

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESINFECÇÃO DA ÁGUA POR PASTEURIZAÇÃO SOLAR
(SOPAS) EM COMUNIDADES RURAIS**

DANIELLE GONÇALVES RODRIGUES

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESINFECÇÃO DA ÁGUA POR PASTEURIZAÇÃO SOLAR
(SOPAS) EM COMUNIDADES RURAIS**

Dissertação de mestrado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Agrícola na área de
concentração Água e Solos.

DANIELLE GONÇALVES RODRIGUES

Orientador: Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani

Co-orientador: Prof. Dr. Franco Giusepe Dedini

CAMPINAS
FEVEREIRO 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

R618d Rodrigues, Danielle Gonçalves
Desinfecção da água por pasteurização solar
(SOPAS) em comunidades rurais / Danielle Gonçalves
Rodrigues. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientadores: José Euclides Stipp Paterniani, Franco
Giusepe Dedini.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Água - Purificação. 2. Comunidades rurais -
Brasil. 3. Pasteurização. 4. Escherichia coli. I.
Paterniani, José Euclides Stipp. II. Dedini, Franco
Giusepe. III. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Título em Inglês: Water disinfection by solar pasteurization (SOPAS) in rural
communities

Palavras-chave em Inglês: Water - Purification, Rural communities - Brazil,
Pasteurization, Escherichia coli

Área de concentração: Água e Solo

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Marcelo Jacomini Moreira da Silva, Geraldo Gonçalves
Delgado Neto,

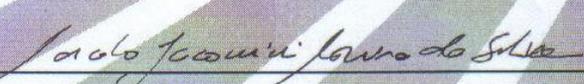
Data da defesa: 28/02/2011

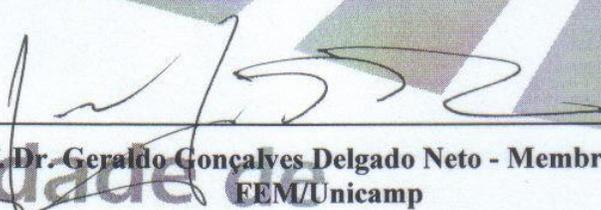
Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Danielle Gonçalves Rodrigues**, aprovado pela Comissão Julgadora em 28 de fevereiro de 2011, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAGRI


Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp


Prof. Dr. Marcelo Jacomini Moreira da Silva – Membro Titular
Anhanguera Educacional


Prof. Dr. Geraldo Gonçalves Delgado Neto - Membro Titular
EEM/Unicamp

Faculdade de
Engenharia Agrícola
Unicamp

“Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nele, e ele tudo fará”.

(Sl 37:5)

“Nunca poderemos ser suficientemente gratos a Deus, a nossos pais e a nossos mestres”.

Aristóteles

Dedicatória

Dedico a meus queridos pais Jane e Miguel pelo exemplo de vida, incentivo e amor e por serem a razão da minha vida.

Dedico a meus irmãos Helber (*in memorian*) e Elaine (*in memorian*) eterno carinho e saudade.

Agradecimentos

A Deus por sempre me iluminar e me presentear com sabedoria para que meus passos fossem guiados à águas tranqüilas mesmo nas piores tempestades.

A meu querido orientador Professor Dr. José Euclides Stipp Paterniani por ter confiado a mim o desenvolvimento desse trabalho. Por sua ajuda e orientações em todos os momentos, principalmente nos momentos mais decisivos e, por acreditar no futuro deste projeto contribuindo para o meu crescimento profissional e por ser também um exemplo a ser seguido. Pela compreensão e amizade.

Ao meu co-orientador Prof. Dr Franco Giuseppe Dedini, pela amizade, sugestão e colaboração no desenvolver desse projeto.

Aos meus amados pais Miguel e Jane pelo amor, dedicação e apoio emocional que muito me auxiliaram no desenvolver deste trabalho.

A meu querido irmão Helber que fez parte desse sonho comigo mas precisou ir embora cedo demais....

Aos meus queridos primos Alex e Tiago, que sempre estiveram presentes em todos os momentos da minha vida.

A minha querida tia Milca, meu tio Israel e minha avó Anita por sempre estarem a meu lado.

A querida professora e amiga Dra. Ana Cláudia Camargo de Lima Tresmondi, por me mostrar o mundo maravilhoso da pesquisa científica.

Aos meus queridos amigos do laboratório de Hidráulica da FEAGRI : Adriana, Camila, Karol, Gabriela, Samuel, Monalisa, Conan, Franciana, por me receberem tão bem, me ajudarem e participarem deste trabalho comigo.

Aos meus queridos amigos do laboratório LABSIM da FEM: Breno, Geraldo, Viviane, Ludmila e Reynaldo.

A meu querido amigo Bruno Piva, pela amizade, compreensão e por me auxiliar em alguns experimentos, sugestões e na fixação dos suportes dos aquecedores no campo experimental.

Ao meu querido amigo Agmon pela amizade, compreensão e por me auxiliar no desenvolvimento dos mapas de radiação desse estudo.

Ao meu querido amigo Lucas por sua amizade, apoio e incentivo, sendo que o considero como se fosse um irmão.

Aos meus eternos amigos Jonathan, Susel, Flaviane e Patrícia por sua amizade sincera, auxílio e apoio em todos os momentos.

Aos meus amigos e técnicos do laboratório Hidráulica da FEAGRI: Gelson, Túlio e Giovani.

Aos funcionários da Pós-graduação da FEAGRI, Alexandre, Célia, Marta e Sidney pelo apoio.

Ao Renato César Pereira pelo empréstimo de alguns suportes dos aquecedores e pela placa de PVC utilizada na realização do experimento.

A empresa Solar Minas LTDA. pela doação do protótipo do aquecedor Solar Comercial e em especial a meu querido pai por ter permitido que isso fosse possível e pelo apoio técnico durante toda a realização do experimento.

Ao CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de estudo para o desenvolvimento do projeto.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------|
| LISTA DE TABELAS..... | XI |
| LISTA DE FIGURAS..... | XII |
| LISTA DE SIGLAS..... | XV |
| LISTA DE ANEXOS..... | XVI |
| RESUMO..... | XVII |
| ABSTRACT..... | XVIII |
| 1.0 INTRODUÇÃO..... | 01 |
| 2.0 OBJETIVO..... | 04 |
| 2.1 Objetivo Geral..... | 04 |
| 2.2 Objetivo Específico..... | 04 |
| 3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 05 |
| 3.1 Importância da qualidade da água para consumo humano..... | 05 |
| 3.2 Bactérias Heterotróficas , Coliformes Fecais e Totais..... | 07 |
| 3.2.1 Coliformes Fecais..... | 07 |
| 3.2.2 Coliformes Totais..... | 08 |
| 3.2.3 Bactérias Heterotróficas..... | 09 |
| 3.3 Métodos de desinfecção da água usualmente utilizados..... | 09 |
| 3.3.1 Cloração..... | 09 |
| 3.3.2 Ozônio..... | 10 |
| 3.3.3 Radiação UV..... | 10 |
| 3.3.4 Fervura..... | 11 |
| 3.4 Métodos alternativos de desinfecção da água por energia solar: SODIS e SOPAS..... | 12 |
| 3.4.1 SODIS..... | 12 |
| 3.4.2 SOPAS..... | 14 |
| 3.5 Aquecedor Solar da água..... | 16 |
| 3.6 Metodologia de Projeto..... | 18 |
| 3.7 QFD (Desdobramento da Função Qualidade)..... | 18 |
| 3.8 Benchmarking..... | 19 |

| | |
|--|----|
| 4.0 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 20 |
| 4.1-1ª parte - Desenvolvimento da metodologia do Projeto..... | 20 |
| 4.1.1- QFD (Quality Function Deployment)..... | 21 |
| 4.1.2 - Primeira Etapa: A voz do cliente..... | 21 |
| 4.1.3 - Segunda Etapa: Estabelecimento da qualidade planejada..... | 22 |
| 4.1.4- Benchmarking..... | 22 |
| 4.2- 2ª parte - Construção e Instalação dos aquecedores solar da água como insumo desinfecção da água pelo método SOPAS..... | 23 |
| 4.2.1 Área de Estudo e Coleta de amostras..... | 23 |
| 4.2.2 Mapeamento da Distribuição Espacial da radiação Solar em Campinas- SP eficiência energética e durabilidade de cada equipamento.... | 24 |
| 4.2.3 Desenvolvimento e Implantação da técnica SOPAS..... | 25 |
| 4.2.4 Equipamento de Aquecedor Solar Comercial..... | 27 |
| 4.2.5 Aquecedor Solar constituído de Garrafa PET e caixas de leite Longa vida..... | 29 |
| 4.2.6 Aquecedor Solar de Placa de PVC..... | 30 |
| 4.2.7 Desenvolvimento do método SOPAS para desinfecção da água..... | 31 |
| 4.2.8 Meios de cultura e quantificação dos micro-organismos..... | 32 |
| 4.2.9 Inativação de bactérias em função da temperatura..... | 34 |
| 4.2.9.1 - 1ª Etapa: Curva de tendência de Inativação..... | 34 |
| 4.2.9.2 - 2ª Etapa: Inativação nos Equipamentos de Aquecedor Solar da Água..... | 35 |
| 5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 35 |
| 5.1- 1ª parte: Desenvolvimento da metodologia do Projeto..... | 35 |
| 5.1.1 QFD (Desdobramento da Função Qualidade)..... | 35 |
| 5.1.2 Benchmarking- Equipamento de aquecedor solar..... | 41 |
| 5.2. - 2ª parte: Construção e Instalação dos aquecedores solar da água como insumo para a potabilização da água pelo método SOPAS..... | 42 |
| 5.2.1 Teste Preliminar: Tendência de inativação de bactérias heterotróficas e grupo coliformes..... | 43 |

| | |
|---|----|
| 5.2.2 Inativação <i>Escherichia coli</i> e heterotróficas nos Equipamentos de Aquecedor Solar da Água..... | 47 |
| 5.2.3 - 1ª Teste: Verificação da temperatura alcançada em cada equipamento para inativação de <i>Escherichia coli</i> para reservatório com volume de 80 litros sem revestimento térmico..... | 49 |
| 5.2.4 - 2ª Teste: Verificação da temperatura alcançada em cada equipamento para inativação de <i>Escherichia coli</i> para reservatório com volume de 80 litros com revestimento térmico..... | 52 |
| 5.2.5 - 3ª Teste: Verificação da temperatura alcançada em cada equipamento para inativação de <i>Escherichia coli</i> para reservatório com volume de 40 litros com revestimento térmico..... | 59 |
| 6.0 CONCLUSÃO..... | 69 |
| 7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 71 |
| 8.0 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA..... | 72 |
| ANEXOS..... | 76 |

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais microorganismos relacionados a doenças de veiculação hídrica

Tabela 2: Apresenta os principais desinfetantes utilizados para potabilização de água.

Tabela 3: Diluições utilizadas nesse estudo

Tabela 4: Check list realizado com moradores de propriedades rurais no estado de Minas Gerais

Tabela 5: Proposta para melhoria da qualidade de vida das populações de propriedades rurais.

Tabela 6: Resultados obtidos através do benchmarking

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Etapas da técnica SODIS.

Figura 2: Esquema de funcionamento de um aquecedor solar da água.

Figura 3: Distribuição espacial da radiação solar em Campinas

Figura 4: Equipamentos instalados para desenvolvimento da técnica SOPAS no Campo experimental

Figura 5: Aquecedor Solar comercial

Figura 6: Aquecedor Solar de Baixo Custo construído de garrafa PET e Caixas de Leite Longa Vida

Figura 7: Aquecedor Solar de Baixo Custo construído de placa de PVC.

Figura 8: Placas utilizadas para identificação e quantificação de bactérias heterotróficas

Figura 9: Cartelas de colilert utilizadas para detecção de bactérias *Escherichia coli*

Figura 10: Propriedade 1 visitada no estado de MG

Figura 11: Propriedade 2 visitada no estado de MG

Figura 12: Propriedade 3 visitada em MG

Figura 13: Equipamentos utilizados para elaboração do benchmarking.

Figura 14: Tendência de do grupo coliformes e heterotróficas

Figura 15: Médias das temperaturas pela radiação média incidente em todos os equipamentos durante o período de maio de 2009 a dezembro de 2009 para o reservatório de 80 litros sem revestimento térmico.

