

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PORTÁTIL SOLAR PARA CLORAÇÃO DE CISTERNAS UTILIZANDO IMPRESSORA 3D

Edson Anício Duarte - edsonduarte@ifsp.edu.br
IFSP - Instituto Federal de São Paulo - Campus Campinas
Rodovia Dom Pedro I, Km 143,6 - Bairro Amarais
CEP: 13069-901 - Campinas - São Paulo

João Alexandre Bortoloti
IFSP - Instituto Federal de São Paulo - Campus Campinas
Rodovia Dom Pedro I, Km 143,6 - Bairro Amarais
CEP: 13069-901 - Campinas - São Paulo

Geovany Cândido
IFSP - Instituto Federal de São Paulo - Campus Campinas
Rodovia Dom Pedro I, Km 143,6 - Bairro Amarais
CEP: 13069-901 - Campinas - São Paulo

Resumo: Com o agravamento da crise hídrica nacional, seja pelo aumento da população ou pela escassez das chuvas, a instalação de cisternas para captação e armazenamento de água está se popularizando e já é uma das políticas públicas com mais importantes do país, podem ser citados o PIMC - Programa Um Milhão de Cisternas e o Plano Brasil Sem Miséria do governo federal. Contudo a qualidade da água armazenada pode colocar em risco a saúde das pessoas que a consomem principalmente porque a água está exposta a agentes contaminantes e muitas vezes não é tratada. Atualmente o tratamento da água é geralmente um filtro mecânico que remove as impurezas sólidas da água, não tratando os micro-organismos. O projeto aqui descrito propõe o desenvolvimento de equipamentos de cloração da água com baixo custo e portáteis utilizando manufatura aditiva (impressora 3D) e energia fotovoltaica. O cloro será gerado em um processo de eletrólise de uma solução salina cuja fonte de energia será uma placa fotovoltaica para residências sem acesso a energia elétrica ou uma fonte de 12V para residências que já possuem acesso a eletricidade. Ao final do projeto espera-se ter um protótipo autônomo funcional movido a energia fotovoltaica capaz de realizar o tratamento microbiológico através da cloração da água armazenada em cisternas destinadas ao uso doméstico.

Palavras-chave: Cloração de água, cisternas, eletrólise, automação eletrônica.

1 INTRODUÇÃO

A água está se tornando cada vez mais escassa no planeta e inclusive no Brasil. Hoje, além das áreas que são ameaçadas pela seca, há também aquelas que possuem abastecimento comprometido devido ao grande consumo. A quantidade de água potável disponível para a população mundial está se tornando cada vez menor enquanto a população se torna cada vez maior, o que reduz a disponibilidade da água per capita (VILLIERS, 2002). Considerando a água em nosso planeta, cerca de 97,5% são encontradas na forma salgada nos mares. A água

doce representa cerca de 2,5 % da água disponível, mas apenas 0,3% desse total está disponível para o consumo (JANSKY, 2002).

O abastecimento de água potável para uso doméstico na maioria das regiões do Brasil realiza-se majoritariamente pelas autarquias governamentais; no entanto, em algumas regiões, este abastecimento é precário e buscar alternativas se faz necessário. Uma alternativa é através da coleta da água da chuva em cisternas. Porém, antes de tornar disponível, é preciso que esta água tenha um mínimo de potabilidade para ser consumida domesticamente. Nesse caso, tratamento com cloro para desinfecção se faz necessário e é aí que uma bomba geradora de cloro "portátil" se torna fundamental.

Portanto, a preocupação com a qualidade de vida da população aliada a possibilidade de realização de pesquisa para investimentos em projetos industriais, é que conduziram a execução do referido projeto. E o desafio era de verificar o confronto entre as etapas técnicas e econômicas do projeto, estudando-se as características da água mineral, o mercado, através da oferta e a demanda do produto, o tamanho e a localização, bem como os recursos necessários para o investimento, e as análises técnicas e econômicas.

Neste contexto o uso racional da água se torna um desafio para toda a humanidade. Um possível caminho para amenizar este problema seria o uso da água de chuva. Em regiões rurais, a água é armazenada para o consumo humano, dos animais e até para irrigar áreas de plantio. Principalmente em locais em que as chuvas são irregulares ou escassas o uso de cisternas já cumpre este papel. As cisternas normalmente estão conectadas as calhas das casas e recolhem a água da chuva que atinge os telhados, todavia a qualidade da água captada pelas calhas pode ser inadequada para o consumo humano.

