTAN *et al.*, 1999 e GUSTIN, 2005).

#### **3.3.1 - Histórico**

Provavelmente, o primeiro artigo oficialmente escrito sobre a geração de misturas de oxidantes por eletrolise seja de CRUICK-SHANK (1801) citado por REIFF (1993), que observou e descreveu o odor do ozônio como característica do gás que se formava no anodo durante a eletrólise da água.

A geração de oxidantes por eletrólise é feito em escala comercial desde o começo do século. Entretanto, consideráveis progressos foram

feitos na produção de oxidantes por meio da eletrólise, particularmente na indústria produtora de cloro e substâncias alcalinas, destacando-se a utilização de anodo de dimensões estáveis, das membranas perfluoradas e o aperfeiçoamento do método em 1969, com a diminuição do custo e atenuação das necessidades de energia. Segundo REIFF (1993), atualmente, 90% da capacidade de produção de cloro, na América do Norte, está baseada nessa tecnologia.

Em 1982, a OPAS (Organização Pan-Americana de Saúde) começou a desenvolver uma tecnologia para geração *in loco* de misturas de oxidantes para a desinfecção de água, a fim de aplicá-la em pequenas comunidades ou comunidades isoladas. Essa tecnologia ficou conhecida pela sigla MOGGOD (*Mixed Oxidant Gases Generated on-site for Disinfection*). O interesse da OPAS na geração *in loco* da mistura de gases oxidantes tomou como base a experiência com equipamentos eletrolíticos de produção de hipoclorito de sódio *in situ*, bem como seus aspectos positivos e negativos. Considerou-se, também, a lógica de que a produção de um equipamento para a geração de um oxidante único (puro) teria custo mais elevado que a produção de um equipamento para geração de uma mistura de oxidantes. Além disso, havia evidências de que a mistura teria maior poder desinfetante em relação ao hipoclorito.

Em 1986, a OPAS empreendeu a primeira fase de um projeto de demonstração para estabelecer aos órgãos e instituições dos países membros, o conceito da tecnologia MOGGOD. Em dezembro de 1987, celebrou-se o primeiro seminário internacional sobre a tecnologia MOGGOD no Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente (CEPIS) com sede em Lima, Peru. O objetivo foi trocar informações e experiências sobre o novo procedimento, e fazer recomendações sobre investigações, aplicações, melhoramento e orientações futuras sobre o desenvolvimento tecnológico.

No final de 1993, a OPAS não tinha conhecimento do número exato de aparelhos instalados na América Latina e Caribe. Entretanto, estimou-se a existência de mais de 200 instalações de desinfecção utilizando mistura de gases oxidantes em uso. Algumas dessas unidades destinavam-se à

obtenção de dados sobre os aspectos práticos dessa tecnologia, e outras simplesmente à produção de água bacteriologicamente segura. REIFF e WITT (1995) relatam que a primeira instalação utilizando mistura de gases oxidantes funcionou de 1984 até 1993, apresentando um excelente desempenho, excedendo a cloração com gás que havia sido utilizado anteriormente.

### **3.3.2 - A produção de gases oxidantes**

REIFF e WITT (1995) descrevem o sistema MOGGOD como sendo construído por dois componentes básicos: uma célula eletrolítica e uma fonte que reduz e converte uma corrente de 110 ou 220 Volts de corrente alternada em 6 Volts de corrente contínua.

Na Figura 3.1 está representado o esquema de funcionamento da célula eletrolítica utilizada nos equipamentos de geração de mistura de oxidantes. A célula é dividida em compartimentos, anódico e catódico, separados por uma membrana semi-permeável e seletiva (geralmente Nafion, co-polímero perfluorado) que deixa passar íons sódio e impede a passagem de íons cloreto. O anodo é feito de titânio ou grafite, enquanto o cátodo é de aço inoxidável (REIFF, 1988; BARROTE *et al.*,1990). No compartimento anódico é mantida uma solução saturada de cloreto de sódio e no compartimento catódico tem-se uma solução de hidróxido de sódio. Sob condição de passagem de uma corrente elétrica, no anodo são gerados o cloro, espécies ativas de oxigênio e peróxido de hidrogênio, enquanto no cátodo é gerado gás hidrogênio. Os gases oxidantes misturados são adicionados à água a ser desinfetada através de um venturi, e o hidrogênio é liberado para a atmosfera. O hidróxido de sódio é recolhido para destiná-lo a outros fins ou para guardá-lo de forma adequada.

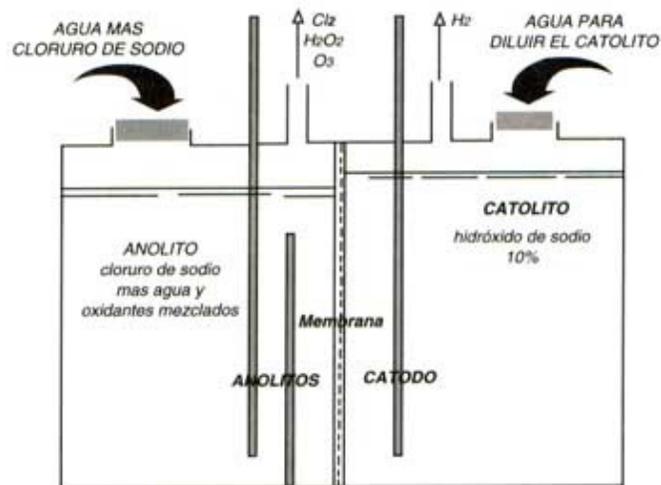


Figura 0.2 - Diagrama esquemático da célula eletrolítica da tecnologia MOGGOD (Fonte: <http://www.col.ops-oms.org/saludambiente/guia-desinfectantes.htm>);

Nos diferentes equipamentos MOGGOD, existe uma grande variação na relação entre o oxigênio e as espécies de cloro geradas. Acredita-se que isso se deve as diferenças nos projetos das células eletrolíticas, do material e do formato dos eletrodos, e das concentrações de sal no eletrólito. Nos trabalhos elaborados por PENDERGRASS *et al.* (1987), citado por REIFF e WITT (1995), essa proporção relativa de espécies identificadas, para um equipamento desenvolvido pela Los Alamos Technical Associates (LATA) variou com a voltagem aplicada, tendo uma anomalia que começa ao redor de 18 Volts para uma concentração de eletrólito de  $30\text{g.l}^{-1}$ . Segundo REIFF e WITT (1995) a proporção indicada com respeito à célula fabricada por *Oxidizers Inc.* varia de 50% a 60% de espécies de oxigênio. Já o equipamento fabricado pelo Centro de Desenvolvimento e Aplicação de Tecnologia (CEDAT), no México, produz aproximadamente 50% de espécies de oxigênio. Conforme as características da água a ser tratada, as experiências de campo sugerem que pode haver vantagens no emprego de diferentes proporções dos oxidantes, por isso deve-se investigar o uso de cada equipamento sob condições controladas.

Conforme REIFF (1988), as espécies de oxigênio produzidas no MOGGOD incluem peróxido de hidrogênio, ozônio e oxidantes de curta duração não identificados com precisão. As espécies de cloro incluem o íon

hipoclorito, ácido hipocloroso e vestígios do dióxido de cloro. Na eletrólise de uma solução de cloreto de sódio é de se esperar a presença de espécies de cloro. A presença de peróxido de hidrogênio pode ser explicada pela reação do oxigênio em presença do íon hidrogênio. A presença de ozônio e radicais livres procura-se explicar pelas reações na superfície catalítica dos anodos.

A eficiência biocida dos gases gerados nos equipamentos MOGGOD é demonstrada na literatura e bastante enfatizada nos trabalhos de REIFF (1988, 1993, 1995 e 1996). PENDERGRASS *et al.* (1987), citado por REIFF e WITT (1995), reportam a eficiência do processo na eliminação de vários organismos, inclusive protozoários. Os autores atingiram 100% de eliminação de cistos de *Giardia* em água a 3°C e com 30 minutos de tempo de contato, a partir de uma corrente gasosa contendo 0,4 mg.l<sup>-1</sup> de espécies oxidantes de vida curta (espécies de oxigênio) e 0,44 mg.l<sup>-1</sup> de cloro livre.

Outro método para produzir gases oxidantes é a tecnologia que gera uma solução de oxidantes ao invés de gases oxidantes. Esta tecnologia é composta por uma célula de titânio recoberta de óxido de irídio, que aproveita o fluxo laminar que atravessa a célula para separar por eletrólise, as espécies oxidantes e dividir o fluxo da solução salina em oxidantes na parede da célula onde se encontra o anodo e o hidróxido de sódio na parede onde está o catodo. Essa tecnologia é muito eficaz para condições nas quais uma solução de oxidantes seria mais conveniente do que os gases oxidantes.

A energia elétrica consumida pela célula eletrolítica dos distintos aparelhos geradores de mistura de oxidantes varia segundo o projeto específico da célula, incluindo o material dos eletrodos, a superfície e a configuração destes, a geometria da célula, o material da membrana e a normalidade ou a concentração das soluções anódicas e catódicas. Segundo REIFF (1988), na prática, a operação de unidades comerciais indica que o consumo de energia na célula oscila entre 3,6 e 7,5 kWh.kg<sup>-1</sup> de mistura de oxidantes produzidos na forma de gás, e aproximadamente 7 kWh nas células que produzem uma solução. Em condições de funcionamento, se for permitido o acúmulo de cálcio, magnésio, ferro ou

manganês na membrana ou no catodo, a consequência será o aumento no consumo de energia.

### **3.3.3 - Experiências brasileiras com equipamentos de geração de oxidantes**

No Brasil, os relatos de experiência com o Moggod são escassos, e restringem-se ao processo de desenvolvimento de um equipamento nacional no final da década de 80 (DINIZ e RODRIGUES, 1994; DECONTO e SANTOS, 1995).

Em 1987, a Sanepar (Companhia de Saneamento do Paraná) manifestou seu efetivo interesse pelo desenvolvimento e adequação de uma tecnologia visando solucionar os problemas inerentes à distribuição de água potável a pequenas comunidades. Para tanto, foi estabelecido um plano de trabalho com a participação da PUC-PR – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Sanepar e OPAS, cujo objetivo era avaliar um protótipo MOGGOD cedido pela OPAS. Concluídos os estudos preliminares, foi estabelecido um novo convênio, agora entre a Sanepar/PUC-PR e a Cooperação - Cooperativa mista de prestação de Serviços e Industrial Ltda., ficando esta com responsabilidade técnica do desenvolvimento do projeto. O longo período de estudos e testes operacionais serviu para a produção de um modelo nacional que recebeu a denominação de “Gerador Dosador de Gases Oxidantes Aquarius G. C.” com a capacidade para a produção de desinfetantes *in loco* para sistemas de abastecimento de até três litros por segundo.

De acordo com DECONTO e SANTOS (1995), para pequenas comunidades, o gerador dosador de gases oxidantes apresenta, em relação aos métodos convencionais, vantagens bastantes representativas. Entre outras vantagens, os autores citam:

- custo operacional muito menor;
- disponibilidade da matéria prima (sal de cozinha) em qualquer localidade;
- eliminação dos problemas de aquisição, transporte, armazenamento e manuseio de matéria-prima tóxica e/ou agressiva;

- baixo consumo de matéria –prima; 1 quilograma de sal por dia atende a 3 mil consumidores; e
- baixo consumo de energia elétrica, equivalente ao de uma lâmpada residencial.

As desvantagens apontadas pelos autores; em sua maioria, estão associadas a aspectos de operação e manutenção do equipamento. Para cada início de operação, há necessidade de se corrigir as soluções de sal e soda para concentrações pré-determinadas. A reação se processa à temperatura de aproximadamente 60°C acelerando o desgaste de alguns componentes do equipamento. Na manutenção do equipamento, há necessidade da abertura do reator, possibilitando com isso a inalação de gases oxidantes. A limpeza dos eletrodos e da membrana filtrante, possibilita contato entre o operador e os subprodutos da reação. SANTOS (1993) diz que o resíduo principal da reação é o hidróxido de sódio, o qual requer atenciosos cuidados quanto ao manuseio, armazenamento e destinação final.