Figura 16: Médias das temperaturas atingidas em cada equipamento monitorado de acordo com o horário da medição para o reservatório de 80 litros sem revestimento térmico

Figura 17: Resultados das análises bacteriológicas tanto para coliformes quanto para *Escherichia coli* nos equipamentos de baixo custo, com reservatório de 80 litros sem revestimento térmico

Figura 18: Resultados das análises bacteriológicas para coliformes para o equipamento comercial no período de junho a dezembro de 2009

Figura 19: Caixa do Reservatório de 80 litros revestida com manta térmica

Figura 20: Caixas dos Reservatórios com revestimento Térmico

Figura 21: Temperaturas médias atingidas nos equipamentos com o reservatório de 80 litros com revestimento térmico no período de janeiro a maio de 2010

Figura 22: Médias das temperaturas atingidas em cada equipamento monitorado de acordo com o horário da medição no período de janeiro a maio de 2010

Figura 23: Resultados das análises bacteriológicas tanto para coliformes quanto para *Escherichia coli* nos equipamentos de baixo custo, no período de janeiro a maio de 2009

Figura 24: Resultados das análises bacteriológicas para coliformes para o equipamento comercial no período de janeiro a maio de 2009

Figura 25: Reservatório de 40 litros revestido com isopor

Figura 26: Médias das temperaturas atingida pelos 3 equipamentos monitorados utilizando-se reservatório de 40 litros com revestimento térmico para os meses de junho a novembro de 2010.

Figura 27: médias das temperaturas atingidas em cada equipamento monitorado de acordo com o horário da medição com reservatório de 40 litros

Figura 28: Resultados das análises bacteriológicas tanto para coliformes quanto para *Escherichia coli* nos equipamentos de baixo custo, no período de junho a novembro de 2010

Figura 29: Resultados das análises bacteriológicas para coliformes no equipamento de aquecedor solar no período de junho a novembro de 2009

Figura 30 : Concentrações encontradas pelas análises de bactérias heterotróficas nos equipamentos de baixo custo

Figura 31: Resultados das concentrações para bactérias heterotróficas no equipamento de aquecedor solar comercial.

LISTA DE SIGLAS

ASBC- AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO

PET- POLIETILENO TEREFTALATO

QFD - QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT

SODIS - DESINFECÇÃO SOLAR DA ÁGUA PELA UTILIZAÇÃO DE GARRAFA DO TIPO PET

SOPAS – PASTEURIZAÇÃO SOLAR DA ÁGUA

OMS- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE

WAPI- INDICADOR DE PASTEURIZAÇÃO DA ÁGUA

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A

Mapas Temáticos da distribuição espacial da radiação solar no Brasil de maio a dezembro de 2009.

ANEXO B

Mapas Temáticos da distribuição espacial da radiação solar no Brasil de janeiro de 2010 a novembro de 2010.

RESUMO

A elevada incidência de doenças de veiculação hídrica, devido à ausência de um sistema de saneamento suficientemente eficaz, afeta principalmente as populações que vivem em localidades pobres e em zonas rurais. Dessa forma, busca-se desenvolver cada vez mais, meios alternativos e baratos para promover a melhoria da qualidade de vida dessa população. Neste estudo é apresentado um sistema de pasteurização solar da água (SOPAS) visando desinfecção de água para consumo humano, utilizando como insumo um equipamento de aquecedor solar comercial e dois de baixo custo. Realizou-se testes para verificação da inativação de bactérias do grupo coliformes e heterotróficas nos aquecedores utilizados, os quais ficavam expostos por 8 horas ao sol, durante o período de maio de 2009 a novembro de 2010. Para detecção do grupos coliformes, usou-se a técnica do substrato cromogênico e para a heterotróficas o plaqueamento com *Plate Agar Conter*. De todos os equipamentos estudados, somente o equipamento de aquecedor solar comercial atingiu a temperatura de 60 ° C, necessária para promoção da SOPAS, inativando o grupo coliformes. As bactérias heterotróficas não foram inativadas por nenhum dos equipamentos estudados. Para o desenvolvimento desse estudo, utilizou-se ferramentas de metodologia de projeto como: QFD e *benchmarking*. Isso possibilitou a realizar entrevistas em zonas rurais de modo a se verificar as condições dessas populações e propor medidas para desenvolver um equipamento para promoção da SOPAS de fácil aceitação e de custo acessível baseado nas necessidades reais do público alvo.

Palavras- chaves: desinfecção da água, comunidades rurais, SOPAS

ABSTRACT

The high incidence of diseases caused by contaminated water, due to lack of an effective sanitation system, affects people who live in undeveloped and rural areas. In this way, the development of alternative and capable solutions improving the people quality life is researched. This research work introduces the water solar pasteurization system (SOPAS), objectiving water disinfection destined to people consumption, analyzing performance between three equipments being commercial solar heater equipment and two low cost equipments. Tests have been carried on to verify the coliform and heterotrophic bacterial group inactivation on used heaters, which have been exposed for 8 hours under sun, though May, 2009 to November, 2010. Coliform group detection has been applied the chromogenic substrate technique and heterotrophic group detection has been applied the Agar Plate Counter plating technique. It is observed among every tested equipments that only commercial solar heater reached temperature of 60°C, which is necessary to promote the (SOPAS), inactivating the coliform groups. Heterotrophic bacteria groups have not been for any tested equipments. This research work has been applied methodological project tools as: QFD and benchmarking. It allowed carrying on interviews in rural areas, in way to verify conditions of these populations and possibility to purpose actions to develop an equipment to promotion the (SOPAS) as easy acceptance and accessible cost based on real necessities of target public.

Keywords: water disinfection, rural communities, solar pasteurization

1.0 INTRODUÇÃO

A falta de água potável e de esgoto tratado facilita a transmissão de doenças e são umas das principais causas de mortes em crianças e idosos nas populações carentes e de zonas rurais devido à falta de acesso à água potável.

No caso de países pobres ou em desenvolvimento, os métodos para desinfecção de água depara-se com dificuldades como impossibilidade de aquisição de desinfetantes ou capacitação insuficiente dos técnicos encarregados da operação, manutenção e reparos.

As populações carentes e de zonas rurais, muitas vezes não dispõem de recursos necessários à implantação de adequados sistemas de tratamento de água, e assim sendo, busca-se desenvolver cada vez mais meios alternativos e baratos de melhoramento da qualidade dos recursos hídricos e da saúde da população. Não apenas de fácil instalação, mas também sistemas cuja operação e manutenção possam ser gerenciadas e sustentadas com recursos locais.

Uma técnica que vem sendo estudada e aplicada para disponibilizar água de boa qualidade em países em desenvolvimento como uma tecnologia segura para o tratamento microbiológico da água é através da desinfecção solar. Esta técnica funciona como opção principalmente para sistemas individuais (unidade familiar) e mostra-se como um sistema bastante simples e que não requer insumos.

Essa técnica é hoje denominada SODIS, sigla em inglês para desinfecção solar. O SODIS, método em batelada, extremamente simples e barato, dispensa o fornecimento de energia elétrica e utiliza apenas garrafas tipo PET (Polietileno tereftalato) como insumo e o sol, universalmente disponível e gratuito. Todavia, esse método consegue atingir uma temperatura média de 50 °C, o que nem sempre é suficiente para inativar todos os microorganismos presentes na água e dessa forma ocorra um recrescimento bacteriano além de precisar de um período de exposição das garrafas de 4 a horas diárias.

O uso da energia solar para desinfecção da água (SODIS) vem sendo proposta para utilização por exemplo nas áreas rurais de países em desenvolvimento, possibilitando a desinfecção de águas captadas em poços ou mananciais superficiais cujas características físicas e químicas são adequadas ao consumo humano, mas biologicamente não.

Todavia, a técnica do SODIS apresenta algumas restrições no que diz respeito ao recrescimento bacteriano e ineficiência em inativar todos os microrganismos presentes na

água. Dessa forma, a técnica mais recomendada para utilização em pequenas comunidades é a SOPAS (Pasteurização Solar da Água), que por conseguir uma temperatura superior a 75°C, inativa os microrganismos e evita o recrescimento bacteriano.

Um método que está sendo muito difundido para a obtenção da técnica SOPAS, é através da implantação de um equipamento de aquecedor solar. Os aquecedores solares são uma alternativa excelente para prover a água quente desejada, e têm muito a contribuir para a mitigação dos impactos sócio ambientais do setor elétrico brasileiro. A tecnologia apresenta amplas vantagens ambientais, econômicas e sociais por ser um sistema bastante simples e que não requer insumos além de evitar a construção de hidrelétricas e o consumo de combustíveis fósseis.

Através da implantação do aquecedor solar, consegue-se obter o aquecimento da água em condições favoráveis até 90°C. Dessa forma, o equipamento de aquecedor solar, promove a pasteurização da mesma, tornando-a potável para consumo humano e favorecendo as comunidades menos favorecidas e as propriedades rurais na melhoria da qualidade de vida através da promoção ao saneamento.

O aquecedor solar da água, além de gerar o mínimo impacto ambiental, apresenta significativas vantagens quando comparadas a utilização de garrafas PET uma vez que se consegue obter uma temperatura superior a esta técnica em uma quantidade de tempo menor, em um volume maior de água, beneficiando uma quantidade maior de pessoas.

Uma outra vantagem quando comparada ao SODIS diz respeito à condição climática. Mesmo em dias em que a temperatura não atingir o grau desejado, ou seja, em dias com baixo índice de radiação solar, é possível promover o aquecimento da água e a sua conseqüente pasteurização através do auxílio de um apoio elétrico ou a gás de baixo custo, mantendo a água na temperatura desejada no reservatório térmico, o que representa um grande avanço, uma vez que promove acesso ao saneamento constante, impedindo assim o recrescimento de microrganismos patogênicos.

Face ao exposto acima e tendo em vista que o Brasil é um dos países com maior incidência de radiação solar e sendo esta energia inesgotável, limpa e gratuita, faz-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias alternativas visando potabilizar a água para as populações menos favorecidas e para as propriedades rurais, através do uso da energia solar.

Assim sendo, este método representa uma alternativa viável que poderá trazer significativa contribuição para a promoção da melhoria da qualidade de vida dessas populações, levando-se em conta que o emprego do uso convencional de tratamento da água implica em grandes investimentos.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência do método de pasteurização solar da água (SOPAS) na inativação da bactéria *Escherichia coli* na água para consumo humano de comunidades rurais, utilizando como insumos três aquecedores solares da água, sendo um deles o aquecedor solar comercial (doador por uma empresa especializada do ramo) e dois conhecidos como aquecedor solar de baixo custo (ASBC), construído com garrafa tipo PET e caixas de leite longa vida, e o outro construído com placa de PVC.

2.2 Objetivos Específicos

- Realização do estudo de viabilidade para o desenvolvimento da SOPAS através da aplicação de ferramentas metodológicas específicas (QFD, benchmarking, check list, entrevistas e levantamento fotográfico, trabalho de campo/pesquisa de campo em comunidades rurais).

- Determinar parâmetros para desinfecção solar da água para consumo humano como temperatura e tempos adequados para inativação de bactérias do grupo coliformes e heterotróficas.

3.0 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Importância da qualidade da água para consumo humano

Em pleno século 21, as populações de países em desenvolvimento ainda enfrentam sérios problemas com a alta incidência de doenças relacionadas com a falta de saneamento básico, sobretudo as camadas menos favorecidas em educação, tecnologia e recursos financeiros.

Estes locais, por não possuírem sistemas de esgoto e drenagem adequados, despejam uma elevada carga de poluição em corpos d'água, responsáveis pela água de abastecimento para consumo humano, consumo este realizado na maioria das vezes sem passar por nenhuma etapa de tratamento ou purificação prévios. Como consequência inevitável ocorre o fechamento do ciclo de vida de patógenos, onde o homem ingere uma água que está contaminada, contamina-se, e, depois, com seus dejetos, contamina a água. Este ciclo ocorre com as principais doenças relacionadas com a água, como cólera, febre tifóide, disenteria bacilar, giardíase, salmonelose, e poliomielite.

Segundo dados da OMS (Organização Mundial de Saúde), (2008), cerca de 1,1 bilhões de pessoas no mundo não dispõem de formas melhoradas de acesso à água e 2,4 bilhões de pessoas não têm acesso a qualquer tipo de equipamentos para promoção do saneamento. Cerca de dois milhões de pessoas morrem todos os anos devido a doenças diarréicas causadas por água contaminada. Destes, a maioria são crianças com menos de cinco anos de idade.