A água de chuva normalmente é apropriada para o consumo humano, com exceção dos locais em que há muita poluição como em cidades muito industrializadas. Nestes casos diversos poluentes podem estar presentes na atmosfera que tornariam a água inapropriada para se beber. Áreas em que a concentração de organoclorados e defensivos agrícolas estejam em alta concentração na atmosfera também podem prejudicar a qualidade da água. Por outro lado, mesmos em áreas não afetadas pela poluição ou por defensivos agrícolas há também a possibilidade de contaminação da água. Como normalmente a água é recolhida por calhas do telhado pode haver a presença de poeira, fezes de animais, sujeira, folhas de árvores, pequenos animais mortos, bactérias que além de contaminar a água para o consumo também podem gerar mau cheiro.

Outro problema presente com o uso das cisternas é a proximidade do esgoto e de fossas que associada a falta de qualidade nas construções com a presença de trincos e rachaduras pode representar um ponto para a penetração de micro-organismos patógenos. Há outras fontes de contaminação como a corda e o próprio balde empregados para retirar a água da cisterna, ou a presença de frestas na tampa da cisterna. Além das bactérias coliformes totais e fecais existe também a possibilidade de contaminação por *Pseudomona aeruginosa* (RUSKIN, 1988) e protozoários como a *Giardia* (CRABTREE et al., 1996).

Em muitas comunidades do país que estão localizadas em regiões de seca há a presença das cisternas que são abastecidas pela água da chuva e até mesmo por carros-pipa das prefeituras locais. Devido aos fatores ligados a coleta da água e seu transporte o risco de contaminação está presente. A não desinfecção da água com a utilização do cloro pode gerar uma fonte de contaminação que ameaça a comunidade já fragilizada pela seca.

Em um trabalho publicado no 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva AMORIM et al (2011) avaliaram 14 cisternas localizadas na comunidade de Volta do Riacho, no município de Petrolina-PE que eram abastecidas por água de chuva e caminhão pipa. As cisternas eram padronizadas, construídas em alvenaria com capacidade de 15.000 litros. Em todas as cisternas estavam presentes bactérias do grupo coliformes totais. A potabilidade

estava comprometida, pois a contaminação era de 4 a 1600 vezes superior ao tolerado segundo o Ministério da Saúde. Em nenhuma das cisternas se detectou a presença de cloro residual.

Neste projeto deseja-se desenvolver um protótipo utilizando uma impressora 3D para manufatura de alguns componentes de sua estrutura. O protótipo irá gerar cloro, por meio de um processo eletroquímico, para a limpeza e desinfecção a água. A fonte de energia para o processo de eletrólise pode ser uma fonte simples de 12V ou uma placa solar indicada principalmente para residências sem acesso a luz elétrica. O protótipo será desenvolvido com materiais acessíveis e de baixo custo, sendo que as partes necessárias para integração dos componentes elétricos, mecânicos e químicos serão produzidos através da técnica de manufatura aditiva. O protótipo deverá ser simples, utilizando componentes comerciais em sua composição, o que possibilitará a sua produção para atender um grande número de famílias com custos reduzidos.

Ao desenvolver o equipamento com componentes comerciais e de fácil acesso espera-se ter grande capilaridade para sua aplicação nas mais de 1 milhão de cisternas instaladas no território brasileiro. Em relação aos consumíveis utilizados no projeto, o desenvolvimento deste projeto tem a premissa de identificar produtos que sejam de fácil aquisição pelos usuários como por exemplo o sal de cozinha, que será a um dos componentes a serem utilizados na reação química.

Serão realizados testes para se comprovar a eficiência do tratamento realizado pelo equipamento e otimização das variáveis através de métodos estatísticos adequados. correspondente revisão por especialistas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A água potável deve possuir turbidez adequada e a proteção contra micro-organismos patógenos. A resistência de alguns micro-organismos a agentes desinfetantes pode variar muito. Bactérias que formam esporos e vírus podem ser bastante resistentes (Rossin, 1987).

A morte de um micro-organismo pela ação de um agente desinfetante é normalmente proporcional a concentração do desinfetante e ao tempo de reação. Se a concentração do agente desinfetante for baixa, o tempo de ação tem que ser mais prolongado. O cloro é uma substância muito empregado na limpeza e desinfecção da água e pode ser obtido em um processo conhecido por eletrólise.