Um dos aspectos que também gera desvantagem, diz respeito ao componente separador das câmaras de soluções de sal e de soda, a membrana semi-permeável, não disponível no mercado nacional. Seu fornecimento, principalmente em pequena escala, tem que se subordinar ao cronograma de produção geral da indústria.

A tecnologia mencionada é descrita como um sistema contínuo de geração e dosagem de solução oxidante aplicada na desinfecção de água e tratamento de efluentes que aumentam a eficácia da desinfecção para potabilização da água. A solução é produto da reação eletroquímica do cloreto de sódio, que se transforma em uma solução oxidante contendo cloro livre, Hipoclorito de sódio e Ácido hipocloroso. Todos esses produtos apresentam elevados potenciais bactericidas.

Segundo RODRIGUES e SANTOS (1994), para o bom funcionamento do gerador, faz-se necessária pelo menos, uma visita diária do operador de tratamento para eventuais reposições da solução de salmoura e verificação do cloro residual. A solução é preparada na concentração de 0,5% em peso e o dosador é regulado na vazão desejada. Recomenda-se utilizar o cloreto

de sódio refinado, podendo ser moído (sal de cozinha) ou cristalizado (sal de churrasco). O moído apresenta maior índice de solubilização e é fácil de aquisição.

Como a concentração de salmoura e a intensidade de corrente elétrica fornecidas ao sistema são constantes, a concentração da solução oxidante produzida também será. Dessa forma, ao se regular a vazão de solução a ser misturada à água a ser tratada, estabelece-se a dosagem de desinfetante a ser misturada.

Segundo SANTOS (1993), testes realizados em cinco localidades do Paraná, apresentaram resultados promissores no que diz respeito à qualidade bacteriológica da água tratada.

Entretanto, para uma utilização mais efetiva destes equipamentos, faz-se necessário o desenvolvimento de experimentos de fácil operação e manutenção, possibilitando utilizar águas com variados níveis de contaminação e características de qualidade diferenciadas. Nesse contexto e na possibilidade de prover água desinfetada a populações carentes de mão de obra especializada e recursos, insere-se o presente trabalho.

## 4 - MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, foi desenvolvido um protótipo, ensaiada a produção de cloro e coletada a corrente e voltagem demandadas pelos geradores eletrolíticos. Posteriormente, foram realizados 09 experimentos com água inoculada com *Escherichia coli*. Nesta etapa, a cor e turbidez foram variadas na faixa de 0 a 50 unidades. Também foram realizados 4 experimentos com água do Rio São Bartolomeu (Viçosa - MG). Esses experimentos foram separados para efeito de apresentação dos resultados em 4 fases distintas: Fase 01 – Desenvolvimento do equipamento UFV-Água; Fase 02 – Teste e comparação do teor de cloro total gerado pelos equipamentos; Fase 03 – Ensaio de desinfecção em água produzida em laboratório; e Fase 04 – Ensaio de desinfecção em água natural.

Em todas as fases do estudo, foram ensaiados os dois equipamentos (protótipo em comparação ao da “New Life International”).

### 4.1 - Funcionamento geral dos equipamentos

Para o desenvolvimento do equipamento, tomou-se como base o modelo criado pela instituição internacional “*New Life International*”, que, para efeito de apresentação, será tratado nesta pesquisa como “equipamento Original”. Da mesma forma, o equipamento desenvolvido será tratado neste trabalho como “UFV-Água”.

A Figura 4.1 ilustra o modelo Original utilizado como base para o desenvolvimento do equipamento UFV-Água. A célula eletrolítica típica é dividida em dois compartimentos, anódico e catódico, separados por uma membrana semipermeável e seletiva (Nafion, co-polímero perfluorado), que permite a passagem de íons sódio, mas não de íons cloreto. O ânodo é feito de titânio ou grafite, enquanto o cátodo, de aço inoxidável.

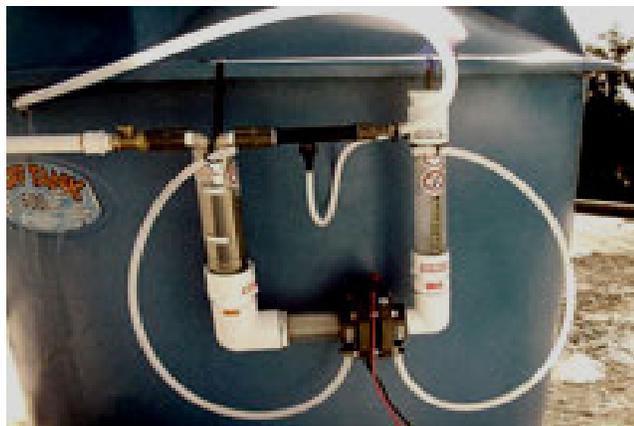


Figura 0.1 - Foto ilustrativa do equipamento Original.

Fonte: <http://www.waterfortheworld.com/>

Os eletrolisadores são alimentados com salmoura, preparada a partir da dissolução de cloreto de sódio analítico (PA) ou sal de cozinha em água. A fonte de corrente contínua dos eletrolisadores, que é ligada a uma bateria automotiva, é responsável pela aplicação de uma voltagem contínua nos eletrodos (12 Volts), o que desencadeia o processo de eletrólise, gerando  $\text{Cl}_2$  no ânodo e  $\text{H}_2$  no cátodo. O gás hidrogênio gerado no cátodo é liberado para a atmosfera, razão pela qual os eletrolisadores devem estar situados em um local bem ventilado. A grande maioria dos equipamentos eletrolisadores encontrados no mercado, utiliza como desinfetante a solução oxidante gerada no próprio reator eletrolítico, liberando para a atmosfera o excesso dos gases gerados pelo ânodo. Ao contrário deste processo, os equipamentos da pesquisa retiram estes gases oxidantes diluídos com ar atmosférico liberados pelo ânodo e os utilizam como agente desinfetante após mistura com a água a ser tratada.

O fluxograma referente ao processo de desinfecção está representado na Figura 4.2, a partir da qual se pode observar que água a ser tratada, passará por um sistema venturi, que promoverá a mistura do gás, proveniente da câmara eletrolítica alimentada com solução de cloreto de sódio, com a água de tratamento. A água é constantemente recirculada (por meio de uma bomba de sucção) durante o funcionamento dos equipamentos, esperando-se, assim, um aumento gradativo na concentração de desinfetante na mesma, quando o sistema opera *in situ* na

desinfecção de poços rasos e outras fontes de captação em que se trabalha com reservatórios.

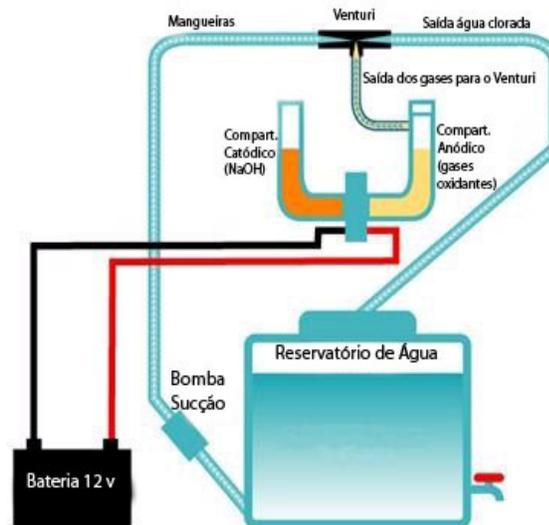


Figura 0.2 - Fluxograma ilustrativo do sistema simplificado de desinfecção da água.

#### 4.2 - Desenvolvimento do equipamento UFV-Água

O procedimento de desenvolvimento do equipamento iniciou-se com a confecção de sua base, que irá suportar os compartimentos anódico e catódico, e fazer a união dos componentes da célula eletrolítica.

Nas Figuras 4.3 e 4.4 estão representados os principais componentes e conexões de água fria em PVC da base do equipamento e a disposição com que eles foram soldados utilizando cola de PVC. A bancada experimental utilizada para esse procedimento foi composta de:

- Dois flanges com colarinho soldáveis em PVC 50mm;
- Dois pequenos pedaços de tubulação em PVC DN 50mm para união dos componentes;
- Uma ampliação concêntrica água fria de 50x60 mm;
- Uma ampliação concêntrica água fria de 50x75 mm;
- Um joelho soldável água fria DN 60 mm – conexão com compartimento anódico; e

- Um joelho esgoto primário 75 mm – conexão com compartimento catódico.



Figura 0.3 - Componentes utilizados na confecção da base do equipamento.



Figura 0.4 - Componentes da base do equipamento após soldagem com uso de cola para PVC.

Depois de concluído a soldagem dos componentes da base do equipamento, foram utilizados como união das peças, dois flanges com furos interno e externo com respectivamente 80 mm e 130 mm confeccionados com placa de PVC de 7 mm de espessura, unidos por 4 parafusos de 70 mm de comprimento e 5 mm de diâmetro interno, formando um flange de colarinho com aperto por parafusos, conforme pode ser verificado na Figura 4.5. É importante mencionar que os flanges servirão para unir os componentes da base, os eletrodos e a membrana conforme será apresentado a seguir.



Figura 0.5 - União da base dos compartimentos do equipamento com uso de flanges em PVC.

Posteriormente à confecção da base do equipamento, passou-se ao elemento no qual ocorrerão as reações eletrolíticas. Os materiais utilizados neste procedimento foram basicamente:

- Placa de borracha vulcanizada de 3 mm de espessura cortada em forma de disco de diâmetro interno e externo de respectivamente, 50 e 90 mm;
- Eletrodos de mesma dimensão que os discos de borracha, feitos em tela metálica (engranzamento de metal expandido em aço inoxidável);
- Membrana catiônica recortada em forma de disco de 70mm de diâmetro composta de nafion;
- Cola de silicone; e
- 4m de cabo elétrico flexível de 3 mm de diâmetro interno.

As Figuras 4.6 (a) e 4.6 (b) são representativas da montagem inicial da membrana e dos eletrodos colados paralelamente às borrachas com o uso de cola de silicone e a Figura 4.7 representa a forma como esses elementos componentes da célula eletrolítica foram justapostos.

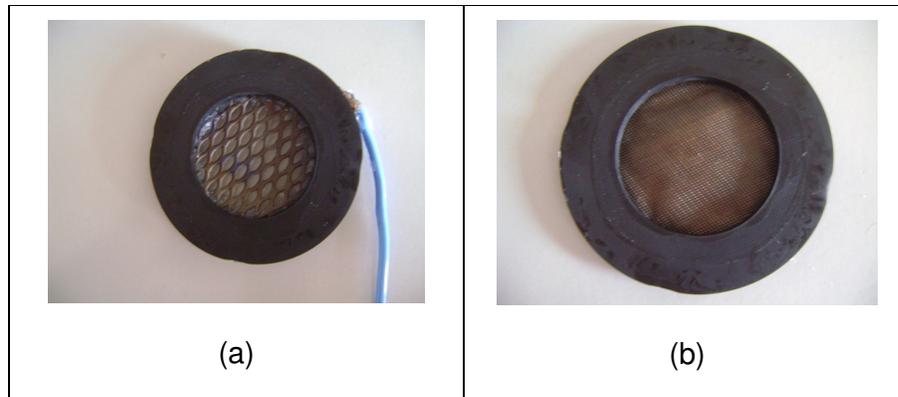


Figura 0.6 - Figura ilustrativa da montagem do anodo soldado ao condutor elétrico (a) e da membrana (b), previamente colados às borrachas vulcanizadas.