Denomina-se doenças de veiculação hídrica moléstias relacionadas à água no qual o agente patogênico é ingerido junto com a água. De acordo com EAWAG/SANDEC, (2005), as bactérias *Vibrio cholerae*, *Shigella* *Salmonella*, bem como diferentes cepas de *Escherichia coli*, são os patogênicos mais importantes transmitidos pela água, podendo causar enfermidades graves e podem levar a morte se não tratadas.

A tabela 1 apresenta distintas características dos principais microorganismos patogênicos.

Tabela 1: Principais microorganismos relacionados a doenças de veiculação hídrica

| Organismos | Principais doenças | Quantidade excretada por indivíduo infectado/g/fezes | Máxima sobrevivência na água (dias) | Dose infectante ^a |
|---|--|--|-------------------------------------|----------------------------------|
| <i>Escherichia coli</i> | Gastroenterite | 10 ⁸ | 90 | 10 ² -10 ⁹ |
| <i>Salmonella typhi</i> | Febre tifóide | 10 ⁶ | – | – |
| <i>Vibrio cholerae</i> | Cólera | 10 ⁶ | 30 | 10 ⁸ |
| <i>Salmonella</i> | Salmonelose | 10 ⁶ | 60-90 | 10 ⁶ -10 ⁷ |
| <i>Cryptosporidium</i> | Criptosporidiose | 10 ² | – | 1-30 ^c |
| <i>Entamoeba histolytica</i> | Disenteria amebiana | 10 ⁷ | 25 | 10-100 |
| <i>Giardia lamblia</i> | Giardiase | 10 ⁵ | 25 | 1-10 |
| Adenovírus (31 tipos) | Doenças respiratórias | 10 ⁶ | – | – |
| Enterovírus (71 tipos) (polio, echo, coxsackie) | Gastroenterite, anomalias no coração, meningite etc. | 10 ⁷ | 90 | 1-72 |
| Hepatite A | Hepatite infecciosa | 10 ⁶ | 5-27 | 1-10 |
| Rotavírus | Gastroenterite | 10 ⁶ | 5-27 | 1-10 |
| <i>Ascaris lumbricoides</i> ^b | Ascariíase | 10-10 ⁴ | 365 | 2-5 |
| <i>Taenia solium</i> (solitária) | Cisticercose | 10 ³ | 270 | 1 |
| <i>Shistosoma mansoni</i> | Esquistossomose | – | – | – |

^a Dose infectante que provoca sintomas clínicos em 50% dos indivíduos testados.

^b Modo de infecção: ingestão de ovos infectados, em água ou solo contaminado por fezes humanas ou ingestão de produtos crus contaminados.

^c Variável com o estado de saúde do indivíduo.

Fonte: Organizado por Dias (2001) adaptado de Geldreich (1978), Kowal, (1982) e Pros (1987) apud PROSAB, 2001.

Segundo Daniel *et al* (2001) , o maior impacto da degradação da qualidade das águas sobre a saúde pública ocorre através da ingestão de água contaminada. Esta degradação pode ser resultante do lançamento de diversos tipos de águas residuárias, porém os despejos de

origem humana e animal são os que mais fortemente contribuem com agentes de doenças relacionadas com a água.

Estima-se que 80% das doenças e mais de um terço das disfunções ocorridas nos países da América Latina estão associadas com a água contaminada, e que nada menos do que um décimo do tempo produtivo de um indivíduo é perdido como consequência dessas doenças. Assim, a contribuição da disponibilidade de água de boa qualidade à melhoria da saúde humana pode ser observada diretamente na redução de consultas médicas em postos de saúde. Os maiores benefícios da água segura são: a melhoria da qualidade de vida, incremento do setor produtivo, um maior aproveitamento escolar e conseqüentemente o aumento da expectativa de vida (PHILIPPI Jr. 2005).

No Brasil, os padrões de potabilidade e os procedimentos relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano foram estabelecidos na Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004 (Brasil, 2004).

3.2 Bactérias Heterotróficas , Coliformes Fecais e Totais

3.2.1 Coliformes Fecais

Os coliformes podem proceder de águas organicamente enriquecidas, por ex., de efluentes industriais, ou de matérias vegetais e solos em decomposição. Para que os organismos coliformes voltem a se desenvolver no sistema de distribuição, é necessário nutrientes bacterianos em quantidade suficiente ou que materiais inadequados entrem em contato com a água tratada e que não exista nela cloro residual em estado livre.

Silva, 2004, estudou o recrescimento bacteriano de *E. Coli*. Neste estudo, suas amostras dos ensaios com tempo de exposição de 1 e 2 horas ao tratamento térmico associado a radiação, não tiveram a inativação total das amostras e apresentaram, 24 horas após o fim do SODIS, valores de concentração de coliformes totais e *E.Coli* tanto superiores ($N/N_0 > 1$) como inferiores ($N/N_0 < 1$) àqueles apresentados no momento final do SODIS, indicando que pode ocorrer um recrescimento significativo de microrganismos após o processo SODIS, se o tempo de exposição e a temperatura não forem adequadas.

As concentrações de coliformes termorresistentes estão, na maior parte dos casos, em relação direta com as de *E. coli*. Por isso, sua utilização para avaliar a qualidade da água se

considera aceitável nos exames sistemáticos. Ao interpretar os dados, devem estar sempre presentes as limitações no que concerne à especificidade. Como os organismos coliformes termorresistentes são detectados com facilidade, podem desempenhar uma importante função secundária como indicadores da eficácia dos processos de tratamento da água para eliminar as bactérias fecais.

3.2.2 Coliformes Totais

A presença de bactérias do grupo coliforme em água potável tem sido vista como um indicador de contaminação fecal relacionado ao tratamento inadequado ou inabilidade de manter o desinfetante residual na água distribuída (LeChevallier *et al*, 1996).

Pertencem a este grupo predominantemente, bactérias dos gêneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*. Destas, apenas a *Escherichia coli* tem como habitat primário o trato intestinal do homem e animais. Os demais - *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella* – além de serem encontrados nas fezes, também estão presentes em outros ambientes como vegetais e solo, onde persistem por tempo superior ao de bactérias patogênicas de origem intestinal como

Salmonella e *Shigella*. Conseqüentemente, a presença de coliformes totais no alimento não indica, necessariamente, contaminação fecal recente ou ocorrência de enteropatógenos (FRANCO; LANDGRAF, 2003).

A presença dessas bactérias na água é um indicativo de que nenhum tratamento foi realizado nesta ou o tratamento realizado não foi eficaz para promoção da inativação desse grupo de bactérias. Assim, faz-se necessário a implantação de sistemas alternativos para o tratamento de água principalmente em comunidades carentes e rurais, de modo a inativar esse grupo de bactérias como forma de melhoria da qualidade de vida da população e da preservação dos recursos hídricos para as presentes e futuras gerações.

3.2.3 Bactérias Heterotróficas

São bactérias que requerem um ou mais compostos orgânicos que não o dióxido de carbono para a síntese de seu protoplasto. São utilizadas para se estimar a população de bactérias heterotróficas aeróbias e anaeróbias facultativas presentes na água, que tem a capacidade de se desenvolver nas condições de nutrição, temperatura e tempo de incubação definidas.

São consideradas sentinelas terciárias da qualidade microbiológica, e um aumento acentuado em seu número na água potável pode indicar uma deterioração da qualidade da água. As espécies encontradas neste grupo não são definidas, a descrição delas é baseada nas características grosseiras de crescimento. Não existem normas regulamentares para o número de contagem de bactérias heterotróficas na água potável porque números altos não são considerados risco para a saúde.

Entretanto, de acordo com a portaria nº 518/2004, alertam que altos índices destes organismos podem interferir nos métodos de enumeração dos coliformes, seja através da fermentação em tubos múltiplos ou pela técnica da membrana filtrante. Esta influência inibidora de alguns organismos presentes em alta densidade na flora bacteriana da água pode impedir a detecção dos coliformes, seja devido à produção de fatores de inibição, seja mais intenso destes organismos, sobrepujando uma menor população de coliformes. Sabe-se que contagens de bactérias heterotróficas até 500 UFC / mL, a frequência na detecção de coliformes aumenta, mas se esta população atinge níveis acima de 1000 UFC / mL esta frequência diminui.

3.3 Métodos de desinfecção da água usualmente utilizados

3.3.1 Cloração

O desinfetante químico mais comumente utilizado para a obtenção de água potável é o cloro (Cl_2). A cloração é uma alternativa bastante eficiente para a desinfecção de águas, além de ser residual, proporcionando a eliminação de microrganismo mesmo após a aplicação. No entanto, quando é levado à pequenas comunidades, geralmente não há um treinamento

específico sobre a importância do produto quanto a dosagem. Além disso, existem causadores de doenças como os cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporium* que são resistentes a cloração (CARDOSO, *et al*, 2003).

O cloro tem sido empregado como desinfetante primário na maioria das estações que trata água superficial e subterrânea. Existem outros desinfetantes químicos considerados alternativos destacando-se o hipoclorito de sódio ou de cálcio, o ozônio, o dióxido de cloro entre outros (PROSAB, 2001).

3.3.2 Ozônio

A desinfecção por ozônio é um método eficiente para inativar os microorganismos presentes na água. Ele se diferencia de outros métodos devido ao seu mecanismo de destruição dos microorganismos. Quando é efetuado o processo de desinfecção por cloração este atua por difusão através da parede celular, e em seguida no interior da célula, atuando de forma negativa nas enzimas, proteínas, DNA e RNA. Já o ozônio, devido a sua ação oxidante mais efetiva, promove a ruptura direta da parede celular, demandando menor tempo de contato e tornando impossível sua reativação.

3.3.3 Radiação UV

A radiação UV insere-se no rol dos processos físicos de desinfecção de águas de abastecimento, dos quais fazem parte também a fervura e as radiações gama e solar. No emprego de agentes físicos, na ação do desinfetante prepondera a interferência na biossíntese e reprodução celular, como consequência dos danos fotoquímicos causados a seus ácidos nucleicos. O ácido desoxirribonucleico (DNA) é o responsável pelo controle das funções e pela reprodução das células. Cada gene do DNA controla a formação do ácido ribonucleico (RNA), responsável pela formação de enzimas específicas e de proteínas estruturais. Alex *et al* 2002.

3.3.4 Fervura

A fervura é um método de desinfecção que também insere-se no rol dos processos físicos de desinfecção de águas. É uma técnica amplamente divulgada e conhecida para promover a inativação dos microorganismos. Segundo Silva 2007, a fervura deve ser feita durante 15 minutos, para assegurar o aquecimento total do líquido e o extermínio dos microorganismos. Como durante o aquecimento há liberação de gases dissolvidos, tornando a água desagradável ao paladar, recomenda-se o seu arejamento, passando-a de uma vasilha limpa para outra. Todavia, esta apresenta um custo com insumos como gás ou madeira muito elevado o que inviabiliza esse processo nas comunidades carentes.

A tabela 2 apresenta os principais lista de desinfetantes utilizados para potabilização de água.

| Organismos-alvo | Com tratamento convencional | Sem tratamento |
|------------------------------------|--|--|
| Grupo coliformes | Cloro e hipocloritos Cloraminas Dióxido de cloro Ozônio UV Desinfecção interativa | Cloro e hipocloritos Dióxido de cloro Desinfecção interativa |
| Cistos de <i>Giardia</i> | Cloro e hipocloritos Cloraminas Dióxido de cloro Desinfecção interativa | Cloro e hipocloritos Dióxido de cloro Desinfecção interativa |
| Vírus | Cloro e hipocloritos Cloraminas Dióxido de cloro UV Ozônio Desinfecção interativa | Cloro e hipocloritos Dióxido de cloro UV Desinfecção interativa |
| Oocistos de <i>Cryptosporidium</i> | Dióxido de cloro Ozônio Desinfecção interativa | Dióxido de cloro Desinfecção interativa |

Tabela 2: Desinfetantes utilizados para potabilizar água. Fonte: PROSAB, 2001.

Os métodos citados são uma excelente alternativa para a potabilizar água porém sua utilização em comunidades carentes e rurais se mostra inviável devido a mão de obra especializada necessária e custo de operação e instalação.

Assim, buscando promover água potável para as comunidades os países em desenvolvimento buscam desenvolver projetos alternativos e de baixo custo para o tratamento de água.

3.4 Métodos alternativos de desinfecção da água por energia solar: SODIS e SOPAS

O Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região inter-tropical, possui grande potencial de energia solar durante todo ano. C. Tiba *et al*,2000.

De acordo com Aldabó (2002) a energia solar é uma fonte de energia infinita e a menos poluente conhecida até o momento. Disponível para a humanidade desde o surgimento da vida na Terra, a energia solar nunca foi aproveitada de forma tão eficiente quanto às outras formas de energia. Considerando que todas as outras fontes de energia renováveis apresentam alguma desvantagem.