O processo de eletrólise é uma reação de oxirredução não espontâneo que ocorre graças a passagem de corrente elétrica. A água pura não conduz corrente elétrica, mas com a adição de um eletrólito, torna-se uma solução eletrolítica. Para que ocorra a eletrólise aquosa é necessário que íons estejam presentes, a dissolução de cloreto de sódio libera íons. Com a passagem de corrente formam-se várias espécies químicas, o hidrogênio gasoso, o hidróxido de sódio e o cloro gasoso. O tratamento eletroquímico é eficiente para remover agentes patogênicos. O processo eletroquímico pode auxiliar na cloração da água, pois evita a adição de grandes quantidades de produtos químicos. O processo é considerado simples, sendo fácil de ser implementado, além de ter baixo custo. O processo também evita a adição de outras substâncias que podem ser mais tóxicas para quem consumir a água (Gusmão, 2010).

O uso do cloro para a desinfecção foi iniciado com o emprego de hipoclorito de sódio. Era uma técnica aplicada somente em casos onde existiam epidemias. A partir de 1902 a cloração foi adotada na Europa. ROSSIN (1987) descreve como os processos de cloração evoluíram com o tempo:

- a) 1908 a 1918 foi o início do processo de cloração da água com a adição de uma quantidade baixa de cloro;

- b) 1918 a 1928 empregou-se cloraminas, adição de amônio e cloro, de forma que um teor residual da mistura fosse obtido;
- c) 1948 a 1958 houve um refinamento da técnica da cloração com controle microbiológico.

A cloração pode provocar a desinfecção da água e a oxidação de substâncias presentes (BAZZOLI, 1993). De forma geral a reatividade do cloro é intensificada com a diminuição do pH e a velocidade de sua ação aumenta com a elevação da temperatura. O cloro gasoso ao ser adicionado a água reage gerando ácido hipocloroso e ácido clorídrico, conforme mostra a equação 1.



A 25°C a reação ocorre em décimos de segundo, em soluções diluídas e com pH acima de 4 o equilíbrio se desloca consumindo o cloro gasoso. A ação oxidante do cloro é controlada pelo ácido hipocloroso (BAZZOLI, 1993; DEGRÉMONT, 1979). O cloro residual é o cloro presente na forma de ácido hipocloroso e íon hipoclorito (OPAS, 1987; ROSSIN, 1987). Muitos compostos orgânicos presentes na água podem alterar o consumo de cloro. Assim o processo de tratamento microbiológico utilizado o cloro é viável e a eletrólise promover a reação química que consegue prover este gás para o processo de tratamento.

Para a produção do equipamento serão utilizados a técnica de manufatura que acelera o tempo de desenvolvimento de protótipos, que é a manufatura aditiva. São utilizadas as impressoras 3D que possibilitam grande gama de aplicações desde a confecção de peças para equipamentos, auxílio no desenvolvimento de produtos e dispositivos com alto nível de especificidade, pois são uma ferramenta muito útil para gerar a customização de produtos em pequena escala ou até mesmo individual. Para utilizar as impressoras são necessário softwares de modelamento 3D, para criação dos modelos, software de análise da malha, para eventuais correções na malha, e software específico do equipamento, que é utilizado para gerar o código que será impresso (VOLPATO, 1999).

No processo de manufatura aditiva não há necessidade de escala, o modelamento pode ser realizado peça a peça, o que torna este tipo de tecnologia fundamental para os projetos que envolvem certo grau de complexidade, uma vez que vários dispositivos podem ter seus conceitos testados na prática mais rapidamente, sem grande custo por alterações o que permite alto grau de customização e especificidade. A manufatura aditiva permite construção de protótipos que antes eram só possíveis de serem modelados por profissionais habilitados utilizando a usinagem convencional e ferramentas manuais, hoje com esta tecnologia disponível esta etapa está mais acessível à comunidade acadêmica e industrial. Assim este projeto visa utilizar a manufatura aditiva para o desenvolvimento do protótipo do equipamento de cloração utilizando uma impressora 3D.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta etapa irá descrever os passos para a manufatura do equipamento móvel de cloração com baixo custo e que utiliza energia fotovoltaica como fonte de energia para a realização da eletrólise, esta reação química irá resultar na produção de gás Cloro e gás Hidrogênio.

O projeto pode ser subdividido em três etapas de desenvolvimento, a Eletrólise, o desenvolvimento Elétrico e o desenvolvimento Mecânico.

3.1 Eletrólise

Os consumíveis que serão utilizados são eletrodos de material metálico e de grafite, onde os testes operacionais irão indicar qual é o melhor eletrodo para esta aplicação. Para a realização da reação química será utilizada uma solução salina (Sal de cozinha - NaCl). Os estudos resultantes indicarão qual a melhor concentração desta solução.