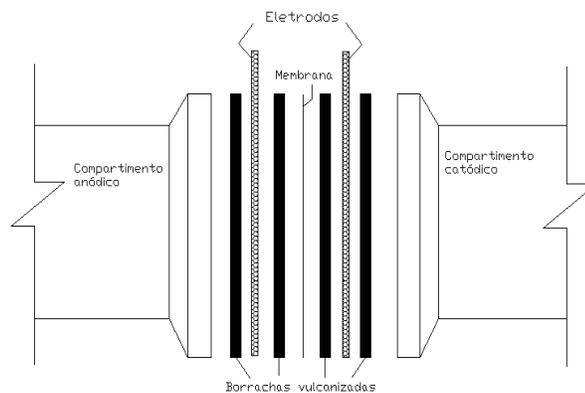


Figura 0.7 - Esquema referente às ordenações dos eletrodos e membrana, separados pelas borrachas vulcanizadas.

É importante mencionar que as borrachas vulcanizadas têm a função de impedir o contato dos eletrodos e membranas, impedindo curto-circuito durante o funcionamento do equipamento adaptado.

Durante o funcionamento do equipamento, o Venturi depois de submetido à vazão de água, faz a sucção dos gases presentes no compartimento anódico, impondo ali, um ambiente com pressão relativamente negativa, sendo necessário portanto, a entrada de ar no compartimento, de forma que os gases produzidos pelo processo eletrolítico não sejam perdidos e possam ser misturados no ponto de estrangulamento do Venturi. Para isto, foram utilizadas conexões conforme representa a Figura 4.8 e respectivas mangueiras, as quais serviriam também para medir o nível das soluções de cloreto de sódio nos compartimentos.

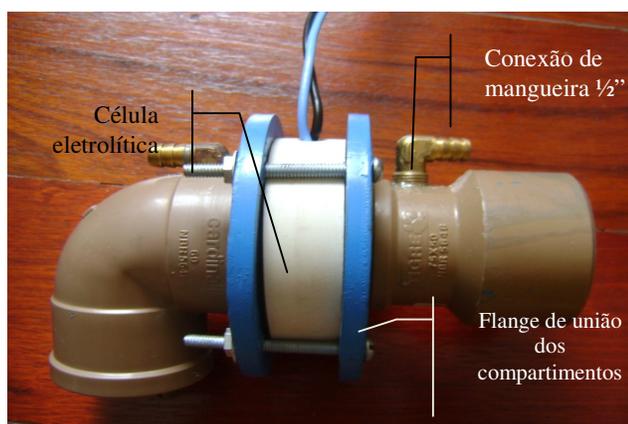


Figura 0.8 - Foto ilustrativa da base do equipamento e conexões de mangueira para entrada de ar e medida de nível de soluções.

Depois de concluída a base do equipamento e a célula eletrolítica deu-se início à produção dos compartimentos anódico e catódico. A bancada experimental utilizada neste procedimento foi basicamente composta por tubulações e conexões de mangueiras, ambas em PVC.

Para o compartimento anódico, utilizou-se tubulação PVC água fria com diâmetro nominal de 60 mm, tendo sido em sua extremidade soldado um conector de CAP rosqueável de mesmo diâmetro. Ao mesmo conector, foi adicionado um conector de mangueira 3/8" posicionado lateralmente conforme representado na Figura 4.9, por meio do qual se permitirá a saída dos gases oxidantes produzidos no compartimento, em direção ao Venturi.

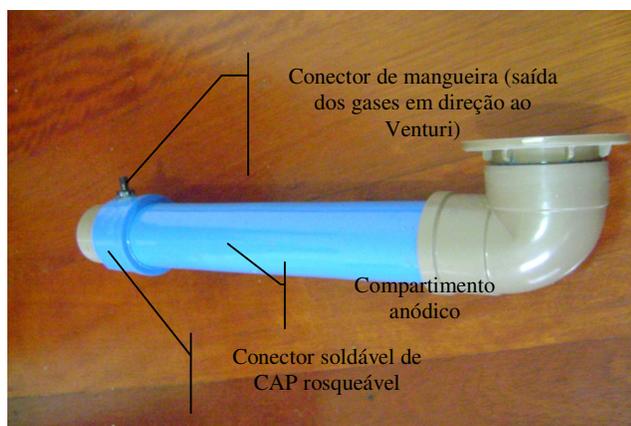


Figura 0.9 - Foto ilustrativa do compartimento anódico e conexões.

Para o compartimento catódico, utilizou-se tubulação da linha “PVC esgoto” devido ao baixo custo comparativamente às tubulações de água fria, conforme pode ser verificado na Figura 4.10. Para este procedimento, foi utilizado um joelho de 90º e diâmetro nominal de 75 mm e vedação com anel, uma luva simples de 75 mm e 50 cm de tubulação de mesmo diâmetro nominal.



Figura 0.10 - Conexão da base do equipamento com o início do compartimento catódico.

Ao final do procedimento de confecção das peças básicas, iniciou-se a montagem geral do equipamento acoplando os compartimentos e instalando os outros componentes. Ainda utilizou-se conexões e mangueiras de ½” para fazer a ligação entre a entrada de água e saída até o Venturi e conectores de bateria (“jacaré”) para ligação da célula eletrolítica com a bateria e mangueiras transparentes de ½” em PVC, como forma de medir o nível de solução no compartimento e permitir entrada de ar.

#### **4.3 - Teste e comparação do teor de cloro total gerado pelos equipamentos.**

Os testes de produção de cloro gerado pelos dois equipamentos (UFV-àgua e Original) foram realizados por meio da análise da concentração de cloro total de amostras de água coletadas no reservatório de água, durante períodos que variaram de 0 a 30 minutos (dobro do tempo sugerido pelo manual do equipamento Original). Para tal verificação, foi utilizada água captada após filtração convencional e sem pré-desinfecção coletada na estação de tratamento de água da UFV (Universidade federal de Viçosa),

que trabalha em sistema de tratamento convencional. Esta água foi colocada em um reservatório de 60L e submetida ao funcionamento dos equipamentos em regime de mistura completa utilizando um misturador de marca Quimis modelo Q-250M2 a uma rotação compreendida entre 750 e 800 rpm, conforme pode ser verificado na Figura 4.11.



Figura 0.11 - Representação do equipamento Original em operação durante ensaios de produção de gases oxidantes.

Para recirculação da água no reservatório, foi utilizada uma pequena bomba submersível de sucção de água, representada na Figura 4.12, de marca SCC mod. DC-4 e que opera a uma voltagem de 12 V. Esta bomba foi interligada ao sistema de alimentação e às mangueiras de condução de água do reservatório e operou submersa mantendo uma vazão de aproximadamente  $0,3 \text{ l.s}^{-1}$ .

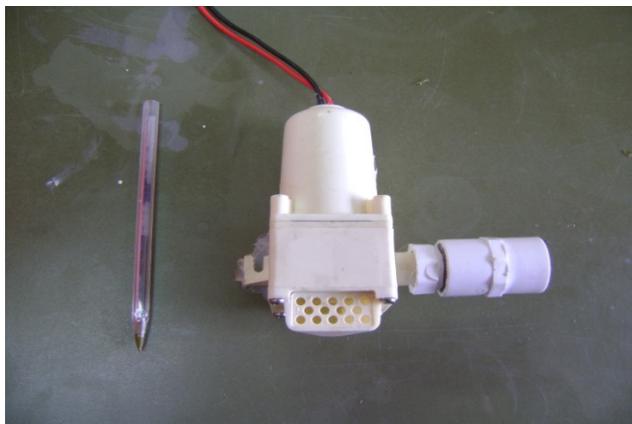


Figura 0.12 - Bomba de sucção da água do reservatório.

Para os testes de produção de gases desinfetantes variou-se a concentração inicial da salmoura (100; 125; 150; 175; 200 g.L<sup>-1</sup> de cloreto de sódio PA) no compartimento anódico e manteve-se a concentração de 7g.l<sup>-1</sup> de NaCl no compartimento catódico (para dar início ao processo eletrolítico nos equipamentos) para todos os testes. Geralmente, trabalhando-se com equipamentos de geração eletrolítica, utiliza-se solução de hidróxido de sódio a 10% no compartimento catódico para o processo eletrolítico, mas tendo em vista uma aplicação em comunidades onde tais recursos não são fácil acesso, opta-se pela utilização do próprio sal de cloreto de sódio (uma colher de chá por litro de água – aprox. 7 g.l<sup>-1</sup>) conforme mencionado no manual do equipamento original.

Em cada um dos testes foram tomadas amostras da água captada no reservatório ao longo do tempo de operação dos equipamentos (uma amostra a cada 3 minutos ao longo de 30 minutos), nas quais se analisou quantitativamente o teor de cloro total. Concomitantemente, foram registradas as potências demandadas pelos equipamentos ao longo do tempo de coleta das amostras, pela leitura de corrente e de voltagem elétrica demandada pelo sistema, por meio de um multímetro digital de marca VELLEMAN mod. DVM890 interligado ao sistema de alimentação, conforme representado nas Figuras 4.13 (a) e 4.13(b).

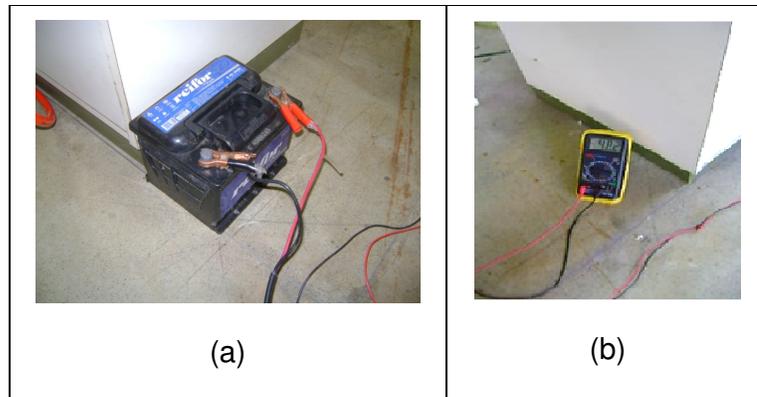


Figura 0.13 - Ilustração da bateria (a) utilizada no sistema de alimentação dos equipamentos e do multímetro (b) utilizado na leitura de corrente e voltagem.

Paralelamente aos experimentos, também foi comparado o uso de um sal comercial com um sal analítico (PA) para concentrações de salmoura no compartimento anódico iguais a 100; 150 e 200 g.L<sup>-1</sup>, a fim de verificar o comportamento na produção de cloro pelas células eletrolíticas, ao longo do funcionamento dos equipamentos, em função da qualidade do sal.

As análises de cloro residual total foram realizadas na estação de tratamento de água da UFV, que utiliza o método DPD colorimétrico de acordo com APHA (2005).

Para verificar a compatibilidade dos equipamentos para os estudos feitos nessa parte do trabalho, foi utilizado o software estatístico SAEG, considerando o ajustamento dos modelos gerados a partir das curvas de produção de cloro total em água, para as diversas concentrações de cloreto de sódio em função da potência dissipada, por meio do método de Identidade de Modelos Estatísticos. Derivou-se um teste estatístico para a hipótese de que sejam idênticos os dois modelos polinomiais de grau 1 para cada análise feita. Assim, a hipótese considerada foi: H<sub>0</sub>: equipamento original = equipamento UFV-Água (os dois modelos são idênticos) versus H<sub>a</sub>: os dois modelos não são idênticos. Esse método foi aplicado ao conjunto de dois modelos polinomiais (valores dos teores de cloro em função das potências dissipadas) do primeiro grau gerando a análise de variância do teste de igualdade entre modelos.