Assim, a energia solar se mostra uma boa alternativa para promoção da desinfecção da água. Destaca-se duas técnicas de desinfecção da água através da energia solar: o SODIS (Desinfecção Solar) e a SOPAS (Pasteurização Solar). O SODIS, consiste na associação entre a radiação solar e o aumento da temperatura da água para a promoção da inativação de microorganismos. Já no SOPAS, há somente o aumento da temperatura da água para a promoção da inativação de microorganismos. Abaixo são apresentados a descrição de cada método, com suas vantagens e desvantagens de cada um. A seguir, estão detalhadas cada uma dessas alternativas.

3.4.1 SODIS

O Sistema SODIS consiste na utilização de garrafa tipo PET de 2 litros transparente que fica exposta ao sol por um período de aproximadamente 6 horas. A associação entre o aumento da temperatura da água com a exposição a radiação solar promovem na maioria dos

casos a inativação de microorganismos presentes na água para consumo humano. A figura 1 demonstra todas as etapas de funcionamento do sistema SODIS.



Figura 1 : Etapas da técnica SODIS. (SODIS, 2011)

O SODIS é uma alternativa técnica e economicamente viável para o tratamento de água em pequenas quantidades tendo como referência de custo US\$3,00 por ano para uma residência de 5 pessoas utilizando garrafas PET, e também não necessita dosagem de produtos químicos. Essas características fazem com que o sistema tenha aceitação de 84% dos usuários de países em desenvolvimento, como Colômbia, Bolívia, Indonésia, Tailândia e China (WEGELIN *et al*, 1994 e DANIEL *et al*, 2001).

Todavia, segundo estudo realizado por Paterniani e Silva 2005, a desinfecção da água pela técnica SODIS utilizando garrafas do tipo PET como insumo, apresentam algumas restrições. Neste estudo, comprovou-se que após 24 horas da exposição ao sol, encontrou-se valores de concentração de coliformes totais e *Escherichia coli* tanto superiores como inferiores àqueles apresentados no momento final do SODIS, indicando que existe a possibilidade de ocorrer um recrescimento de microrganismos após o processo SODIS utilizando a garrafa PET como insumo. Este estudo indica que o recrescimento bacteriano depende significativamente da temperatura que a água alcançou durante a desinfecção.

Costa *et al* 2007 estudaram a eficiência da utilização de garrafa PET para potabilizar a água de um lago em Natal-RN. As garrafas ficaram expostas à radiação solar por 7 horas visando promover sua desinfecção. Após a realização de exames microbiológicos constatou-se que, a radiação ultravioleta atuando isoladamente na garrafa PET foi incapaz de desinfetar plenamente as amostras de água coletada. Assim sendo, a técnica SODIS aplicada visando potabilizar a água desse lago, mostrou-se um método insuficiente para tratá-la para consumo humano, necessitando de outro tratamento auxiliar ao processo.

Rodrigues *et al* 2010 estudaram o quanto a temperatura influencia na desinfecção da água. Para tanto utilizou-se garrafas tipo PET de diferentes colorações: incolor, verde e azul em um concentrador solar para potencializar o aquecimento da água. Os resultados demonstraram qual coloração das garrafas é a que apresenta a maior eficiência tanto térmica quanto de desinfecção e conseqüentemente a mais indicada a ser utilizada pelo método SODIS. A garrafa que apresentou a maior temperatura foi a de coloração verde que apresentou uma diferença de temperatura em relação as outras de aproximadamente 7 °C, demonstrando que é muito mais eficiente quando comparada com as transparentes usualmente utilizadas. Este estudo demonstra que o aumento da temperatura é o que mais influencia na desinfecção da água.

3.4.2 SOPAS

A pasteurização solar da água (SOPAS) utiliza-se apenas do aumento da temperatura como forma de inativação dos microorganismos presentes na água para consumo humano. Este método vem sendo muito utilizado como forma de promover a inativação de microorganismos presentes na água para consumo humano em comunidades carentes e rurais uma vez que sua temperatura varia entre 60 °C a 70°C e com isso, inativa os microorganismos. Sua principal vantagem em relação ao sistema SODIS, é que a inativação de microorganismos é efetiva, não havendo recrescimento bacteriano após a pasteurização.

A pasteurização é um tratamento térmico que elimina os microorganismos termossensíveis (todos os patogênicos e outros não esporulados). A temperatura não ultrapassa 100°C, podendo este aquecimento ser produzido por vapor, água quente, radiações ionizantes, calor seco, microondas, etc.

Diversos estudos tem sido realizados mundialmente como forma de comprovar a eficiência do método de desinfecção da água através da pasteurização solar da água para consumo humano.

Solsona e Mendéz (2002) afirmam que a desinfecção solar é alcançada somente com o processo de pasteurização, ou seja, apenas pelo aumento da temperatura da água. Essa pasteurização consiste na exposição da água durante um certo intervalo de tempo à temperatura elevada (70°C) a fim de destruir os microrganismos. Segundo este estudo, as bactérias, em geral, podem suportar temperaturas até 60°C.

Y.Jamil *et al* 2009 estudou o potencial da utilização da energia solar para desinfecção da água na área rural de Paquistão. Para tanto, utilizou uma caixa solar tipo pasteurizador com capacidade para três litros. Essa caixa mantinha a temperatura da água ao entorno de 60° a 70° C por mais de uma hora desativando bactéria do grupo coliforme.

Félix *et al* 2009 estudou o uso da energia solar para desinfecção da água em uma comunidade no nordeste do Brasil, através do SODIS. A água foi coletada em um poço artesiano, e três experimentos foram realizados para avaliar os parâmetros que afetam a eficiência de desinfecção. Foi analisado a influência da radiação solar, da concentração de oxigênio, e da temperatura. O que apresentou a melhor cinética de desinfecção o aumento da temperatura promovendo a pasteurização solar. Os resultados demonstram que a eficiência de inativação foi de 100%.

Salih 2003, desenvolveu um modelo que facilita a previsão da desinfecção solar, analisando o efeito da exposição à luz solar e da carga de contaminação bacteriana, como variáveis preditoras, sobre a eficiência da desinfecção energia solar. Para tanto, ele selecionou números médios de E.Coli, e foram introduzidas em placas de poliestireno e expostos a luz solar. Os dados mostraram que a desinfecção é dependente tanto da carga de contaminação bacteriana e exposição a luz solar. Com isso, determinou-se uma análise estatística entre variáveis e determinou-se a exposição necessária para um determinado nível de descontaminação.

Caslake *et al* 2004 mediu a inativação bacteriana do grupo E. Coli em duas estações de tratamento de água através de uma unidade de radiação solar com um volume de 1 L sendo a turbidez de 0,09 a 0,32. Em aproximadamente 40 min, os coliformes encontrados foram

reduzidos para 2 ordens de magnitude. Quando a unidade tinha uma vazão de 0,4 l/s a uma temperatura de 55°C ela inativou 99% da contaminação bacteriana em 44 min.

Sommer *et al* 1997 estudou a aplicação do SODIS através de um equipamento em fluxo contínuo. Nessa pesquisa, identificou-se que quando a água atingia a temperatura de 50° C, foi mais eficiente. A média de radiação solar utilizada foi de 54 Wh/m² por um período de 140 min e o equipamento produziu em torno de 100 L de água potável por m² de coletor solar por dia.

Metcalf, 2005 estabeleceu parâmetros microbiológicos da pasteurização solar da água. Estes testes foram realizados na Tanzânia e Kenia. Um fogão solar foi utilizado para promover a pasteurização sendo a temperatura 65 °C a indicada para promover a pasteurização. Os resultados foram obtidos com o auxílio do WAPI (Indicador de Pasteurização da Água) . O WAPI pode ajudar na implantação dessa técnica simples, segura e com baixo custo. Após a implantação do sistema de pasteurização, notou-se uma redução dos casos de diarreia provenientes da água contaminada.

Dessa forma, a utilização de um equipamento de aquecedor solar da água para promoção da pasteurização da mesma, se mostra uma alternativa viável para promover a inativação dos microorganismos presentes na água para consumo humano de comunidades rurais e carentes, uma vez que seu custo de operação e manutenção são baixos e possui um grande volume no reservatório térmico beneficiando uma grande quantidade de pessoas quanto ao acesso a água tratada diariamente.

3.5 Aquecedor Solar da água

O aquecedor solar da água, consiste em um sistema para aquecimento desta através da energia solar. É composto por reservatório térmico e placas coletoras, projetado para aproveitar a máxima energia solar. O funcionamento de um aquecedor solar é baseado no sistema de termossifão, utilizando a força da gravidade no transporte da água aquecida. A medida que a água que está nos coletores aquece, sua densidade diminui fazendo com que ela, sobre pressão da água menos aquecida da parte inferior do recipiente de água quente, suba. Esse processo contínuo eleva a temperatura da água no interior do tanque a aproximadamente 90° C. Devido ao reservatório térmico boiler do equipamento de aquecedor solar da água, é

possível manter a água a essa temperatura por um longo período o que inativa possíveis agentes patogênicos e impede o recrescimento bacteriano.

Na figura 2 é apresentado um esquema de funcionamento de um aquecedor solar da água. Este esquema foi o mesmo adotado para o desenvolvimento do projeto de pesquisa em questão pois a circulação de água faz-se por efeito de termossifão. Este fenômeno acontece devido à diferença de densidade entre a água quente que é aquecida pela radiação solar e a água fria que entra pelo depósito. Para que este efeito aconteça, é necessário que os painéis tenham uma determinada inclinação mínima e que o depósito seja instalado no seu topo. Os sistemas de termossifão não necessitam de bomba de circulação nem controlador. São sistemas econômicos, mas de menor eficiência do que os sistemas com circulação forçada.

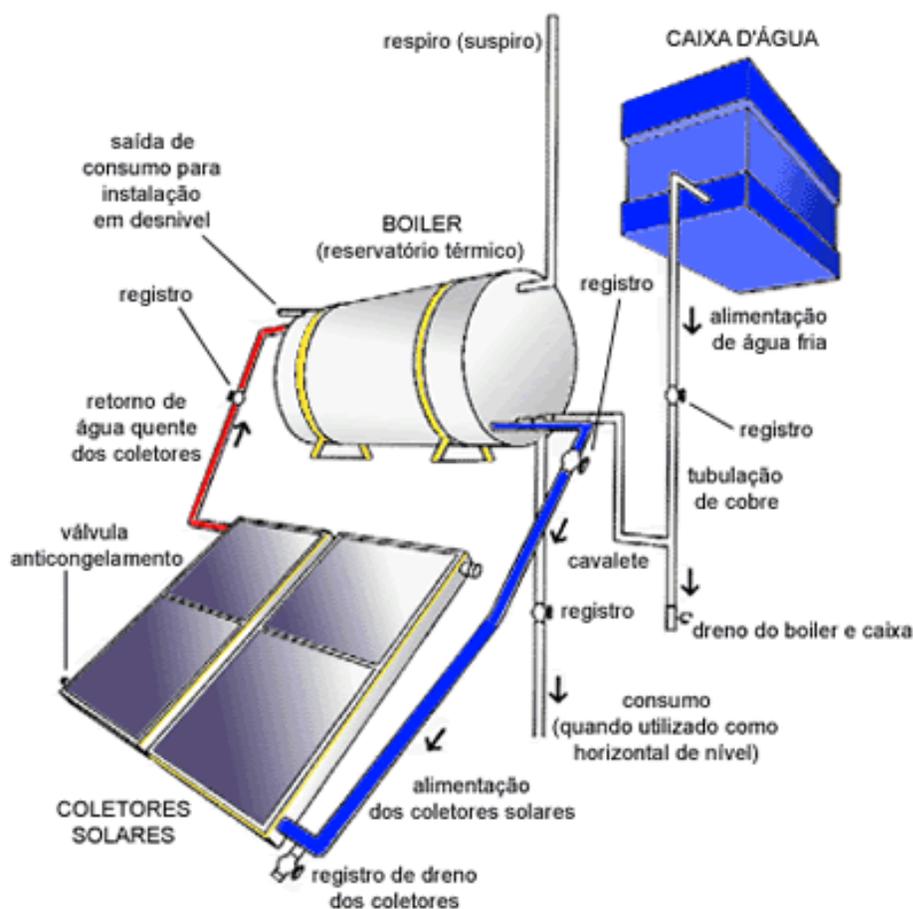


Figura 2: é Esquema de funcionamento de um aquecedor solar da água.