O processo químico a ser utilizado é o da eletrólise, trata-se de uma oxirredução não espontânea que ocorre graças a passagem de corrente elétrica, que será resultante através do fornecimento de energia elétrica de uma fonte de tensão. Nesta reação química, a eletrólise aquosa com a passagem de corrente elétrica resultará espécies químicas, o hidrogênio gasoso, o hidróxido de sódio e o cloro gasoso.

O desenvolvimento desta etapa está em definir a concentração ideal da solução salina, estudo dos tipos de eletrodos a serem testados, a geometria do reservatório, a distância entre os eletrodos, a compatibilidade química dos materiais a serem utilizados na estrutura do equipamento e a geometria do equipamento.

O cloro gasoso será capturado por uma tubulação (mangueira flexível) e injetado na água a ser tratada.

3.2 Desenvolvimento Elétrico

Para a realização da eletrólise é necessária uma fonte de tensão aplicada em dois eletrodos de material condutivo. Através de testes de laboratório realizados em laboratório foi verificado que uma fonte de 12V e 1A é capaz de realizar a reação química desejada. De acordo com o protótipo a ser desenvolvido estes valores poderão ser alterados de acordo com a determinação do melhor ponto de operação do equipamento, uma vez que as variáveis deste processo são inúmeras como a distância entre os eletrodos, o material do eletrodo, a geometria do eletrodo, a concentração da solução, o comprimento dos eletrodos, a geometria do equipamento e a tensão e corrente de operação.

Inicialmente será trabalhado com uma fonte de tensão de 12V e 10W que é o suficiente para realizar uma eletrólise nos testes laboratoriais.

3.3 Material Elétrico

Uma fonte de tensão que forneça estas características elétricas é de fácil desenvolvimento e acesso. Assim uma das fases deste projeto é identificar uma fonte de tensão de baixo custo que forneça a tensão e corrente desejáveis, esta fonte de tensão será para a utilização do equipamento em locais onde exista eletrificação.

Para as regiões onde não possua energia elétrica disponível a proposta é identificar uma placa solar com respectivo circuito eletrônico de controle para fornecer a energia elétrica necessária para a realização da eletrólise. A água armazenada nas cisternas é o suficiente para o consumo de uma família de 5 pessoas por 6 meses, assim não existe a necessidade do equipamento funcionar 24 horas por dia, portanto não será considerada a utilização de acumuladores de energia elétrica (baterias) neste projeto.

3.4 Desenvolvimento Mecânico

O escopo inicial é desenvolver um gerador de cloro que atenda uma cisterna de 16000L que é a dimensão de uma cisterna residencial a qual tem a maior quantidade de unidades

instaladas no território brasileiro. Dados teóricos indicam que uma solução salina de 15L de H₂O tem capacidade de tratar esta quantidade de água armazenada.

Outra premissa é utilizar componentes de material de construção que são as tubulações de PVC que são facilmente encontradas. Os recursos laboratoriais disponíveis para o desenvolvimento de protótipos utilizando manufatura aditiva são as impressoras 3D, que são operadas através do uso de softwares proprietários, já os modelos mecânicos são desenvolvidos utilizando softwares de modelamentos mecânico específicos, dentre eles estão o Solid Works, Solid Edge e ProE. Dependendo do fabricante da impressora os softwares proprietários são disponibilizados quando da aquisição do equipamento.

A impressora 3D utilizada foi uma Clone3D e bobinas 1,75mm PLA 3D filament.

Uma proposta para a impressão das peças modeladas será utilizar os seguintes softwares:

- a) ClonerGen3D; b) ClonerMake3D e c) ClonerPrint3D.

Para realizar a impressão da peça foi utilizado o software SolidWorks para gerar o arquivo STL, para estabelecer os parâmetros de impressão e gerar o código ISO, foram utilizados os softwares ClonerGen3D. Para a comunicação com a impressora 3D o software ClonerMake3D é utilizado para enviar o código ISO para a impressão da peça.

O primeiro protótipo modelado é apresentado na figura 1.