#### **4.4 - Descrição Geral dos Ensaios de desinfecção**

Nesta fase experimental procurou-se avaliar a capacidade desinfetante dos gases produzidos pelos equipamentos, por meio de testes de desinfecção de águas utilizando *E. coli* e coliformes totais como organismos indicadores de contaminação e avaliar a influência da qualidade da água com relação às variáveis cor e turbidez, além da dosagem do agente desinfetante (por meio das análises do teor de cloro residual livre e cloro total) proveniente do equipamento adaptado.

Os textos técnicos recomendam que a desinfecção seja realizada após a remoção de turbidez (menor que 1 uT) e cor (menor que 5 uC). Considerando que esse trabalho trata da avaliação de uma tecnologia emergente, e que essa tecnologia é voltada para comunidades nas quais, por vezes, a desinfecção será o único tratamento, e a água a ser desinfetada não necessariamente atende aos limites recomendados, é importante que essa avaliação seja realizada também sob condições de qualidade da água que não são consideradas ideais para desinfecção.

SILVA e ARAÚJO (2003) avaliando a qualidade bacteriológica e físico-química da água subterrânea utilizada para consumo humano em duas áreas urbanas de Feira de Santana (BA) constataram a partir dos resultados das análises de 120 amostras de água coletadas, a presença de coliformes totais em 90,8% das amostras, coliformes termotolerantes em 65,8%, além dos parâmetros físico-químicos turbidez (23,4%) e cor (7,5%), acima dos valores máximos permissíveis para consumo humano na legislação federal vigente no Brasil (BRASIL, 2004), tornando claro que a maioria das amostras coletadas estava fora dos padrões relacionados às questões microbiológicas da água.

Os experimentos desta fase do estudo foram realizados utilizando-se uma água produzida em laboratório e água natural. Os ensaios de desinfecção com cloro foram realizados em instalação de batelada disposto sobre agitador Jar Test, empregando béqueres de vidro de 2L de capacidade, contendo água produzida em laboratório e inoculada a uma cepa de microrganismo indicador de contaminação fecal. Os ensaios

consistiram na aplicação de determinada quantidade de solução desinfetante à água de estudo, de modo que esta atingisse concentrações próximas às esperadas e estivesse em contato com o agente desinfetante durante um período de tempo estipulado.

#### **4.4.1 - Ensaio de desinfecção utilizando água “sintética”**

Deu-se início a um estudo com amostras de água preparada em laboratório a partir de água destilada, à qual foram adicionados sais em determinadas quantidades para imitar água natural do tipo "muito mole", segundo procedimento descrito em APHA (2005).

A água preparada em laboratório segundo esse método foi denominada neste trabalho “água sintética” e tem a seguinte composição:

A cada litro de água deionizada foram adicionados:

- Bicarbonato de Sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) 12,0 mg;
- Sulfato de Cálcio Dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 7,5 mg;
- Sulfato de Magnésio ( $\text{MgSO}_4$ ) 7,5 mg;
- Cloreto de Potássio (KCl) 0,5 mg;
- Solução de hidróxido de sódio (NaOH) 1,0M 5,0 ml;
- Solução de dihidrogenofosfato de potássio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 30 ml.

Após adicionados os sais mencionados, partiu-se para a introdução das variáveis cor e turbidez à água de estudo. Isso foi feito a partir da adição de uma solução de ácido húmico de marca Aldrich e de uma suspensão de argila montmorilonita respectivamente, até que as variáveis cor e turbidez atingissem pares dentro de três faixas de estudo conforme a Tabela 4.1. Para cada par mencionado, foi utilizado o volume de água de 10 l.

Tabela 0.1 - Faixas de cor e turbidez pretendidas na produção da água sintética.

Amostra	Faixa de cor pretendida (Pt-Co)	Faixa de Turbidez pretendida (uT)
1	sem adição	sem adição
2	10 - 30	10 - 30
3	30 - 50	40 - 60

Após preparada a água de estudo, antes do ensaio de desinfecção, fez-se a adição de microrganismos às amostras de água sintética, por meio da inoculação, a partir de uma cepa de *Escherichia Coli* (ATCC 11229) produzida em laboratório, cedida pelo Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da UFV. Algumas características referentes à cepa de *E.coli* ATCC 11229 estão apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 0.2 - Características do microrganismo utilizado nos ensaios de desinfecção da água.

Espécie	<i>Escherichia coli</i>
Coleção	ATCC 11229
Grupo	Gram-negativa, Entérica
Metabolismo	Anaeróbia facultativa
Morfologia	Bacilos
Tamanho (µm)	0,4 a 1,5 por 1,0 a 6,9
Habitat	Intestino humano e de animais de sangue quente
Patogenicidade	Na maioria dos casos inócua, podendo eventualmente ocorrer diarreia e infecções no trato digestivo e urinário, bem como no sistema nervoso central

Fonte: SHANG *et al.*,1996; HALABY, 1998.

A cepa era inoculada em meio de cultura para permitir seu crescimento, replicação, e posterior uso. Após a replicação da cepa, ela era armazenada no congelador em tubos criogênicos do tipo Eppendorf, em alíquotas de 1 mL de TSB + *E. coli*, conservadas com glicerol a 10%. O

glicerol protege as células e impede que elas sejam danificadas durante o processo de congelamento. As amostras estocadas nos Eppendorf possuíam uma concentração de células na ordem de  $10^6$  organismos a cada mL.

Para cada experimento, retirava-se um eppendorf do congelador e fazia-se uma diluição de acordo com a Equação 4.1 com a água produzida em laboratório, de modo que a mesma tivesse uma concentração inicial de organismos na ordem de  $10^4$  células a cada 100 ml.

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \quad (\text{Equação 4.1})$$

$C_1$  = Concentração inicial de organismos no Eppendorf;

$V_1$  = Volume do tubo Eppendorf;

$C_2$  = Concentração final de organismos após mistura com a água;

$V_2$  = Volume total da amostra após mistura com a água.

Os ensaios foram realizados em três béqueres de vidro para cada par cor-turbidez, dispostos sobre agitador jar test. A água de estudo previamente preparada e inoculada foi distribuída em volumes de 1,0L em cada béquer. Adicionavam-se volumes da solução desinfetante, de forma a obter as dosagens próximas a 0,7; 1,5 e 2,0 mg/L de cloro total aplicado. O tempo fixo de contato de 10 minutos foi cronometrado a partir do momento da aplicação do desinfetante na água.

Para a produção da solução desinfetante, foram utilizados 10L de água destilada submetida ao funcionamento do equipamento adaptado ao longo de 30 minutos, tendo sido verificada, ao final, a concentração inicial de cloro total na água de tratamento pelo método DPD colorimétrico. A Figura 4.14 representa o momento da operação do equipamento para aquisição da solução desinfetante. Verificado o teor de cloro total na solução desinfetante e, por meio do uso da Equação 4.1, estimou-se as quantidades de soluções desinfetante a serem aplicadas às águas a serem desinfetadas, até que estas atingissem os teores de cloro total próximos aos valores pretendidos.

Vale ressaltar que essa água não exerceu demanda de cloro, o que foi verificado pelo método utilizado para a medição de cloro residual, o DPD colorimétrico, ou seja, após o período de 10 minutos, a solução desinfetante apresentou concentrações iguais de cloro total.



Figura 0.14 - Representação do equipamento UFV-Água na produção da solução desinfetante.

Após o início do ensaio e antecedendo o tempo de contato imposto (10 minutos), foram coletadas as amostras para análise de cloro e, imediatamente após o tempo de contato proposto, foi adicionado tiosulfato de sódio (3%) na proporção de 0,1 mL para cada 100mL de amostra de acordo com a APHA (2005) a fim de neutralizar o residual de cloro excedente e manter os microrganismos ainda presentes, na forma ativa.

Para cada béquer, após adição do tiosulfato de sódio, foram retiradas amostras em frascos estéreis (autoclavados) para os exames microbiológicos empregando o método Colilert® – Substrato Cromogênico Definido.

#### **4.4.2 - Ensaio de desinfecção utilizando água natural**

Utilizando o mesmo aparato experimental, conforme a Figura 4.15, quatro testes foram realizados com água natural. Essa fase experimental objetivou não apenas a avaliação da desinfecção de uma água com

constituintes naturais e sem qualquer pré-tratamento, mas, também, a validação dos experimentos realizados com as cepas cultivadas. Foram realizados alguns ensaios com água natural do Rio São Bartolomeu, coletada próximo ao Laboratório de Hidráulica \_ UFV. A água apresentou coliformes totais da ordem de  $10^3$  organismos/100 ml e *E. coli* da ordem de  $10^2$  organismos/100 ml.



Figura 0.15 - Representação do ensaio de desinfecção utilizando água natural.

Como de forma anterior, a avaliação da capacidade desinfetante do hipoclorito gerado eletroliticamente foi feita pela determinação da densidade de *E. coli* e coliformes totais pelo método Colilert. Os ensaios de turbidez e cor também foram feitos de acordo com os procedimentos anteriores.

## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 - Fase 01 – Desenvolvimento do equipamento

Ao final do procedimento de confecção das peças básicas e instalação dos outros componentes em geral do equipamento adaptado, o resultado do equipamento finalizado pode ser representado na Figura 5.1, onde pode ser representado os principais componentes utilizados e algumas de suas principais funções.

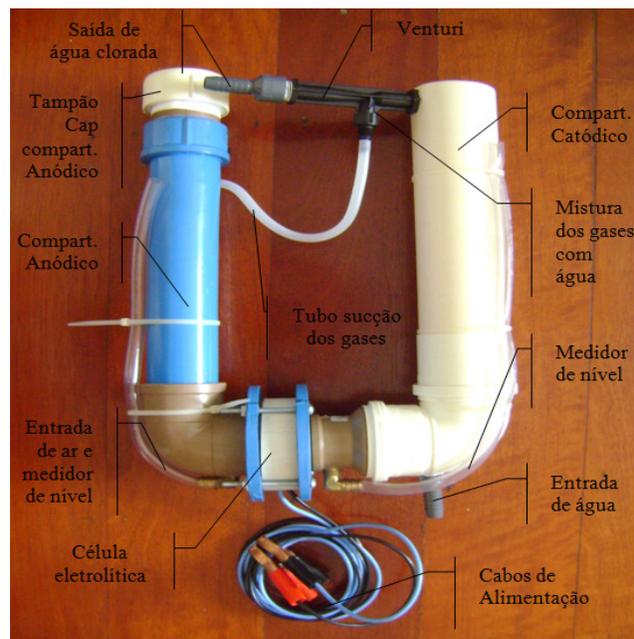


Figura 0.1 - Representação esquemática do equipamento UFV-Água finalizado com respectivos componentes.

- Venturi – Promove a mistura dos gases provenientes do compartimento anódico com a água a ser desinfetada;
- Compartimento catódico – Participa da geração eletrolítica, onde será formada a solução de hidróxido de sódio à medida que o equipamento opera;
- Medidores de nível e entrada de ar – Permite verificar a quantidade de solução disposta nos compartimentos e permite a entrada de ar quando há uma pressão negativa no interior do compartimento

anódico provocada pelo funcionamento do Venturi à medida que o equipamento opera (compartimento anódico);

- Célula eletrolítica – Onde ocorrerão as principais reações de formação dos produtos da eletrólise do sal, sendo formada pelos eletrodos e membrana eletrolítica;
- Compartimento anódico – Onde será disposta a solução estagnada cujo objetivo é a geração dos gases oxidantes para posterior mistura à água de tratamento; e
- Tampão CAP – Possibilita a alimentação do compartimento anódico com a solução de cloreto de sódio e impede a fuga dos gases gerados pela célula eletrolítica para a atmosfera.

Na Figura 5.2 pode ser visualizada a montagem do equipamento produzido onde também, apresenta o misturador utilizado para promover a mistura dos gases liberados pela reação eletrolítica na água de tratamento.