Fonte: Stander automação 2011.

3.6 Metodologia de Projeto

Neste trabalho é apresentado um sistema de pasteurização solar da água (SOPAS) para consumo humano, baseado em um equipamento de aquecedor solar comercial e dois de materiais alternativos. Dessa forma, o aprimoramento desta tecnologia visa, desenvolver coletores com baixo custo, alta eficiência, durabilidade e de fácil operação e manutenção. Para tanto, aplica-se ferramentas de projeto: QFD , *check list*, entrevistas e levantamento fotográfico e *benchmarking*,. Com estes procedimentos espera-se desenvolver um equipamento de fácil aceitação e de custo acessível baseado nas necessidades reais do público alvo. Abaixo são apresentadas as descrições de cada método.

3.7 QFD (Desdobramento da Função Qualidade)

De acordo com Gustafsson et al. (1999), o QFD se estabeleceu como um importante método por criar um processo de desenvolvimento de produtos e serviços focado no cliente. Para os autores, é uma forma de alcançar a qualidade de um produto ou serviço por meio das exigências do cliente, traduzindo suas necessidades e anseios em linguagem técnica.

Peixoto & Carpinetti (1998) salientam ainda que a força do QFD no desenvolvimento da matriz da qualidade é tornar as relações entre as tabelas da qualidade exigida e das características da qualidade explícitas, permitindo a harmonização e priorização das várias decisões tomadas durante o processo de desenvolvimento de um produto ou serviço.

Cheng *et al.* (1995) descrevem que o próximo passo é transformar as necessidades dos clientes, geralmente abstratas, em requisitos mensuráveis de projeto. Para executar a correlação entre as informações de mercado e as informações técnicas do produto ou serviço.

3.8 Benchmarking

Benchmarking é um processo de pesquisa, contínuo e sistemático, para avaliar produtos, serviços e métodos de trabalho, com o propósito de melhoramento organizacional, procurando a superioridade competitiva.

Assim, o benchmarking, busca uma pesquisa de campo dentre os possíveis concorrentes no ramo de equipamentos para reciclagem para analisar as características presentes, tanto as com sucesso ou que ainda necessitem de melhorias.

4.0 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira etapa, empregou-se a metodologia de projeto, realizando-se para tanto o estudo de viabilidade. Assim, obteve-se um projeto simples, seguro e inequívoco para promoção da pasteurização solar da água. Assim sendo, seguiu-se uma coleção de procedimentos, métodos e técnicas, com o objetivo de auxiliar na promoção da pasteurização da água através da utilização de 3 equipamentos de aquecedor solar da água.

Na segunda etapa, foi desenvolvida a implantação da técnica SOPAS, utilizando como insumo um equipamento de aquecedor solar comercial e dois equipamentos de baixo custo.

A seguir é apresentada a descrição detalhada das etapas que foram desenvolvidas neste projeto de pesquisa.

4.1 - 1ª parte: Desenvolvimento da metodologia do Projeto

Tendo em vista que, para o desenvolvimento desta pesquisa será necessária a utilização de equipamentos de aquecedor solar como insumo para promover o aquecimento da água, fez-se necessário o aprimoramento desta tecnologia visando: propor o desenvolvimento de coletores com baixo custo, alta eficiência, durabilidade, de fácil operação e manutenção. Para tanto, na primeira etapa do projeto, foi aplicado o estudo de viabilidade com o intuito de elaborar soluções úteis para o desenvolvimento da pasteurização solar da água.

Dentro desta etapa está a fase de concepção de um conjunto de soluções úteis para o mesmo. As ferramentas utilizadas para tal foram, QFD (Quality Function Deployment), sendo que dentro deste realizou check list, entrevistas e levantamento fotográfico e benchmarking. Segue o detalhamento das etapas realizadas em cada ferramenta:

4.1.1 QFD (Quality Function Deployment)

Segundo Gustafsson et al. 1999, o QFD se estabeleceu como um importante método por criar um processo de desenvolvimento de produtos e serviços focado no cliente. Para os autores, é uma forma de alcançar a qualidade de um produto ou serviço por meio das exigências do cliente, traduzindo suas necessidades e anseios em linguagem técnica.

Dessa forma, deve-se construir uma matriz da qualidade que irá viabilizar, de forma bastante eficaz, a sistematização das qualidades verdadeiras exigidas pelos clientes, por meio de expressões lingüísticas, mostrando a correlação entre essas expressões e as características da qualidade.

Para se construir a matriz qualidade nesse estudo, seguiu-se duas etapas como:

4.1.2 - Primeira Etapa: A voz do cliente

A voz do cliente é definida como a identificação eficaz do cliente, ou seja quem adquirirá o equipamento de aquecedor solar da água que consiga promover a SOPAS.

Definiu-se que os clientes são as populações carentes e de propriedades rurais, sem acesso a nenhuma forma de tratamento de água, tendo em vista o grande número de mortes anuais mundialmente divulgadas pela falta ao acesso a água tratada.

Definidos os clientes, o próximo passo foi obter a voz do cliente, ou seja, definir as suas necessidades reais do público alvo quanto ao acesso ao tratamento de água para consumo humano.

Para tanto, realizou-se um trabalho de campo para levantamento de informações por intermédio de pessoas que residam em propriedades rurais com o propósito de captar quais as principais dificuldades enfrentadas por essas pessoas devido à falta de acesso a água potável.

Para o levantamento das informações de campo pertinentes ao projeto, foram visitadas três comunidades rurais sendo estas localizadas no estados de Minas Gerais. Este local foi selecionado devido conhecimento prévio da situação dessas comunidades em relação a água para consumo humano. Assim, foi possível identificar as dificuldades existentes entre essas comunidades para ter acesso à água tratada.

Com isso, realizou-se os seguintes procedimentos:

- ✓ Elaboração de um *check list* e entrevista com essa população, contendo as perguntas mais pertinentes para o desenvolvimento do projeto de pesquisa; O *check list*, será apresentado na página 39.
- ✓ Levantamento da renda média dessa população visando desenvolver um equipamento com custo acessível a essa população;
- ✓ Levantamento fotográfico dos locais onde essas pessoas residem e das formas individuais que cada família possui para ter acesso à água para seu consumo;

4.1.3- Segunda Etapa: Estabelecimento da qualidade planejada

O estabelecimento da qualidade planejada consiste em propor um equipamento com o custo acessível a essa população, todavia que seja capaz de promover a desinfecção da água. Assim, foi possível auxiliar na proposta de desenvolvimento de um equipamento de aquecedor solar da água que pudesse incorporar as reais necessidades do público alvo. Para tanto, uma matriz foi criada, de modo a ter o desdobramento de todos os desejos do público alvo, transformando-os em especificações técnicas para o desenvolvimento do equipamento de aquecedor solar da água. Essa matriz serviu de apoio pois a matriz gerada, foi uma importante fonte de informações para a execução de todo o projeto.

4.1.4 *Benchmarking*

Uma outra ferramenta que contribuiu para o desenvolvimento desse projeto de pesquisa foi o “*benchmarking*”, que consistiu na realização de uma pesquisa de campo entre todas as alternativas de equipamentos utilizadas atualmente para promover o aquecimento da água através da energia solar. Através dessa ferramenta, foi possível verificar os pontos positivos e negativos de cada equipamento existente e, dessa forma, averiguar quais aspectos deveriam ser mantidos e quais necessitavam ser melhorados. É importante ressaltar que outras ferramentas de metodologia de projeto serão utilizadas para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa, porém, essas ferramentas somente poderão ser definidas no desenvolvimento do projeto em questão.

4.2 - 2ª parte: Construção e Instalação dos aquecedores solar da água como insumo para a desinfecção da água pelo método SOPAS

4.2.1 Área de Estudo e Coleta de amostras

O estudo foi realizado na região metropolitana de Campinas, localizado no interior do estado de São Paulo sendo sua distância de 90 quilômetros da capital.

Apesar dos trabalhos de campo para levantamento das informações das comunidades rurais terem sido realizados no estado de Minas Gerais, o desenvolvimento do projeto foi realizado na cidade de Campinas devido a estrutura para realização tanto da parte de campo, na instalação dos equipamentos quanto das análises bacteriológicas. O município de Campinas também, possui de médio a alto índice de radiação solar variando de 233052 a 236201 kJ/m², ideal para estudos referentes a energia solar.

O projeto de pesquisa foi realizado no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp - FEAGRI, localizado no distrito de Barão Geraldo, Campinas-SP, cuja posição geográfica corresponde às coordenadas de 22° 49' 9.55" S e 47° 3' 36,7" O, com altitude de 876 m.

As instalações do sistema e a coleta das amostras de água foram realizadas diretamente de um lago artificial utilizado para irrigação existente no campo experimental. As análises microbiológicas encontraram valores médios de coliformes totais de $11,25 \times 10^3$ NMP x 100 mL⁻¹ e $13,15 \times 10^2$ NMP x 100 mL⁻¹ *Escherichia coli* e 3000 UFC/mL para heterotróficas. A presença dessas bactérias na água representa um indicativo da necessidade de desinfecção da água de acordo com a portaria nº 518 do ministério da saúde.

A figura 3 apresenta a distribuição espacial da radiação solar em Campinas referente ao segundo decênio do mês de setembro de 2009 sendo a estação do ano correspondente ao inverno. Na figura, encontra-se demarcado o local onde o estudo foi realizado. Nota-se que o índice de radiação era elevado no local do experimento, mostrando o potencial da utilização da energia solar para aquecimento da água na região de estudo.

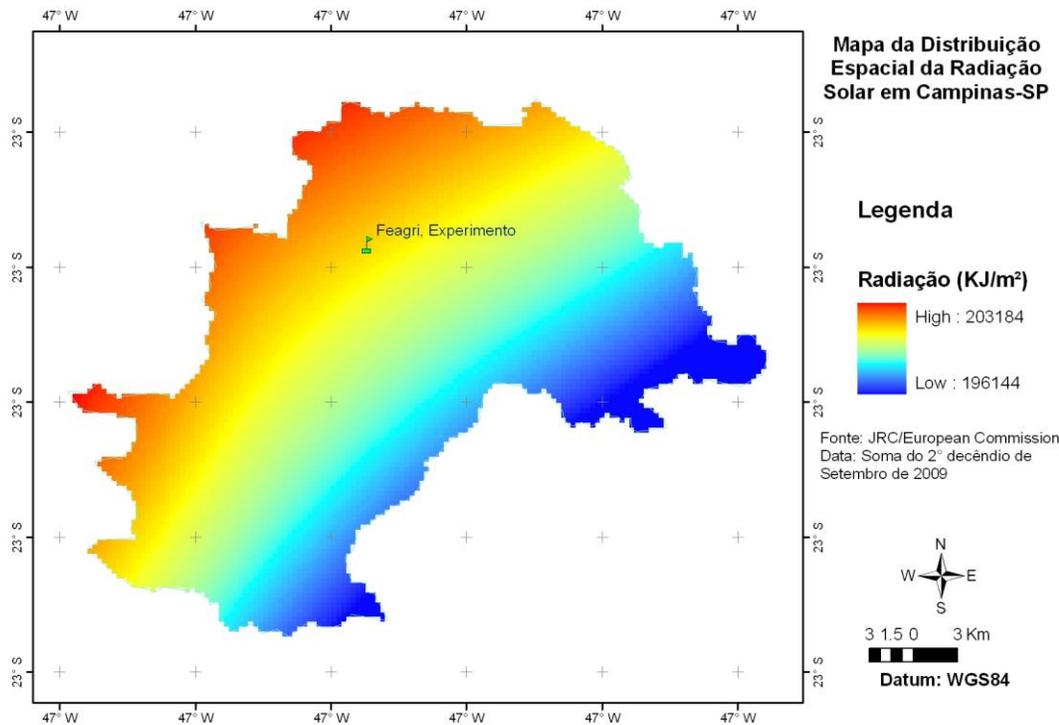


Figura 3: Distribuição espacial da radiação solar em Campinas

4.2.2 Mapeamento da Distribuição Espacial da radiação Solar em Campinas-SP, eficiência Energética e durabilidade de cada equipamento

O mapeamento da distribuição Espacial da radiação Solar em Campinas- SP foi desenvolvida pelo laboratório de Geoprocessamento da Faculdade de Engenharia Agrícola-Feagri . Para tanto, utilizou-se o software ArcGIS 9.3® baseado em SIG (Sistema de Informações Geográficas) gerando-se assim toda a análise e processamento dos dados de radiação solar e finalizando com os seus respectivos mapas finais por período de coleta. Os mapas referentes ao mapeamento do ano de 2009 encontram-se no ANEXO I. Já os mapas referentes ao ano de 2010, encontram-se no anexo II. Os dados utilizados no desenvolvimento do mapeamento citado foram obtidos via web, na base de dados da *European Commission/Joint Research Centre/MARS*. Esses dados foram obtidos durante todo o desenvolvimento do projeto de pesquisa, ou seja de março de 2009 há dezembro de 2010.