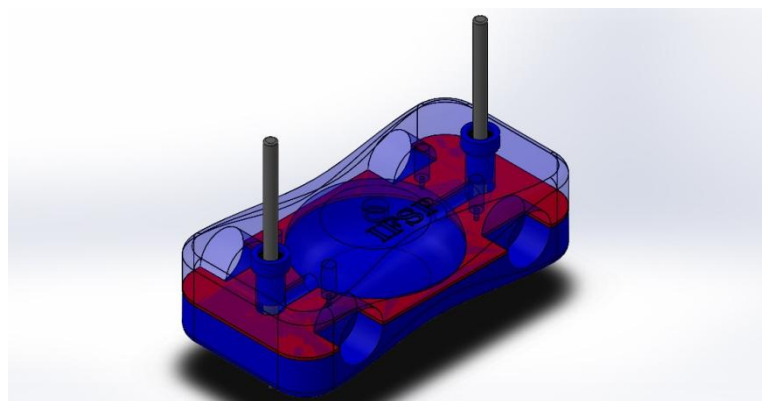
Figura 1 – Desenho do protótipo.



Fonte: Próprios autores

Na figura 1 podem ser vistos os polos positivos e negativos onde serão conectados os terminais da fonte de energia. Os eletrodos são de grafite que permitem a condução de energia elétrica e possibilitam a realização da reação química. O grafite foi selecionado após testes em outros experimentos correlatos e se mostrou o mais adequado a este projeto pela eficiência na reação, fácil aquisição e a não geração de subprodutos.

Figura 2 – Desenho do protótipo em detalhes.



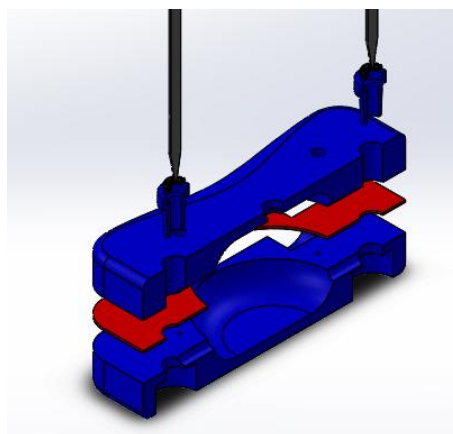
Fonte: Próprios autores

Para verificar o local da reação química é apresentada a figura 2 que mostra a câmara onde ocorre a eletrólise. Nas laterais do protótipo existem 4 encaixes para conectar os flutuadores, uma vez que este protótipo ficar sob a lâmina de água, a proposta é utilizar garrafas pet para fazer a função de flutuadores.

A premissa do projeto foi utilizar o máximo de componentes comerciais possíveis na composição da estrutura mecânica do gerador de cloro, deixando somente as peças mais complexas para o processo de prototipagem. Todos os componentes foram modelados no software 3D de modo que ao final o projeto seja disponibilizado para outras instituições que desejem reproduzir o gerador de cloro.

A parte vermelha mostrada na figura 2 é a vedação do conjunto uma vez que foi projetado bipartido. A figura 3 apresenta uma vista em corte do protótipo onde é possível verificar em detalhes a câmara de reação, a vedação e o ponte de saída do cloro.

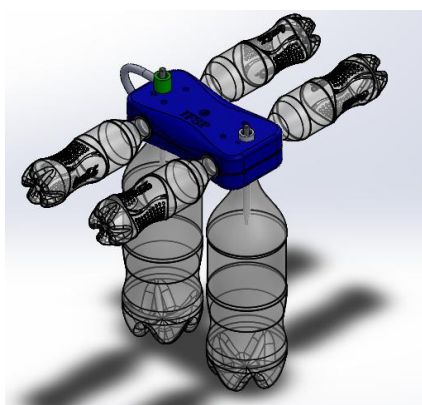
Figura 3 – Desenho do protótipo em corte.



Fonte: Próprios autores

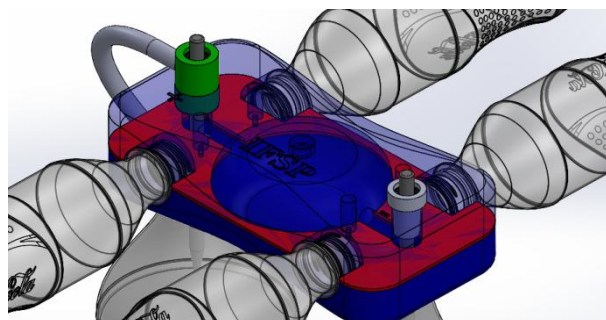
A figura 4 mostra o conjunto montado utilizando garrafas PET. As garrafas PET tem duas finalidades, as menores serão utilizadas como flutuadores e as maiores irão conter a solução salina para que a reação química ocorra. Na figura 4 pode ser visualizada o detalhe verde que é a saída do gás cloro que será utilizada para realizar a cloração da água desejada.