Figura 0.2 - Representação do equipamento UFV-Água, em operação.

## 5.2 - Fase 02 – Teste e comparação do teor de cloro total gerado pelos equipamentos.

Os resultados obtidos nessa fase compreendem as avaliações da célula eletrolítica quanto à produção de gás cloro em função da potência demandada pelo equipamento no intervalo de tempo.

Acompanhou-se o teor de cloro total na água do reservatório ao longo do processo de geração eletrolítica de hipoclorito em testes realizados partindo-se de soluções de cloreto de sódio com distintas concentrações (100; 125; 150; 175; 200 g.L<sup>-1</sup>). Na Tabela 5.1 são apresentados os resultados da comparação entre os dois equipamentos, baseados no teor de cloro na água do reservatório e nas potências demandadas no início e no final do tempo de operação dos geradores eletrolíticos (30 minutos). Os resultados do teor de cloro total e potências dissipadas ao longo do tempo de funcionamento dos equipamentos utilizando todas as concentrações mencionadas, além dos resultados de variação da temperatura das soluções, podem ser vistos no Apêndice A.

Tabela 0.1 - Valores de produção de cloro total e respectivas potências lidas ao final do tempo de operação utilizando as concentrações de solução eletrolítica propostas, nos equipamentos Original e UFV-Água.

Equipamento	Concentração de NaCl (PA) no compartimento Anódico (g.l <sup>-1</sup> )	Potência Inicial (W) (t=0 min.)	Potência Final (W) (t=30 min.)	Teor de Cloro final (mg.l <sup>-1</sup> ) (t=30min.)
Original	100	379,01	744,22	17,60
Adaptado		404,60	724,14	17,88
Original	125	395,20	806,46	17,05
Adaptado		368,40	742,80	18,98
Original	150	419,17	862,19	20,90
Adaptado		378,42	754,46	21,73
Original	175	452,64	843,78	20,25
Adaptado		376,83	754,85	20,80
Original	200	375,72	779,96	21,45
Adaptado		366,60	749,65	24,20

Em todos os ensaios realizados, os valores das potências variaram entre 300 e 900 W durante o intervalo de tempo de funcionamento dos equipamentos. Nas Figuras 5.3 e 5.4 estão apresentados dois exemplos dos resultados do crescimento do teor de cloro ao longo da ação do equipamento original e adaptado, utilizando concentrações de cloreto de sódio no compartimento anódico, iguais a 100 e 200 g.l<sup>-1</sup> respectivamente. Cada ponto nos gráficos representa um intervalo de tempo de três minutos, tendo, ao final de cada intervalo, sido coletadas as amostras para determinação do teor de cloro total na água do reservatório. Tomando como base as mesmas figuras, observa-se que durante o funcionamento, a concentração de cloro total na água de tratamento tende a um crescimento linear, levando também em consideração a potência consumida. Houve aumento na produção de cloro total quando foram aumentadas as concentrações iniciais de cloreto de sódio no compartimento anódico, porém esse aumento não é proporcional à quantidade de sal demandada para o preparo das soluções, tornando não econômico o uso de soluções muito concentradas para uso apenas em uma batelada de tratamento de água. O fato do aumento desproporcional pode ser explicado pela impossibilidade de a fonte de energia dispor de potências crescentes ao longo do tempo de funcionamento.

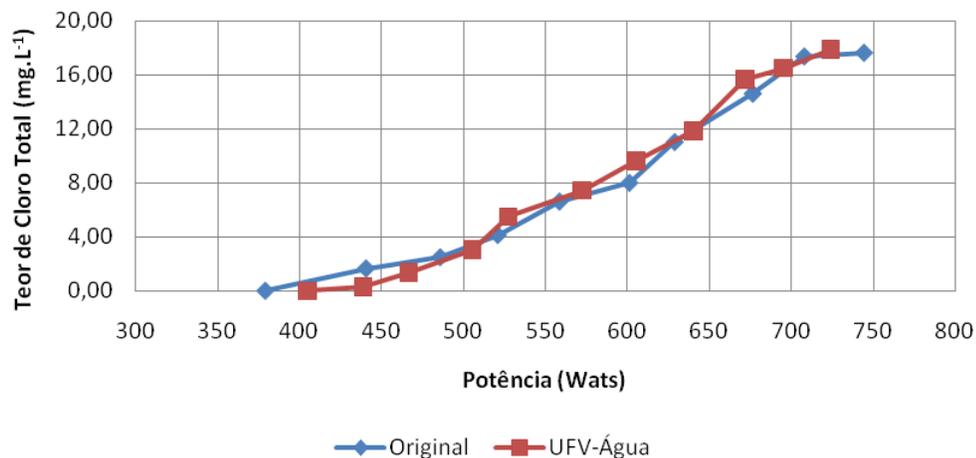


Figura 0.3 - Teores de cloro total na água de tratamento e potências demandadas ao longo do funcionamento dos equipamentos quando se operou com concentração da solução inicial de cloreto de sódio igual a 100 g.l<sup>-1</sup>.

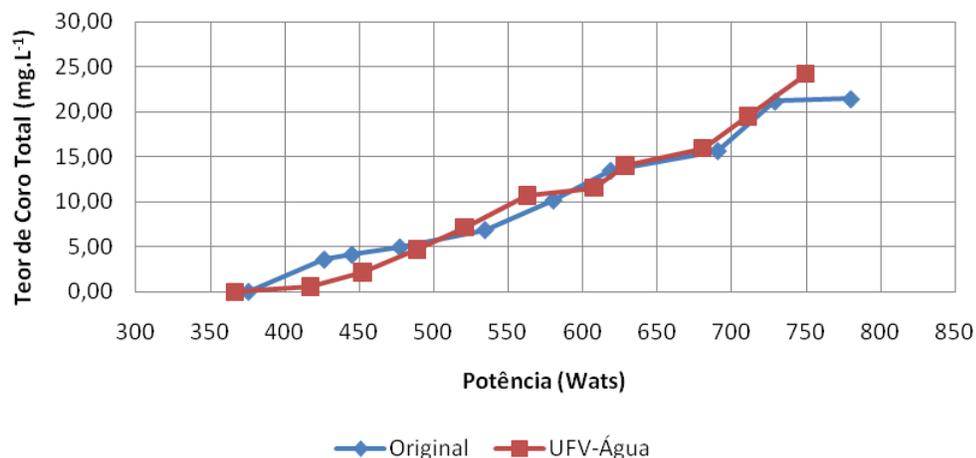


Figura 0.4 - Teores de cloro total na água de tratamento e potências demandadas ao longo do funcionamento dos equipamentos quando se operou com concentração da solução inicial de cloreto de sódio igual a 200 g.l<sup>-1</sup>.

Com base nos resultados anteriores, fica claro que o teor de cloro total na água de tratamento, na metade e ao final da operação dos equipamentos, mostrou-se maior para o equipamento adaptado, quando comparado com o equipamento original, em todos os valores de concentrações do cloreto de sódio analítico utilizado. Analisando estatisticamente a variância dos modelos, a partir do uso do software SAEG versão 5.0, os resultados da correspondência entre as curvas de cloro total em função da potência demandada pelos equipamentos, feito a partir da Identidade de Modelos Estatísticos, revelou que os dois equipamentos são idênticos quando se trabalhou com concentrações de sal analítico iguais a 100 e 125 g.l<sup>-1</sup> e, que para as demais concentrações, não houve correspondências entre as curvas, indicando que o equipamento adaptado mostrou-se superior.

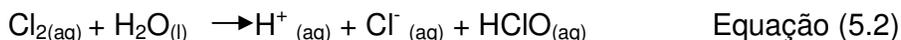
O fato da superioridade do equipamento adaptado em relação ao original pode ser explicado devido ao maior aumento de temperatura da solução no equipamento adaptado, relativamente ao equipamento original, tornando maior a velocidade das reações eletrolíticas. Na oxidação eletrolítica dessas soluções aquosas de cloreto de sódio, o cloro é produzido no anodo e o hidrogênio gasoso é produzido no catodo. Em reações secundárias na fase líquida, o cloro produzido no anodo reage com água produzindo o ácido hipocloroso que se dissocia formando o ânion hipoclorito.

Estas reações podem ser representadas pelas equações químicas seguintes:

*Anodo:*



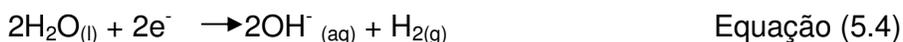
seguida pela reação em fase aquosa



Sendo a velocidade da reação 5.2 mais lenta do que a da reação 5.1, é esperado que a produção de gás cloro seja maior que o consumo durante o início da operação dos equipamentos até que o equilíbrio se estabeleça. O ácido hipocloroso se dissocia, e os cátions também formados desta reação, atravessam a membrana catiônica formando os gases produzidos e liberados no compartimento catódico conforme as Equações 5.3 e 5.4 e, concomitantemente, aumento gradativo do pH na solução do compartimento catódico.



*Catodo:*



Com o aumento do pH no compartimento catódico e a formação destes produtos das reações, há um aumento gradativo na densidade de corrente e conseqüentemente, explica o aumento da temperatura das soluções, havendo também, maior desprendimento de gás cloro da solução. Apesar dos efeitos benéficos da temperatura, é necessário evitar temperaturas muito elevadas devido ao desgaste dos componentes. Para evitar temperaturas acima do recomendado, o equipamento original utiliza um trocador de calor em aço inoxidável posicionado antes da entrada de água e dentro do compartimento catódico, conforme representado na Figura 5.5, do qual deriva a água de tratamento, com o uso da bomba de sucção, em direção ao reservatório. O equipamento adaptado possui este mesmo mecanismo, porém construído em mangueiras de PVC e respectivas conexões conforme pode ser notado na Figura 5.6. O sistema de

resfriamento da solução neste equipamento perde em eficiência na troca de calor em relação ao equipamento original, mas ganha no menor custo.



Figura 0.5 - Representação do trocador de calor situado no compartimento catódico do equipamento Original.



Figura 0.6 - Representação da entrada de água e sistema de resfriamento situados no compartimento catódico do equipamento UFV-Água, atuando como amenizador da temperatura.

Segundo o manual do equipamento original, a temperatura do eletrólito não deve ultrapassar  $49^{\circ}\text{C}$  como medida de prevenir danos aos componentes dos equipamentos, sugerindo manter o equipamento em operação por no máximo 15 minutos por batelada. Contudo, seguindo os experimentos, constatou-se que as diferenças entre as temperaturas iniciais e finais nas soluções dos compartimentos dos equipamentos não ultrapassaram valores próximos a  $5^{\circ}\text{C}$ , mantendo-se a temperatura muito

abaixo da estipulada, possibilitando que os equipamentos operassem em um maior período de tempo por batelada.

Analisando a solução produzida no compartimento catódico (solução de hidróxido de sódio), verificou-se pH da solução acima de 12 ao final do tempo de operação por batelada dos equipamentos para todos os casos analisados, indicando que a solução possui elevado teor de hidróxido de sódio, podendo ser utilizada na limpeza doméstica e produção de derivados saponáceos.

As soluções produzidas no compartimento anódico ao final do processo apresentaram valores de pH abaixo de 2 e valores de cloreto na ordem de 80% da concentração inicial, o que a torna essas soluções ainda aptas à utilização para produção de cloro em outra batelada. Cabe mencionar que, para melhor controle da temperatura, ao reutilizarmos esta solução para outra batelada de operação dos equipamentos, é necessário fazer uma diluição da solução do compartimento catódico para que a densidade de corrente não aumente muito e, concomitantemente, a temperatura ao longo da operação. Outro fato importante é que a solução produzida no compartimento anódico pode ser utilizada na limpeza e desinfecção doméstica, por se tratar de uma solução de hipoclorito de sódio e derivados de cloro.