O mapeamento da distribuição espacial da radiação solar no Brasil, permitiu correlacionar os resultados obtidos na inativação de bactérias para cada equipamento utilizado com a radiação solar de cada região brasileira.

Todos os equipamentos foram avaliados em termos de eficiência energética e durabilidade durante o período de um ano. Para tanto verificou-se a temperatura obtida de cada equipamento durante o período de amostragem, ou seja, das 8 horas da manhã às 16 horas da tarde. Esses dados eram coletados periodicamente. Verificou-se também se havia qualquer indicio de danos causados nos equipamentos pela exposição ao tempo. Todas as informações obtidas foram analisadas comparando-se os 3 equipamentos. A eficiência térmica de cada equipamento foi correlacionada com a radiação solar local e depois com a obtida em cada região brasileira. Com isso, propôs-se modificações nos equipamentos utilizados de modo a se obter um equipamento mais eficiente, com maior durabilidade e com um custo menor de acordo com cada região brasileira.

É importante ressaltar que mesmo as regiões com menores índices de radiação solar, apresentaram grande potencial de aproveitamento da energia solar com o propósito de aquecimento da água. Porém faz-se necessário observar que regiões mais quentes necessitam de um equipamento com um número de placas menor, enquanto regiões mais frias necessitam de um equipamento com número de placas maior de modo que a eficiência em termos de aquecimento da água como para inativação de bactérias seja constante, independente da região onde for instalado.

4.2.3 Desenvolvimento e Implantação da técnica SOPAS

Para a implantação e desenvolvimento da técnica SOPAS, utilizou-se como insumo um equipamento de aquecedor solar comercial (doador por uma empresa especializada no ramo) e outros dois equipamentos conhecidos como Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC) sendo um deles construído com garrafa PET e caixa de leite longa vida e o outro construído com placa de forro de PVC. Os equipamento de aquecedor solar construído com garrafa PET e caixa de leite longa vida e o de placa de forro de PVC foram construídos no laboratório de hidráulica e irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp-FEAGRI.

Todos os equipamentos citados foram instalados através de uma estrutura em ferro cantoneira, obedecendo às normas técnicas para seu perfeito funcionamento, ou seja:

- ✓ Coletor solar inclinado para o norte geográfico a 20 graus para o leste;
- ✓ Inclinação do coletor a 35 graus da base;
- ✓ Reservatório térmico com altura mínima de 30 cm em relação à cabeceira da placa.

Os equipamentos foram instalados utilizando-se um volume fixo para o reservatório térmico, ou seja 80 litros. Os equipamentos de baixo custo possuíam um reservatório da água conforme descrito em literatura, ou seja, constituído de caixa de água tradicionalmente utilizadas em residência com volume de 100 litros, todavia adaptados para trabalhar com um volume constante de 80 litros.

Utilizou-se um sistema de bombeamento de água para transferir a água contida no tanque para abastecimento dos reservatórios. Essa água era transferida para duas caixas de água antes de ser transferidas para o tratamento. Uma caixa de 310 litros era utilizada para distribuição para os aquecedores de baixo custo enquanto uma de 20 litros era utilizada para o sistema de aquecedor solar comercial.

O acionamento da bomba era feito de modo automático, utilizando-se bombas de níveis em cada caixa para desligamento das mesmas quando o nível desejado era atingido. Em todos o sistema foram utilizados registros de modo a promover o funcionamento dos demais equipamentos caso algum outro precisasse ser retirado para manutenção. Todas os dias antes do início do tratamento eram realizadas limpeza em todas as caixas tanto de água fria como quente. Na figura 4 são apresentadas os equipamentos instalados no campo experimental.



Figura 4: Equipamentos instalados para desenvolvimento da técnica SOPAS no Campo experimental

A seguir, é apresentado a descrição detalhada de cada tipo de aquecedor, solar utilizado para o desenvolvimento da técnica SOPAS.

4.2.4 Equipamento de Aquecedor Solar Comercial

Como se trata de um projeto de pesquisa piloto, o aquecedor solar comercial foi fabricado exclusivamente para desenvolvimento deste estudo. Assim, suas dimensões são diferentes dos tradicionalmente utilizados para venda. Sua placa apresenta os mesmos padrões, todavia seu reservatório térmico é menor do que existente no mercado. No período do equinócio ou em dias em que a radiação solar incidente não for suficiente para aquecer a água à temperatura desejada, utilizou-se um complemento elétrico para o aquecedor solar comercial uma vez que a eficiência deste é superior aos do de baixo custo de modo a utilizá-lo como padrão para verificação da técnica SOPAS. Este equipamento é composto por:

- ✓ 1 Reservatório térmico (boyler) de 80 litros;
- ✓ 1 Dispositivo elétrico (para testes em dias com baixa radiação solar);
- ✓ 1 Placa coletoras de 1,82m de comprimento x 0,82m de largura;
- ✓ 1 Dispositivo de indicação de temperatura da água digital;
- ✓ 1 Caixa para armazenamento da água fria utilizada para teste;
- ✓ 1 Suporte de ferro para sustentação do equipamento;
- ✓ Tubos de cobre para montagem do equipamento e
- ✓ Isolamentos térmicos

A figura 5 apresenta o equipamento comercial utilizado para o projeto de pesquisa em questão.



Figura 5: Aquecedor Solar Comercial

4.2.5 Aquecedor Solar constituído de Garrafa PET e caixas de leite Longa vida

Este aquecedor foi desenvolvido em Curitiba-PR por um engenheiro com uma vasta experiência, com a finalidade de reutilizar materiais e promover água quente para o banho de populações carentes. Assim seguiu-se o manual descrito por Alano, J.A , 2008 para a construção das placas com o intuito de verificar se este conseguiria atingir a temperatura descrita em literatura para a promoção da pasteurização solar.

Esse aquecedor diferencia-se dos demais, no que tange aos materiais utilizados na sua construção e rendimento térmico. Com intuito de baixar custos, foi utilizado nas colunas de absorção térmica, tubos e conexões de PVC, menos eficiente do que os tubos de cobre ou alumínio aplicados nos coletores convencionais. As garrafas PET pós-consumo e as embalagens longa vida pós-consumo, substituem a caixa metálica, o painel de absorção térmica e o vidro utilizado nos coletores convencionais. O calor absorvido pelas embalagens longa vida pós-consumo, pintadas em preto fosco, é retido no interior das garrafas e transferido para a água através das colunas de PVC, também pintadas em preto. A caixa metálica com vidro ou as garrafas PET pós-consumo tem como função proteger o interior do coletor das interferências externas, principalmente dos ventos e oscilações da temperatura, dando origem a um ambiente próprio.

A figura 6 demonstra o equipamento de aquecedor solar da água constituído de garrafa PET e caixa de Leite Longa vida



Figura 6: Aquecedor Solar de Baixo Custo constituído de garrafa PET e Caixas de Leite Longa Vida.

4.2.6 Aquecedor Solar de Placa de PVC

Esse aquecedor foi desenvolvido pela Sociedade do Sol, localizada na Universidade de São Paulo- USP com o intuito de também promover água quente para o banho de populações carentes. Todavia neste projeto este utilizou-se como forma de verificar se a temperatura atingida por esse equipamento é suficiente para promoção da pasteurização da água. Para o desenvolvimento e construção desse aquecedor, foi utilizado o manual de fornecido pela ONG Sociedade do Sol, 2009.

A placa de PVC apresenta em sua composição chumbo, que é um metal que pode apresentar diversos efeitos negativos a saúde humana pela sua exposição.

De acordo com Goyer, R.A 1991, a toxicidade do chumbo gera desde efeitos claros, ou clínicos, até efeitos sutis, ou bioquímicos.

Nenhum estudo foi realizado para comprovar se a água havia indícios da presença de chumbo devido a composição da placa. Assim, sugere-se que sejam realizadas análises químicas para chumbo de modo a se verificar os possíveis efeitos adversos a saúde humana por esse metal, antes de propor sua utilização, seja para consumo humano da água ou para banho.

A figura 7 demonstra o Aquecedor Solar de Baixo Custo construído de placa de PVC.



Figura 7: Aquecedor Solar de Baixo Custo construído de placa de PVC.

4.2.7 Desenvolvimento do método SOPAS para desinfecção da água

A técnica utilizada para o desenvolvimento desse projeto consiste no uso da energia solar como alternativa para promoção da desinfecção de água para consumo humano, utilizando para tanto, equipamentos de aquecedor solar da água. A temperatura mínima para promover a pasteurização da água é 60° C, assim os três equipamentos foram testados tanto em termos de eficiência térmica quanto em termos de inativação bacteriológicos para verificação de qual equipamento possuiu a melhor eficiência de inativação de microorganismos.

Pela incidência da radiação solar na placa coletora, há uma troca de calor entre o coletor solar e a água fria do reservatório térmico, elevando-se portanto a temperatura da água armazenando no reservatório térmico.

A circulação da água ocorre por gravidade entre a placas e o reservatório térmico. Essa circulação entre a placa e o reservatório térmico é constante de acordo com a radiação

solar incidente na mesma, ou seja, quanto maior a radiação solar no ambiente, maior a recirculação da água na placa e, mais elevada será a temperatura da água.

Depois de aproximadamente 6 horas de exposição do equipamento de aquecedor solar a radiação solar é possível atingir a temperatura da água de aproximadamente 70° C suficiente para promover a desinfecção da água de acordo com a literatura.

Assim sendo, será possível beneficiar comunidades menos favorecidas e propriedades rurais devido ao acesso a água potável, tendo em vista todos os males que a ausência desta traz aos seres humanos.

4.2.8 Meios de cultura e quantificação dos micro-organismos

As análises bacteriológicas foram realizadas para Coliformes Totais e Fecais (*Escherichia coli*) e heterotróficas. A metodologia para identificação das bactérias está preconizada pelo “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, publicação da American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF). (APHA, AWWA and WPCF, 2005).

Assim, para a identificação de bactérias heterotróficas, utilizou-se o STANDARD METHODS AGAR (7157). Foram realizadas diluição 10^0 e 10^{-1} e as placas que obtiveram colônias entre 30 e 300 foram definidas para a contagem desse trabalho.

A Figura 8 apresenta as placas utilizadas para identificação e quantificação de bactérias heterotróficas presentes na água de estudo antes do tratamento. A diluição utilizada nesta corresponde a 10^{-1} para a temperatura de 60 ° C.

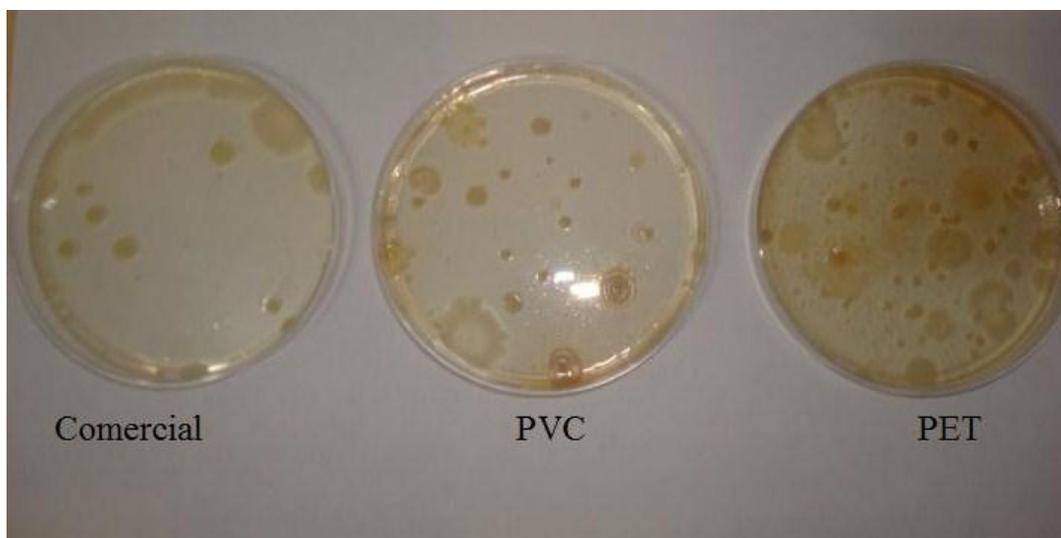


Figura 8: Placas utilizadas para identificação e quantificação de bactérias heterotróficas.