Figura 4 – Desenho do conjunto montado.



Fonte: Próprios autores

Figura 5 – Desenho do conjunto montado em detalhe.



Fonte: Próprios autores

A figura 5 mostra em detalhe a conexão dos flutuadores ao protótipo e a câmara de ligação entre os dois eletrodos.

4 RESULTADOS

O protótipo foi manufaturado utilizando uma impressora 3D e obteve-se um protótipo com as dimensões 300 mm x 100 mm x 50 mm (C x L x H). A figura 6 mostra o protótipo manufaturado com a matéria-prima PLA.

Figura 6 – Protótipo manufaturado em PLA.



Fonte: Próprios autores

O protótipo finalizado é mostrado na figura 7 com os eletrodos montados.

Figura 7 – Protótipo com os eletrodos de grafite instalados.



Fonte: Próprios autores

Os próximos passos serão realizar testes em campo para verificar a eficiência da eletrólise utilizando este conjunto portátil.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio institucional do IFSP (Instituto Federal de São Paulo) que através do edital interno nº 226/2014 proporcionou o desenvolvimento deste trabalho com o envolvimento efetivo de alunos durante todo o processo.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M.C. et al. **Avaliação da qualidade bacteriológica das águas de cisternas: estudo de caso no município de Petrolina-PE**. 3º Simp. brasil. de captação de água de chuva no semi-árido, Campina Grande - PB, 2001.

BAZZOLI, N., 1993. **O Uso da Desinfecção no Combate à Cólera**. Apostila da Fundação Nacional de Saúde — Coordenação Regional de Minas Gerais. Recife: FNS/Opas. (Mimeo.)

CRABTREE, K.D., et al. **The detection of Cryptosporidium oocysts and Giardia cysts in cistern water in the U.S Virgin Islands**. Water Research, 30:208-216,1996.

DEGRÉMONT. **Water Treatment Handbook**. New York: John Wiley & Sons. 1979.

GUSMÃO, I.C.C.P.; MORAES, P. B.; BIDOIA, Ederio; **Studies on the electrochemical disinfection of water containing Escherichia coli using a dimensionally stable anode**, 01/2010, Brazilian Archives of Biology and Technology (Impresso), Vol. 53, pp.1235-1244, Curitiba, PR, Brasil, 2010.

JANSKY, L. et al. **Lakes and reservoirs as international water systems**. United Nations University, 2002. 110p.

KUHM, Thomas. **A estrutura das revoluções científicas**. 2ª edição, São Paulo: Perspectiva, 1987.

OPAS (Organización Panamericana de la Salud). **Guias para la Calidad del Agua Potable**. Volumes I, II e III. Genebra: Opas. 1987.

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

RUSKIN, R. H. & Patrick S. C. **Maintenance of cistern water quality in the Virgin Islands**. Technical Report N. 30, Caribbean Research Institute, University of the Virgin Islands, St.Thomas, U. S. Virgin Islands, 1988.

VILLIERS, M.. **Água: Como o uso deste precioso recurso natural poderá acarretar a mais séria crise do século XXI**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.

VOLPATO, Neri. **Prototipagem Rápida Tecnologia e Aplicações**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2007.

DEVELOPMENT OF A SOLAR PORTABLE EQUIPMENT FOR TANK CHLORINATION USING A 3D PRINTER

Abstract: *With the worsening of the national water crisis and scarcity of rainfall, the installation of cisterns to capture and store water is becoming popular and is already one of the most important public policies in the country, the P1MC - One Million Cisterns Program and the Brazil's No-Misery Federal Government Plan. However, the quality of stored water can endanger the health of people who consume it mainly because water is exposed to contaminants and is often untreated. Currently water treatment is usually a mechanical filter that removes solid impurities from the water, not treating microorganisms. The project described here proposes the development of low cost and portable water chlorination equipment using additive manufacture (3D printer) and photovoltaic energy. The chlorine will be generated in a process of electrolysis of a saline solution whose energy source will be a photovoltaic plate for homes without access to electricity or a 12V source for homes that already have access to electricity. At the end of the project it is expected to have a functional autonomous prototype powered by photovoltaic energy capable of performing the microbiological treatment through the chlorination of water stored in cisterns intended for domestic use.*

Key-words: *Water chlorination, cisterns, electrolysis, electronic automation.*