Nas Figuras 5.7, 5.8 e 5.9 estão apresentados os resultados dos teores de cloro na água de tratamento e respectivas potências demandadas durante o intervalo de tempo de funcionamento dos equipamentos, quando comparado o uso de sal comercial com cloreto de sódio analítico (PA) utilizando os dois equipamentos, em que se trabalhou com concentrações iniciais de salmoura iguais a 100, 150 e 200 g.l<sup>-1</sup>.

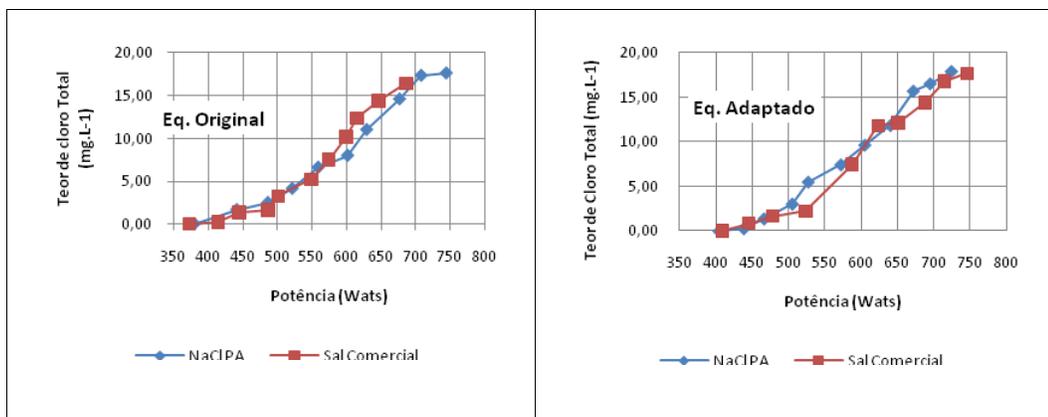


Figura 0.7 - Teores de cloro e potências quando foram utilizadas soluções com concentrações iguais a 100 g.l<sup>-1</sup> de sal comercial e cloreto de sódio PA no compartimento anódico em ambos os equipamentos.

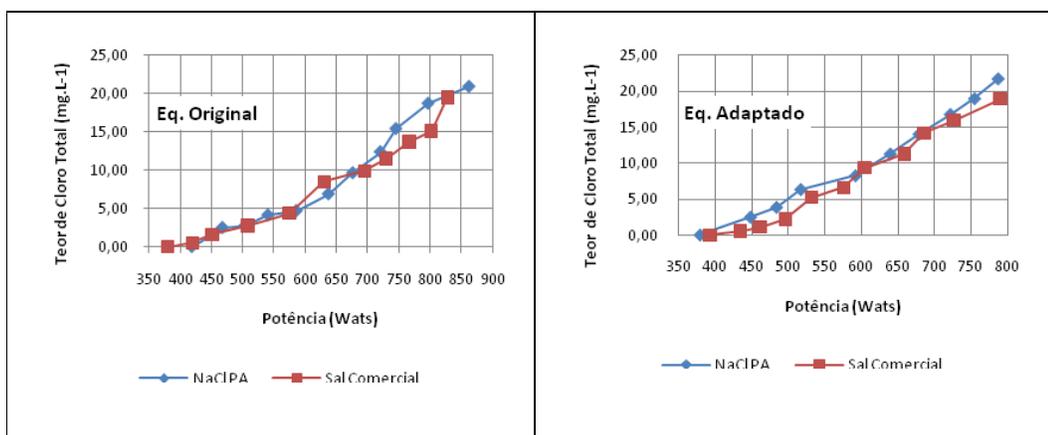


Figura 0.8 - Teores de cloro e potências quando foram utilizadas soluções com concentrações iguais a 150 g.l<sup>-1</sup> de sal comercial e cloreto de sodio PA no compartimento anódico em ambos os equipamentos.

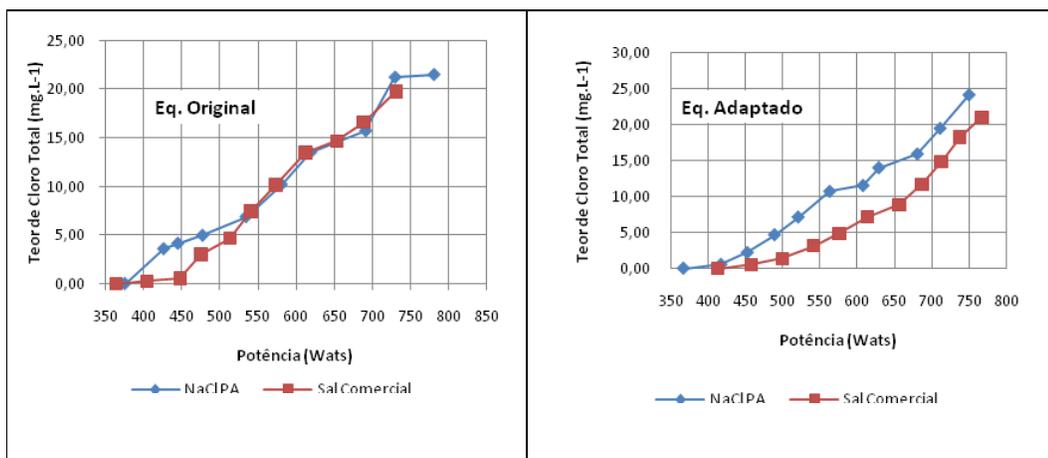


Figura 0.9 - Teores de cloro e potências quando foram utilizadas soluções com concentrações iguais a 200 g.l<sup>-1</sup> de sal comercial e cloreto de sodio PA no compartimento anódico em ambos os equipamentos.

Conforme pode ser observado, os gráficos mostram comportamento semelhante na produção de cloro total na água, embora a utilização do sal puro tenha levado a um acréscimo no valor do teor de cloro total na água do reservatório ao final da operação dos equipamentos original e adaptado.

Ao verificar a compatibilidade das curvas por meio do software estatístico SAEG versão 5.0, constatou-se que para o equipamento original, a qualidade do sal não interferiu na capacidade de produção final de desinfetantes na célula eletrolítica ao longo do tempo de funcionamento, quando se trabalhou com uma concentração dos sais (comercial e analítico) igual a  $150 \text{ g.l}^{-1}$ . A mesma verificação foi feita para o equipamento adaptado, a qual retornou que a qualidade do sal interferiu na produção de cloro total em água quando se trabalhou com concentrações dos sais acima de  $100 \text{ g.l}^{-1}$ . Num contexto geral, a capacidade de produção de gases oxidantes nos equipamentos variou com a qualidade do sal utilizado para a maioria dos testes verificados, porém, como a facilidade de acesso ao sal comercial é maior que o sal analítico (PA) e, a diferença no teor de cloro total no reservatório não ultrapassou  $2 \text{ mg.l}^{-1}$ , quando utilizado os dois sais no estudo no mesmo equipamento, além do propósito do desenvolvimento dos equipamentos, então sugere-se a utilização do sal comercial na produção do desinfetante.

### **5.3 - Fase 03 - Ensaio de desinfecção em água produzida em laboratório**

Nesta segunda fase a metodologia proposta neste trabalho buscou avaliar a influência da presença de cor e turbidez na água, na capacidade de inativação da *E. coli* pela solução gerada pelo equipamento. Além disso, verificou-se também, a aplicação de diferentes dosagens da solução desinfetante controlando o teor de cloro total na água de tratamento e verificando o teor de cloro residual livre.

Na Tabela 5.2 são apresentados os resultados dos ensaios de desinfecção realizados para os diferentes tipos de qualidade de água.

Tabela 0.2 - Resultado de teste de desinfecção com cloro após o tempo de contato igual a 10 min para os diferentes tipos de qualidade da água analisadas.

AM	Turbidez (UNT)	Cor (Pt-Co)	pH	Temp. água (°C)	Cloro total (mg.l <sup>-1</sup> )	Cloro Livre (mg.L <sup>-1</sup> )	<i>E. coli</i> inicial (NMP/100 ml)	<i>E. coli</i> Remanescente (NMP/100ml)
01	sa*	sa*	6,7	23	0,63	0,51	1,7 x 10 <sup>4</sup>	ND*
					1,29	0,97		ND*
					2,25	1,92		ND*
02	27	13	6,3	22	0,68	0,47	3,9 x 10 <sup>4</sup>	ND*
					1,37	0,82		ND*
					2,09	1,58		ND*
03	49	40	6,1	23	0,77	0,45	2,4 x 10 <sup>4</sup>	ND*
					1,43	0,72		ND*
					2,32	1,17		ND*

ND\* - Não detectado pelo método adotado (NMP/100ml <1)

sa\* - Sem adição de montmorilonita (turbidez) ou ácido húmico (cor)

Nesses experimentos observou-se que ocorre consumo de cloro total na água, fato explicado pela presença da turbidez e cor, além do meio de cultura presente na água de tratamento. Com o tempo de contato imposto, o processo de inativação de *E. coli* pela mistura de gases adicionados à água de tratamento apresentou remoção total de bactérias *E. coli* para todos os tipos de qualidade de água ensaiadas. A adição de cor e/ou turbidez, mesmo em concentrações elevadas, não pareceu influenciar no processo de desinfecção.

Também pode ser verificado que apesar de um baixo teor de cloro livre na água após o tempo de contato observado, a eficiência na desinfecção das bactérias correspondeu às expectativas do projeto. Isto pode ser devido à presença das espécies de oxigênio (principalmente o ozônio) que compõem a mistura dos gases oxidantes que contribuiram para o fortalecimento do poder desinfetante. OLIVIERI e RAMIREZ citado por REIFF e WITT (1995), de forma semelhante ao trabalho exposto, compararam as capacidades de inativação de bactérias e de vírus pelo processo MOGGOD e pelo cloro analítico, utilizando soluções preparadas a partir, respectivamente, da mistura de gás oxidante diluído com ar, e do cloro gasoso. Os autores concluíram que a eficiência da mistura de oxidantes gerados *in loco* para desinfecção da água é igual ou superior à do cloro gasoso. A mistura de gás oxidante também é eficaz sob condições diversas

de pH e temperatura e para um amplo espectro de microrganismos, alguns dos quais apresentam grande resistência a inativação pela ação do cloro gasoso.

BARROT et al. (1994) compararam a eficiência de inativação de soluções oxidantes, utilizando um equipamento que faz a mistura de soluções produzidas no compartimento anódico à água de tratamento, com a eficiência das soluções geradas à partir de mistura de gases oxidantes (MOGGOD), tendo concluído que as duas soluções apresentam praticamente a mesma capacidade desinfetante para os mesmos teores de residual de cloro.

BRANDÃO et al. (2000) também trabalhando com soluções de mistura de gases observaram comportamento semelhante ao que foi observado na presente pesquisa, verificando inativação de 100% de *E.coli* imediatamente após a aplicação da mistura da solução oxidante com a água sintética com diferentes tipos de qualidade (turbidez-cor). Observaram também que a presença de cor e de turbidez não parece ter influenciado a capacidade de desinfecção e no tempo de contato para completa inativação. Os mesmos autores analisando os resultados encontrados, no que se refere à  $Ct_{99}$  (concentração de desinfetante x tempo de contato para atingir eficiência de desinfecção de 99%), verificaram que os valores obtidos são sempre muito inferiores a 2.

REIFF e WITT (1995) trabalhando com equipamentos que utilizam a solução produzida no compartimento anódico como desinfetante e a partir de dados de várias origens referentes ao uso de equipamentos MOGGOD calcularam os valores de  $Ct_{99}$  para vários microrganismos, tendo sido encontrado o valor  $Ct_{99} < 2$  para inativação de *E. coli*. Isso sugere que os equipamentos que produzem solução oxidante apresentam capacidade de desinfecção similar à dos equipamentos de produção de mistura de gases oxidantes.