Para a realização das análises para Coliformes totais e *Escherichia coli* será empregada a metodologia substrato cromogênico, que se baseia no método de substrato cromogênico. A amostra é encubada em temperatura de $35,0^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ durante um período de 24 horas para águas doces e 18 horas para águas salgadas.

As leituras são efetuadas mediante tabela estatística com leitura de *Escherichia coli* utilizando-se radiação Ultravioleta. A Figura 9 demonstra as cartelas de colilert utilizadas para detecção de bactérias *Escherichia coli* para o equipamento de aquecedor da água de PET antes e após o tratamento. A diluição antes do tratamento era de 10^{-2} e após o tratamento 10^0 .



Figura 9: cartelas de colilert utilizadas para detecção de bactérias *Escherichia coli*.

4.2.9 Inativação de bactérias em função da temperatura

Realizou-se testes preliminares com o intuito de verificar a diluição mais adequada a ser utilizada para bactérias *Escherichia coli* e heterotróficas na água de estudo. A tabela 3 apresenta as diluições utilizadas nesse estudo para quantificação e qualificação dessas bactérias.

| | Diluição | |
|------------|-------------------------|----------------|
| | <i>Escherichia coli</i> | Heterotróficas |
| Água Bruta | 10^{-2} | 10^{-1} |
| Comercial | 10^0 | 10^0 |
| PVC | 10^{-1} | 10^0 |
| PET | 10^{-1} | 10^0 |

Tabela 3: Diluições utilizadas nesse estudo.

4.2.9.1 - 1ª Etapa: Curva de tendência de Inativação

Realizou-se um teste para verificação da cinética de inativação de bactérias *Escherichia coli* e heterotróficas em laboratório. Este teste visava definir a temperatura de

inativação dessas bactérias uma vez que em literatura havia discrepâncias e também verificar se um tempo de detenção maior a uma dada temperatura era suficiente para promover sua inativação.

Para tanto, foram coletadas assepticamente amostras contendo 1 litro da água do lago. Em laboratório 0,5 litro da amostra foi transferida para um béquer de 1 litro onde foi sujeita a aquecimento controlado. Definiu-se a temperatura inicial em 20 °C (temperatura da água coletada as 8:00 horas da manhã) e finalizando-se em 96 °C. Foram realizados dois testes de detenção diferentes: um mantendo-se a temperatura constante por um período de 15 minutos e outro mantendo-se por 30 minutos. Os acréscimos da temperatura ocorreram em intervalos de 10 °C. Assim, em cada temperatura e tempo de detenção fixado, retirou-se uma alíquota para realização das análises.

4.2.9.2 -2 ° Etapa: Inativação nos Equipamentos de Aquecedor Solar da Água

Realizou-se testes periódicos para verificação da inativação das bactérias em todos os equipamentos. Para tanto era realizada análises antes e após o tratamento. O tratamento começava as 8 horas da manhã e finalizava-se as 16 horas da tarde, ou seja 8 horas de exposição ao sol. Em dias chuvosos não foram realizados testes. A temperatura antes, durante e após o tratamento era monitorada com o auxílio de um termômetro digital.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 - 1ª parte: Desenvolvimento da metodologia do Projeto

5.1.1 QFD (Desdobramento da Função Qualidade)

Através da aplicação do desdobramento da função qualidade (QFD), a partir da realização de check list, entrevistas e levantamentos fotográficos em propriedades rurais com o propósito de desenvolver e aplicar tecnologias para promoção da desinfecção da água para consumo humano nesses locais, foi possível a elaboração de uma proposta para promover a melhoria da qualidade de vida dessa população além de verificar a situação dessa população

quanto ao acesso a água tratada para consumo humano e traçar o equipamento que mais seria adequado a ser implantado nessas áreas, principalmente quanto a custo do produto.

As visitas foram realizadas em 3 propriedades rurais, ambas com atividade econômica relacionada a plantação de café.

A propriedade 1 era a que apresentava a pior situação. Existiam aproximadamente 15 famílias nessa propriedade rural vivendo em casas cedidas pelo cafeicultor, cedidas para que eles pudessem cuidar da plantação. Nesse local, não havia nenhum sistema de saneamento. Todavia, somente uma residência foi escolhida para a realização da entrevista. Eles não possuíam acesso a formas melhoradas de saneamento.

A renda total da família que é composta de 7 pessoas é de R\$ 400,00.

A figura 10 demonstra a fachada da propriedade 1. Nota-se que há um lago no fundo da propriedade (figura 10 a), este lago é utilizado para despejo do esgoto das residências existentes no local. Neste local, residiam diversas crianças conforme apresentado na figura 10b. Nota-se que estas vivem em condições precárias, sem acesso a água de qualidade e sem calçados.





Figura 10: Propriedade 1 visitada no estado de MG. Figura 10a) fachada da propriedade; Figura 10b) Crianças que residem no local.

A propriedade 2, possui uma fossa próxima a cisterna, o que não é recomendável pois pode acarretar numa possível contaminação da água. Os animais ficam soltos pela propriedade. Nesta, há o cultivo de diversas culturas como forma de complementar a subsistência da moradora. Apesar de ser somente uma pessoa na propriedade, esta recebe a visita constante de seus 3 filhos e netos que moram na cidade. A figura 11 demonstra a fachada da propriedade 2 visitada. Nota-se que há uma cisterna na entrada da propriedade figura 11 a, utilizada para consumo humano dessa família. A figura 11 b demonstra o local onde os animais da propriedade bebem água. A água utilizada para os animais é a mesma utilizada para consumo humano nessa propriedade. A figura 11 c demonstra a fossa da propriedade. Esta encontra-se bem próxima a cisterna, o que sugere que pode haver contaminação do água utilizada para consumo humano por esta.





c)

Figura 11: Propriedade 2 visitada no estado de MG, a) fachada da propriedade e a cisterna localizada no local; b) Água utilizada para consumo dos animais; c) Fossa do local.

A propriedade 3 era a que se encontrava em melhor situação. A água utilizada tanto para consumo humano quanto para os demais fins era proveniente de uma mina. A propriedade possuía banheiros e água encanada, todavia os resíduos ali gerados eram descartados a céu aberto no meio ambiente sendo seu descarte próximo a mina. A figura 12 demonstra a propriedade 3 visitada. A figura 12 a demonstra a fachada da propriedade. A mina de água que abastece a propriedade fica aberta como demonstra a figura 12b.



a)



Figura 12: Propriedade 3 visitada em MG; a) Fachada da propriedade 3; b) Mina de água a céu aberto.

A tabela 4 demonstra o check list juntamente com as perguntas elaboradas para a entrevista realizada no estado de Minas Gerais nas 3 propriedades citadas anteriormente. As informações obtidas por essas entrevistas permitiram caracterizar o público alvo do projeto em questão. Assim, foi possível definir o número de pessoas aproximado em cada propriedade, sua renda e com isso definir o valor aproximado que eles pagariam para poder ter acesso a um tratamento de água. Nota-se que o equipamento de aquecedor solar construído de garrafa PET + Caixa de Leite longa vida é o que mais se adequa a realidade dessa população, uma vez que seu custo é baixo e a maioria dos materiais utilizados para sua construção é reciclável.

| Perguntas | Propriedade 1 | Propriedade 2 | Propriedade 3 |
|--|--------------------------------|--|--|
| 1. Tipo de propriedade visitada | Rural com plantação de café | Rural com plantação de café | Rural com plantação de café |
| 2. Local | Botelhos | Monte Belo | Monte Belo |
| 3. Quantidade de pessoas que residem no local | 7 pessoas | 1 pessoa | 4 pessoa |
| 4. Faixa etária dos moradores | 2 a 50 anos | 60 anos | 19 a 45 anos |
| 5. Atividades econômicas realizadas na propriedade | cafeicultura | cafeicultura, criação de suínos e galinhas | cafeicultura, criação de suínos e galinhas |
| 6. Acesso a água potável? | Não | Não | Não |

| | | | |
|---|---|--|--|
| 7. Acesso a água para consumo humano? | sim, por uma mina (a água é barrenta) | sim, por uma cisterna | sim, por uma mina |
| 8. A residência possui algum tipo de filtro para o consumo da água? | Não | Sim, filtro de barro | Sim, filtro de barro |
| 09. Acesso a saneamento básico? | Não | Não | Não |
| 10. Tipo de criação de animais realizadas na propriedade | galinha | Suínos e Galinhas | Suínos e Galinhas |
| 11. Tipo de água fornecida aos animais | Mina | Cisterna | Cisterna |
| 12. Renda média da família | R\$ 400,00 | R\$ 1000,00 | R\$ 2500,00 |
| 13. Histórico de doenças diarreicas | Diversas doenças diarreicas atingem essa família | Não há histórico dessas doenças no local | Não há histórico dessas doenças no local |
| 14. Caso de morte de alguma criança ou idoso no sítios ou irremediações pela falta de acesso a água potável | Não | Não | Não |
| 15. Valor média que a família pagaria por um equipamento que lhes permitissem acesso a água potável | Um valor de R\$ 100,00 seria muito caro por um equipamento para desinfecção da água. | Um valor de R\$ 300,00 seria muito caro por um equipamento para desinfecção da água | Um valor de R\$ 500,00 seria muito caro por um equipamento para desinfecção da água |

Tabela 4: Check list realizado com moradores de propriedades rurais no estado de Minas Gerais.

Por meio do QFD pode-se verificar quais os itens que deverão ser priorizados para a proposta de implantação de um equipamento de desinfecção da água para consumo humano como: baixo custo de um equipamento de desinfecção da água, levando-se em consideração a baixa renda dessa população e fácil operação e manutenção uma vez que não há pessoal qualificado nas propriedades rurais, de acordo com informações colhidas no local.

A pesquisa de campo realizado nas propriedades rurais pode ser considerada positiva, pois permitiu na perspectiva dos moradores das propriedades rurais e na perspectiva dos órgãos competentes quanto a soluções da falta de acesso a água tratada nesses locais. A tabela 5 segue a proposta para melhoria da qualidade de vida das populações de propriedades rurais.

| | |
|----------|---|
| O que? | Melhorar a qualidade de vida das populações quanto ao acesso a desinfecção da água; |
| Onde? | Em propriedades rurais e carentes; |
| Por que? | - Para redução do número de mortes principalmente em crianças e idosos pela ingestão de água contaminada; |
| Como? | Através da implantação de equipamentos alternativos de baixo custo que promovam a desinfecção da água para consumo humano que utilizem energia solar; |
| Quem? | -ÓNGS; -Órgãos Públicos; -Iniciativa Privada |
| Quando? | Continuamente |

Tabela 5: Proposta para melhoria da qualidade de vida das populações de propriedades rurais.

5.1.2 Benchmarking para o Equipamento de aquecedor solar

Para a utilização da ferramenta Benchmarking realizou-se uma pesquisa de campo dentre os tipos de equipamentos de aquecedor solar da água disponíveis no Brasil. Assim, foi possível analisar todas as características presentes em cada equipamento e definir quais itens em cada um necessitavam de melhorias.

Foram estudados três modelos disponíveis no mercado brasileiro conforme apresentado na figura 13 utilizada para a elaboração do benchmarking. O equipamento comercial (figura 13a), o equipamento construído com placa de PVC (figura 13b) e o equipamento construído de garrafa tipo PET e caixa de leite longa vida (figura 13c).



Figura 13: Equipamentos utilizados para elaboração do benchmarking. (Figura 13a) equipamento comercial; (Figura 13b) equipamento de placas de PVC; c) equipamento de garrafa tipo PET + caixa de leite longa vida.

Após o comparativo entre os três equipamentos disponíveis no mercado, foi possível avaliar itens entre eles e definir o que apresentava a maior vantagem e desvantagem em cada item avaliado. Foram avaliados sete itens: resistência das placas, durabilidade, estufa, eficiência das placas, eficiência do reservatório térmico, custo de construção e custo de manutenção e operação.

A tabela 6 apresenta os resultados obtidos através do benchmarking. Nota-se que o modelo 1, equipamento de aquecedor solar comercial foi o que apresentou a maior vantagem entre os outros equipamentos avaliados. Os itens mencionados como vantagem nesses equipamentos foram utilizados como sugestão para promover a melhoria nos outros equipamentos existentes, uma vez que o comercial ainda apresenta um alto custo de fabricação, o que impede que os menos favorecidos tenham acesso a esse tipo de equipamento.