Os resultados obtidos no presente trabalho parecem confirmar as observações desses autores quanto à capacidade de desinfecção pela utilização deste tipo de tecnologia.

#### 5.4 - Fase 04 – Ensaio de desinfecção em água natural

Nessa fase, buscou-se avaliar a eficiência de desinfecção usando a solução oxidante no tratamento de uma água natural. A água utilizada foi proveniente do Rio São Bartolomeu, que apresentou coliformes totais e *E. Coli* na ordem de  $10^3$  e  $10^2$  organismos por 100 mL respectivamente, par turbidez-cor igual a 10,4 uT - 40 uC, pH igual a 7,11 e temperatura igual a 20°C. Cabe mencionar que esse Rio recebe parte da carga orgânica advinda de pecuária local.

A partir dos resultados desta etapa demonstrados na Tabela 5.3, pode-se verificar que o decaimento total dos microrganismos ocorre após um teor de cloro livre acima de 0,59 mg.L<sup>-1</sup> indicando conseqüentemente, contaminação por organismos patogênicos nas amostras 0(zero) e 1.

Tabela 0.3 - Resultados do ensaio de desinfecção utilizando água natural proveniente do Rio São Bartolomeu.

Amostra	Cl livre (mg.l <sup>-1</sup> )	Cl total (mg.l <sup>-1</sup> )	<i>E.coli</i>	Coliformes totais
			NMP/100 ml	
0	sa*	sa*	4,92. 10 <sup>2</sup>	3,57. 10 <sup>3</sup>
1	0,14	0,38	4,66. 10 <sup>2</sup>	1,19. 10 <sup>3</sup>
2	0,59	0,81	ND*	ND*
3	0,92	1,27	ND*	ND*

ND\* - Não detectado pelo método empregado ou menor que 1 organismo/100ml;  
sa\* - sem adição de solução desinfetante.

Os textos técnicos recomendam que a cloração simples – processo elementar de uso mais generalizado de desinfecção pelo cloro – não há preocupação de satisfazer a demanda de cloro na água, bastando apenas a aplicação de uma dosagem tal que, ao fim de um determinado tempo de contato, 20 minutos por exemplo, o cloro residual livre se mantenha próximo a um valor de 0,2 mg.l<sup>-1</sup>, considerando, na prática, para águas não muito poluídas. Em casos de águas muito poluídas, uma vez que o cloro residual seria rapidamente consumido, é aconselhável o método de cloração ao “break-point”, ou seja, aumentando-se a dosagem de cloro, há oxidação dos compostos amoniacais até que, para certa dosagem de cloro aplicada, resulte somente cloro residual livre. Dessa situação em diante, a cada aumento da dosagem de cloro aplicada corresponde um mesmo aumento de

cloro residual livre. O ponto corresponde ao teor de residual mínimo de cloro conhecido como “break-point”.

As dosagens de cloro, nesse caso: são naturalmente muito variáveis com as características da água, principalmente no que se refere ao seu conteúdo em amônia e outros compostos nitrogenados responsáveis pelo “break-point”. Partindo desse pressuposto, ao utilizar amostras de água de um Rio onde não houve nenhum pré-tratamento, o resultado da aplicação de cloro livre na amostra 1 abaixo de  $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$  e concomitantemente um tempo de contato imposto de apenas 10 minutos, praticamente não houve decaimento no número de organismos indicadores analisados. Tal fato pode ser explicado pelo consumo de parte do cloro total advindo das variáveis cor e turbidez presentes na amostra.

Os resultados obtidos sugerem também, que as cepas cultivadas em laboratório podem oferecer bons subsídios para estudos de desinfecção, fato esse que merece uma investigação mais precisa sobre as concentrações de cloro a serem aplicadas. Assim, a partir dos resultados obtidos pode-se inferir que a solução oxidante produzida é um bom agente oxidante também para águas naturais.

## 6 - CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e considerando-se as condições de condução do presente trabalho, pode-se concluir que:

- A avaliação da célula eletrolítica demonstrou que a adaptação foi válida e que o equipamento desenvolvido é capaz de produzir soluções desinfetantes com a mesma eficiência de produção com relação ao equipamento Original;
- O uso de salmoura com concentração inicial muito elevada é mais indicada economicamente na produção de cloro total na água de tratamento quando se utiliza a mesma solução em mais bateladas;
- A solução oxidante gerada eletroliticamente mostrou-se um efetivo desinfetante para águas de abastecimento na eliminação de *E. coli* e coliformes totais;
- De um modo geral a presença de turbidez e de cor não interferiram no processo de desinfecção com a solução oxidante, quando considerada a inativação da *E. coli*;
- O equipamento testado é de fácil operação não exigindo mão de obra especializada para a sua manipulação, além de ser prático e viável para as pequenas comunidades;

### **Recomendações:**

- As soluções de descarte, após utilização dos equipamentos, podem ser utilizadas na limpeza doméstica, por se tratar de solução de hidróxido de sódio (compartimento catódico) e solução de hipoclorito de sódio (compartimento anódico), devendo somente, ter o cuidado com manuseio das soluções;
- Como os equipamentos são na sua maioria utilizados em comunidades onde o acesso é dificultado, cabe salientar o uso de fontes de energia alternativas para prover alimentação dos equipamentos. Tal fato inspira o uso de placas fotovoltaicas para alimentação das baterias.

## 7 - REFERENCIAS

APHA, AWWA, WEF - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21th ed. Washington DC, USA: APHA / AWWA / WEF, 2005.

BARREL, R.A., HUNTER, P.R., NICHOLS, G. Microbiological Standards for water and their relationship to health risk. **Communicable Disease and Public Health**, v.3, n.1, p.813,2000.

BARROTT, L.P., GRAHAM, N.J.D. E LLOYD, B.J. "Comparative evaluation of two novel disinfection methods for small-community water treatment in developing countries". **J Water SRT – Aqua**, v.39, n.5, p. 396-404. 1990.

BASHTAN, S. YU., GONCHARUK, V. V., CHEBOTAREVA, R. D., BELYAKOV, V. N., LINKOV, V. M. Production of sodium hypochlorite in an electrolyser equipped with ceramic membrane, *Desalination*, n.126, p.77-82. 1999.

BRASIL. Portaria MS nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 mar. 2004. Seção 1.

BERG, G.; METCALF, T.G. Indicators of viruses in waters. In: Berg, G. (ed) **Indicators of viruses in water and food**, p.267-296, Ann arbor Science Publishers, MI. 1978.

BRANDÃO, C.C.S., PAIXÃO, K.V. **Aplicabilidade da Solução Oxidante Gerada a Partir da Eletrólise do Cloreto de Sódio na Inativação de Microorganismos Utilizando como Indicadores de Contaminação a Escherichia Coli e Colifagos**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília. 2000.

BRYANT, E.A., FULTON, G.P. e BUDD, G.C. **Disinfection Alternatives for Safe Drinking Water**: Van Nostrand Reinhold Ed., Nova York, EUA. 1992. 518p.

CAIRNS, W.L. UV technology for water supply treatment. **Water Supply**, v.13, n.3/4, p.211-214. 1995.

CAMEL, V. e BERMOND, A. The Use of Ozone and Associated Oxidation Process in Drinking Water Treatment. **Water Research**. v.32, n.11, p.3208-3222, 1998.

CERQUEIRA, D. A; HORTA, M. C. S. Coliformes fecais não existem. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999, Rio de Janeiro. **Anais 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 5p.

DANIEL, L.A. **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**, PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 2001. 139 p.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Vol. 2**, Rio de Janeiro: ABES, 1993. 503p.

DINIZ, L.C., RODRIGUES, E.M. “MOGGOD: nova tecnologia para desinfecção da água”. **Sanare**, v.1, n.1, p.16-18. 1994

DECONTO, L., SANTOS, J.C.R. “Experiência da Sanepar com equipamentos produtores/dosadores de desinfetantes na água de abastecimento nos locais de utilização”. I Simpósio Internacional sobre Tecnologias para a Produção de Desinfetantes a Nível Local, 1995, Santiago, Cuba. **Anais do I Simpósio Internacional sobre Tecnologias para a Produção de Desinfetantes a Nível Local**, Santiago, Cuba. 1995

FAIR, G.M., GEYER, J.C. E OKUM, D.A. **Water and Wastewater Engineering**, Vol. 2: Water Purification and Wastewater Management. Nova York, EUA. John Wiley & Sons. 1968.

GUSTIN, JEAN-LOUIS Safety of chlorine production and chlorination process. **Chemical Health & Safety** n.1, v.16. 2005

HALABY, T.N. Bacterial responses to physical disinfectants. Mater's Thesis, Purdue University, West Lafayette, IN. 1998

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro:IBGE. 2004

KRAFT, A., STADELMANN, M., BLASCHKE, M., KREYSIG, D., SANDT, B., SCHRODER, F., RENNAU, J. Electrochemical water disinfection, Part I: Hypochlorite production from very dilute chloride solutions, **Journal of Applied Electrochemistry**, v.29, p.861-868. 1999.

OLIVEIRA, W.E. Importância do abastecimento de água na transmissão de doenças. In Azevedo Neto et al. **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**. v.1. São Paulo, Brasil: CETESB,1976. 550p.

OPS - ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. La salud y el ambiente en el desarrollo sostenible. **Publicación Científica**. 572. Washington, D.C: OPS. 2000.

PELCZAR, M.; REID, R.; CHAN, E.C.S. **Microbiologia: Conceitos e Aplicações**. 2,ed. v.2. São Paulo: Makron Books.1997

REIFF, F.M. Drinking – water improvement in the Americas with mixed oxidant gases generated on site for disinfection (MOGGOD). **Bulletin of the Pan American Health Organization**. n.22, v.4, p. 394-415.1988

REIFF, F.M. Introduction to mixed oxidants generate on-site for disinfection. In: Seminário Internacional em Desinfecção de Águas de Abastecimento e Residuárias em países em Desenvolvimento. **Anais Seminário Internacional em Desinfecção de Águas de Abastecimento e Residuárias em países em Desenvolvimento**. p. 55-73. Belo Horizonte, Brasil: ABES, UFMG. 1993

REIFF, F.M. Guias para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección de la para consumo humano em pueblos pequeños y comunidades rurales em America Latina y el Caribe. **Division de Salud y Ambiente, Série Técnica nº30**, Washington, EUA: OPAS/OMS.1995

REIFF, F.M. El estado de La desinfección Del agua potable em América Latina y El Caribe. In: Editado por Craun, G. F. e Castro, R. **La calidad del agua potable em America Latina: ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de la desinfección química**. p.101-114. Washington, EUA: ILSI Press.1996.

REIFF, F.M. E WITT, V.M. Guias para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección de la para consumo humano em pueblos pequeños y comunidades rurales em América Latina y el Caribe. **Division de Saud y ambiente, Série Técnica Nº.30**, Washington, EUA: OPAS/OMS, 1995. 227p.

RICHTER, C. M., AZEVEDO NETTO, J.M. Desinfecção. In: **Tratamento de água – Tecnologia atualizada**. São Paulo, Brasil: Editora Edgard Blucher Ltda. 332p.1991.

RICHTER, C. M., AZEVEDO NETTO, J.M **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. 5ª ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA. 2003.

RODRIGUES E.M., SANTOS, J.C.R. **Manual de Treinamento do Gerador Dosador de Gases Oxidantes**. Curitiba: Sanepar (manual técnico-operacional). 1994

ROSSIN, A. C. Desinfecção. In: **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água (Tratamento de Água)**, v.2, São Paulo: CETESB/ASCETESB. 1987.

SANTOS, J.C.R. Apropriação de Custos da utilização do Hipoclorito de Sódio. Curitiba: Sanepar.1993

SHANG, C., BLATCHLEY, E.R. Evaluation of DBNPA/ chlorine for municipal wastewater disinfection. Final Project Report submitted to Dow Chemical

(Midland, MI) by School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN.1996

SCHOENEN, D. Role of disinfection in suppressing the spread of pathogens with drinking water: possibilities and limitations. **Water Research.**, v.36, p.3874-3888, Pergamon Press. 2002

SILVA, R.C.A., ARAÚJO, T.M. Qualidade da água de manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência e Saúde Coletiva.** Rio de Janeiro: ISSN 1413-8123.v.8,n.4,p.1019-1028. 2003.

STETLER, R.E. Coliphages as indicators of enteroviruses. **Appl. Environ. Microbiology**, v. 48, n. 3, p. 668-670.1984.

TRUSSELL, R.R. Safeguarding distribution system integrity. **Journal AWWA**, v.91, n.1, p.46-54.1999.

USEPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidance Manual – Alternative Disinfectants and Oxidants.** Washington, D.C. Report n.815-R-99-014. 1999.

WEBER, W.J., POSSELT, H.S. Desinfection. In: Weber, W.J., John Wiley & Sons (ed) **Physicochemical Processes for water quality control.** Inc., EUA. 640p. 1972

WEGELIN, M., CANONICA, S., MECHSNER, K., FLEISHMANN, T., PESARO, F. E METZLER, A. Solar water disinfection: scope on the processes and analysis of radiation experiments. **J Water SRT-Aqua**, n.43, v.3, p.154-169. 1994

WITT, V.M. E REIFF, F.M. Tecnologias de desinfección Del agua para comunidades pequeñas y zonas rurales. **In:** Craun, G. F. e Castro, R. (Ed.)**La calidad del agua dotable em America Latina: ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de la desinfección química.** Washington, EUA: ILSI Press. P.153-186. 1996

ZARPELON, A.; RODRIGUES, E.M. Os trihalometanos na água de consumo humano. **Sanare. Revista Técnica da Sanepar**, v.17, n.17, p. 20-30.2002

## APÊNDICE

Tabela A.1 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração de solução de cloreto de sódio P.A. inicial igual a 100 g.L<sup>-1</sup> no compartimento anódico.

Tempo de Operação (min.)	Original		UFV-Água	
	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )
0	379,01	0,00	404,60	0,00
3	-	0,83	438,62	0,28
6	440,51	1,65	466,56	1,38
9	485,69	2,48	505,44	3,03
12	520,82	4,13	527,31	5,50
15	558,48	6,6	572,27	7,43
18	601,14	7,98	605,07	9,63
21	628,76	11,00	640,31	11,83
24	676,44	14,58	671,90	15,68
27	707,82	17,33	694,98	16,50
30	744,22	17,6	724,14	17,88

pH solução NaCl P.A.: 5,85;

pH solução anódica após funcionamento dos equipamentos: 1,64/1,56 (Original/Adaptado);

pH solução catódica após funcionamento dos equipamentos: 12,59/12,65 (Original/Adaptado);

Voltagem Média Dissipada: 12,55/12,15 V (Original/Adaptado);

Temperatura inicial/final água no compartimento anódico: 24/27 °C (Original) e 24/32 °C (Adaptado);

Temperatura inicial da água de tratamento: 24°C.

Tabela A.2 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração de solução de cloreto de sódio P.A. inicial igual a 125 g.l<sup>-1</sup> no compartimento anódico.

Tempo de Operação (min.)	Original		UFV-Água	
	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )
0	395,20	0,00	368,40	0,00
3	433,49	1,10	404,40	0,55
6	-	0,83	-	1,10
9	529,82	1,65	483,60	2,48
12	571,81	4,40	524,40	4,68
15	606,39	5,78	554,40	6,88
18	645,91	7,70	591,60	10,18
21	685,43	11,00	632,40	11,55
24	720,01	12,93	-	14,03
27	770,64	15,68	702,00	16,23
30	806,46	17,05	742,8	18,98

pH solução NaCl P.A.: 6,13;

pH solução anódica após funcionamento dos equipamentos: 1,77/1,68 (Original/Adaptado);

pH solução catódica após funcionamento dos equipamentos: 12,52/12,45 (Original/Adaptado);

Voltagem Média Dissipada: 12,35/12,00 V (Original/Adaptado);

Temperatura inicial/final água no compartimento anódico: 25/29 °C (Original) e 24,5/33 (Adaptado);

Temperatura inicial da água de tratamento: 24,5°C.

Tabela A.3 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração de solução de cloreto de sódio P.A. inicial igual a 150 g.l<sup>-1</sup> no compartimento anódico.

Tempo de Operação (min.)	Original		UFV-Água	
	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )
0	419,17	0,00	378,42	0,00
3	468,12	2,48	-	-
6	504,51	2,75	447,44	2,48
9	540,91	4,13	483,14	3,85
12	586,09	4,68	516,46	6,33
15	637,54	6,88	591,43	8,25
18	676,45	9,63	639,03	11,28
21	720,37	12,38	678,3	14,03
24	745,47	15,4	721,14	16,78
27	796,93	18,7	754,46	18,98
30	862,19	20,9	786,79	21,73

pH solução NaCl P.A.: 6,10;

pH solução anódica após funcionamento dos equipamentos: 1,68/1,71 (Original/ Adaptado);

pH solução catódica após funcionamento dos equipamentos: 12,64/12,56 (Original/ Adaptado);

Voltagem Média Dissipada: 12,55/11,9 V (Original/ Adaptado);

Temperatura inicial/final água no compartimento anódico: 26/29 °C (Original) e 24/33 (Adaptado);

Temperatura inicial da água de tratamento: 24°C.

Tabela A.4 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração de solução de cloreto de sódio P.A. inicial igual a 175 g.l<sup>-1</sup> no compartimento anódico.

Tempo de Operação (min.)	Original		UFV-Água	
	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )
0	452,64	0,00	376,83	0,00
3	462,48	2,2	399,35	1,38
6	506,76	2,2	428,97	1,65
9	544,89	4,13	471,63	3,85
12	587,94	5,78	520,22	5,78
15	610,08	7,98	554,58	8,25
18	659,28	10,45	603,17	12,1
21	712,17	12,65	641,09	13,48
24	755,22	14,85	677,82	16,5
27	795,81	18,15	715,74	18,98
30	843,78	20,25	754,85	20,8

pH solução NaCl P.A.: 6,37;

pH solução anódica após funcionamento dos equipamentos: 1,76/1,80 (Original/ Adaptado);

pH solução catódica após funcionamento dos equipamentos: 12,6/12,7 (Original/ Adaptado);

Voltagem Média Dissipada: 12,3/11,85 V (Original/ Adaptado);

Temperatura inicial/final água no compartimento anódico: 25/29 °C (Original) e 24/33 (Adaptado);

Temperatura inicial da água de tratamento: 24°C.

Tabela A.5 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração de solução de cloreto de sódio P.A. inicial igual a 200 g.l<sup>-1</sup> no compartimento anódico.

Tempo de Operação (min.)	Original		UFV-Água	
	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )
0	375,72	0,00	366,60	0,00
3	426,56	3,58	417,13	0,55
6	445,16	4,13	452,38	2,20
9	477,4	4,95	488,8	4,68
12	534,44	6,88	520,53	7,15
15	580,32	10,18	562,83	10,73
18	618,76	13,48	607,48	11,55
21	-	14,58	628,63	14,03
24	690,68	15,68	680,33	15,95
27	729,12	21,18	710,88	19,53
30	779,96	21,45	749,65	24,20

pH solução NaCl P.A.: 6,58;

pH solução anódica após funcionamento dos equipamentos: 1,75/1,68 (Original/ Adaptado);

pH solução catódica após funcionamento dos equipamentos: 12,49/12,7 (Original/ Adaptado);

Voltagem Média Dissipada: 12,4/11,75 V (Original/ Adaptado);

Temperatura inicial/final água no compartimento anódico: 20/25 °C (Original) e 24/33 (Adaptado);

Temperatura inicial da água de tratamento: 23,5°C.

Tabela A.6 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração inicial de solução de sal comercial igual a 100 g.l<sup>-1</sup> no compartimento anódico.

Tempo de Operação (min.)	Original		UFV-Água	
	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )
0	372,36	0	408,79	0,00
3	414,12	0,28	445,84	0,83
6	444,28	1,38	477,95	1,65
9	486,04	1,65	523,64	2,20
12	501,12	3,30		4,13
15	548,68	5,23	587,86	7,43
18	574,20	7,53	623,68	11,83
21	599,72	10,18	650,85	12,10
24	614,80	12,38	687,90	14,40
27	646,12	14,40	715,07	16,80
30	686,72	16,43	745,94	17,67

pH solução NaCl P.A.: 5,8;

pH solução anódica após funcionamento dos equipamentos: 1,72/1,66 (Original/ Adaptado);

pH solução catódica após funcionamento dos equipamentos: 12,79/12,85 (Original/ Adaptado);

Voltagem Média Dissipada: 11,60/12,35 (Original/ Adaptado);

Temperatura inicial/final água no compartimento anódico: 25/27,5 °C (Original) e 24,5/33 °C (Adaptado);

Temperatura inicial da água de tratamento: 24°C.

Tabela A.7 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração inicial de solução de sal comercial igual a 150 g.l<sup>-1</sup> no compartimento anódico.

Tempo de Operação (min.)	Original		UFV-Água	
	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )
0	380,07	0	392,37	0,00
3	419,43	0,55	434,19	0,55
6	451,41	1,65	461,25	1,10
9	507,99	2,75	495,69	2,20
12	575,05	4,40	531,36	5,23
15	630,72	8,53	575,64	6,60
18	695,32	9,90	603,93	9,35
21	729,76	11,55	658,53	11,28
24	766,66	13,75	685,59	14,20
27	802,33	15,13	726,34	15,95
30	828,16	19,53	789,71	18,95

pH solução NaCl P.A.: 6,16;

pH solução anódica após funcionamento dos equipamentos: 1,60/1,73 (Original/ Adaptado);

pH solução catódica após funcionamento dos equipamentos: 12,42/12,37 (Original/ Adaptado);

Voltagem Média Dissipada: 12,3/12,3 V (Original/ Adaptado);

Temperatura inicial/final água no compartimento anódico: 22,5/26 °C (Original) e 23,5/32 (Adaptado);

Temperatura inicial da água de tratamento: 23,5°C.

Tabela A.8 - Potências consumidas e produção de cloro para os equipamentos Original e UFV-Água utilizando concentração inicial de solução de sal comercial igual a 200 g.l<sup>-1</sup> no compartimento anódico.

Tempo de Operação (min.)	Original		UFV-Água	
	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )	Potencia (W)	Teor cloro total (mg.L <sup>-1</sup> )
0	363,66	0	412,36	0,00
3	404,70	0,28	457,50	0,55
6	448,02	0,55	498,98	1,38
9	475,38	3,03	541,68	3,15
12	513,00	4,68	575,84	4,90
15	540,36	7,43	613,66	7,15
18	573,42	10,18	656,36	8,90
21	612,18	13,48	686,86	11,73
24	653,22	14,68	712,48	14,85
27	688,56	16,58	738,10	18,33
30	730,74	19,77	767,38	21,08

pH solução NaCl P.A.: 6,47;

pH solução anódica após funcionamento dos equipamentos: 1,67/1,78 (Original/ Adaptado);

pH solução catódica após funcionamento dos equipamentos: 12,15/12,69 (Original/ Adaptado);

Voltagem Média Dissipada: 11,4/12,2 V (Original/Adaptado);

Temperatura inicial/final água no compartimento anódico: 23,5/26 °C (Original) e 24,5/33 (Adaptado);

Temperatura inicial da água de tratamento: 24°C.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)