Através da análise dos itens avaliados, conclui-se que a eficiência térmica das placas é o item mais relevante para promoção da inativação de microorganismos. Assim, o equipamento comercial, é o que apresenta a maior vantagem em eficiência térmica das placas, sendo o mais adequado para esta finalidade. Todavia, como seu custo de fabricação é elevado faz-se necessário aprimorar a eficiência térmica das placas dos equipamentos construídos com garrafa tipo PET + Caixa de Leite e o construído com placa de PVC.

| Itens Avaliados | Comercial | | PET + Caixa de Leite | | PVC | |
|---------------------------------------|-----------|-------------|----------------------|-------------|----------|-------------|
| | Vantagem | Desvantagem | Vantagem | Desvantagem | Vantagem | Desvantagem |
| 1. Resistência das placas | x | | | x | | x |
| 2. Durabilidade | x | | | x | | x |
| 3. Estufa | x | | x | | | x |
| 4. Eficiência das placas | x | | x | | x | |
| 5. Eficiência do reservatório Térmico | x | | | x | | x |
| 6. Custo | | x | x | | x | |
| 7. Operação e Manutenção | x | | x | x | | x |
| Total | 6 | 1 | 3 | 4 | 2 | 5 |

Tabela 6: Resultados obtidos através do benchmarking

5. 2 - 2ª parte: Construção e Instalação dos aquecedores solar da água como insumo para a desinfecção da água pelo método SOPAS

5.2.1 Teste Preliminar: Tendência de inativação de bactérias heterotróficas Coliformes: Totais e Fecais

Através da realização dos testes em laboratório pelo aquecimento gradativo da temperatura da água, simulando-se a SOPAS, pôde-se definir qual a temperatura mais adequada para a inativação dos grupos de bactérias estudados: heterotróficas e coliformes (totais e fecais).

Os resultados obtidos através do teste da tendência de inativação de bactérias do grupo coliformes: Totais e *Escherichia coli* demonstram que, a partir de 60 °C *Escherichia coli* pôde

ser inativada e a partir de 50 °C os coliformes totais, em ambos os tempos de detenção aplicados, 15 e 30 minutos, mostrando o potencial de inativação dessas bactérias ao se utilizar à desinfecção térmica para tratamento microbiológico da água.

Todavia, para as bactérias heterotróficas, estas se mostraram mais resistentes ao aumento de temperatura do que o grupo coliforme. Sua inativação ocorreu a partir de 96 °C, demonstrando sua resistência perante a pasteurização solar. Dessa forma, a utilização de um equipamento de aquecedor solar não é indicada como forma de inativar bactérias heterotróficas uma vez que a temperatura máxima obtida foi de 70° C, de acordo com o monitoramento da temperatura nos equipamentos estudados. É importante ressaltar que, à medida que ocorre a inativação do grupo coliforme, aumenta a concentração de bactérias heterotróficas. Este fato pode ser explicado devido ao aumento de matéria orgânica pela inativação do grupo coliforme presente na água.

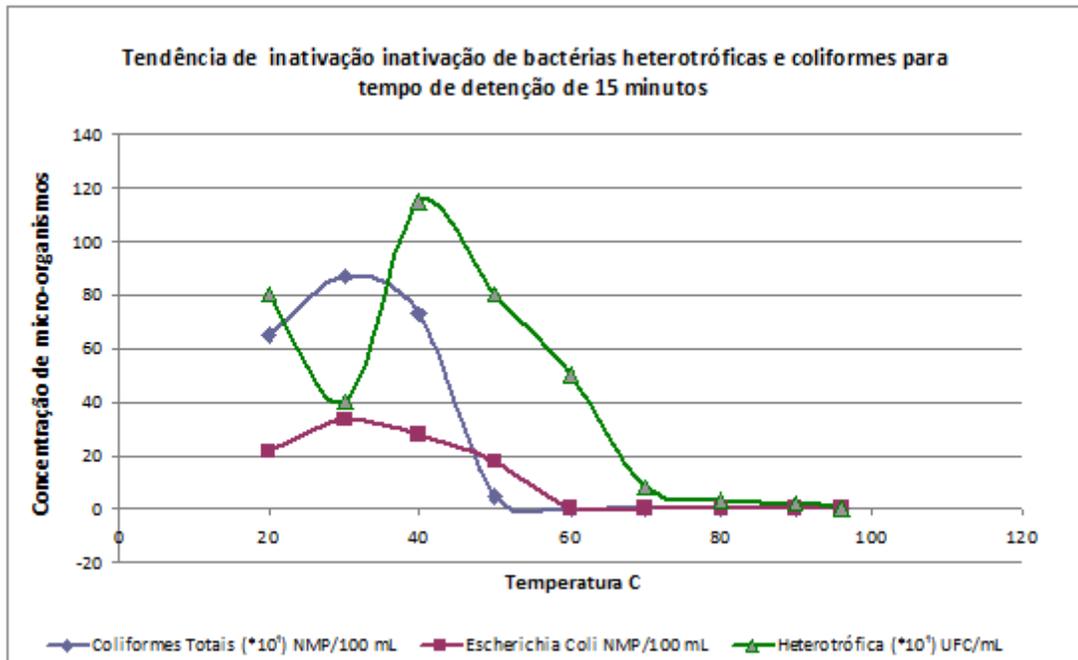
Os tempos de detenção para 15 e 30 minutos tinham como propósito verificar a tendência de inativação desses grupos de bactérias a um tempo de detenção maior. Os resultados preliminares demonstraram a tendência de inativação quando o tempo de detenção é maior. Todavia, o tempo de detenção não foi conclusivo no que diz respeito à inativação dessas bactérias caso ocorra um tempo de detenção maior, porém com uma temperatura menor. Assim, sugere-se que novos testes com tempos de detenção maior sejam realizados como forma de verificar se uma temperatura menor seria suficiente para inativar essas bactérias.

A figura 14 demonstra a tendência de inativação de bactérias do grupo coliformes: Totais e *Escherichia coli* e heterotróficas de acordo com as simulações realizadas em laboratório. Na figura 14 a) é apresentado a tendência de inativação com um tempo de detenção de 15 minutos. Já na figura 14 b) é apresentado a tendência de inativação dessas bactérias com um tempo de detenção de 30 minutos. Nota-se que, há a tendência em inativar tanto *Escherichia coli* como coliforme total com um tempo de detenção maior. Porém, somente outros testes utilizando-se tempo de detenção maior poderá definir essa tendência.

Pode-se observar também que, a concentração de bactérias decresce em função da temperatura até atingir o ponto de inativação. Nota-se que somente um aquecedor solar da água que consiga atingir a temperatura de no mínimo 60 ° C, conseguirá promover a SOPAS e inativar *Escherichia coli*. Nota-se que, bactérias heterotróficas só são inativadas com a

temperatura superior a 96° C. É importante ressaltar que, há um pico na quantidade dessas bactérias quando se inicia o processo de inativação para *Escherichia coli*. Este fato pode ser explicado devido ao aumento de matéria orgânica presente na água com a inativação de *Escherichia coli*. Por isso, constata-se que a concentração de heterotróficas está diretamente ligada a de *Escherichia coli*.

a)



b)

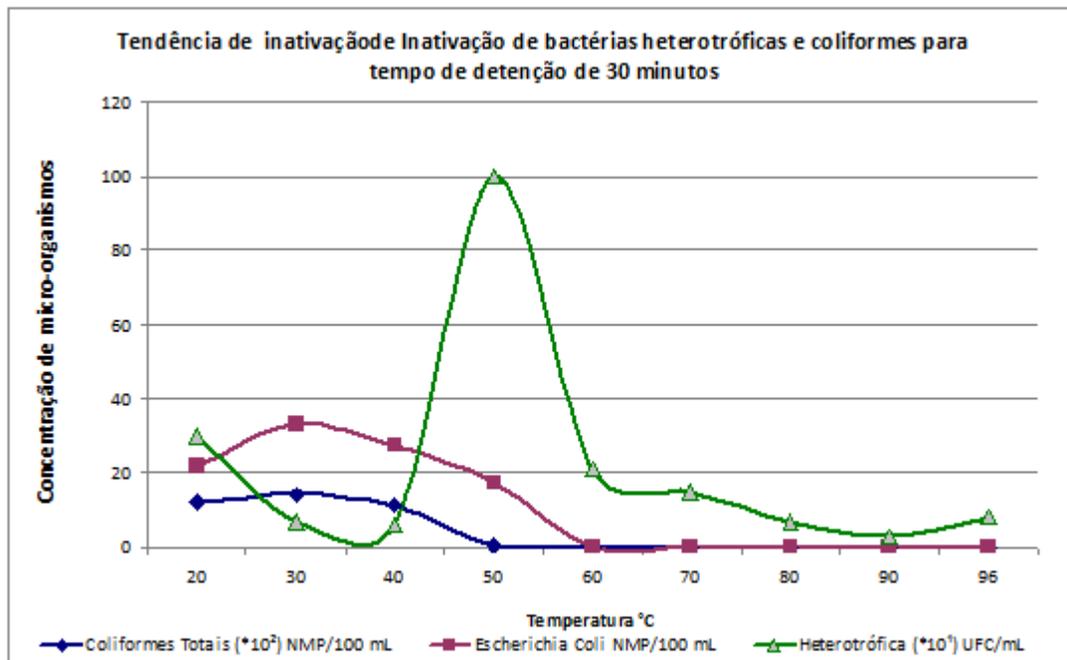


Figura 14: Tendência de Inativação para bactérias do grupo coliformes: Totais e *Escherichia coli* e heterotróficas com tempo de detenção para 15 e 30 minutos. Figura 14 a) tendência de inativação com um tempo de detenção de 15 minutos. Figura 14 b) é apresentada a tendência de inativação dessas bactérias com um tempo de detenção de 30 minutos.

5.2.2 Inativação *Escherichia coli* e heterotróficas nos Equipamentos de Aquecedor Solar da Água

No período de março a abril de 2009 foi realizada a construção dos equipamentos de baixo custo no laboratório de hidráulica e irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI e após, iniciou-se os testes propostos. Os testes foram iniciados em maio de 2009 e finalizados em novembro de 2010.

Com os resultados obtidos no teste para cinética de inativação de bactérias heterotróficas e grupo coliforme determinou-se que para a bactéria *Escherichia coli*, a temperatura mínima da água para sua inativação deveria ser no mínimo de 60°C, para coliformes totais 50 °C e para heterotróficas acima de 96° C. Com isso, todos os equipamentos estudados deveriam obter a temperatura indicada para cada grupo de bactérias para poder inativá-las.

Todavia, o foco desse estudo era a promoção da inativação de *Escherichia coli*, uma vez que essas apresentam efeitos adversos a saúde humana em determinadas concentrações na água para consumo humano. Os testes realizados para bactérias heterotróficas, tinham como propósito verificar a qualidade da água após o tratamento, uma vez que a presença dessas representam um indicativo da qualidade da água de acordo com a portaria nº 518 do ministério da saúde. Os testes para identificação de bactérias heterotróficas foram realizados somente no segundo semestre de 2010.

Assim sendo, realizou-se três testes para verificação da inativação de *Escherichia coli*, uma vez que o teste inicial proposto neste experimento, somente o aquecedor solar comercial conseguiu atingir a temperatura proposta para inativação de *Escherichia coli* e promover a SOPAS. Os equipamentos de baixo custo não atingiram a temperatura necessária para promoção da SOPAS e com isso não inativaram esse grupo de bactérias conforme figura 16 apresentada na página 49. Porém, como o equipamento de aquecedor solar comercial possui um custo muito elevado, sua utilização em comunidades carentes torna-se inviável. Assim, fez-se necessário propor alterações para melhorar o desempenho energético dos aquecedores de baixo custo de forma a verificar se estes conseguiriam inativar *Escherichia coli*.

No primeiro teste, utilizou-se um reservatório com 80 litros sem nenhum reservatório térmico, todavia seus resultados não foram satisfatórios no que diz respeito à temperatura alcançada e com isso não foi possível inativar *Escherichia coli*. Dessa forma, alterações foram

propostas como forma de melhorar os resultados referentes à temperatura e um segundo teste foi realizado como forma de verificar se inativação de *Escherichia coli* era possível com as alterações propostas.

Já no segundo teste, utilizou-se o mesmo reservatório de 80 litros, todavia com dois revestimentos térmico distinto em cada equipamento de baixo custo visando-se obter a temperatura necessária para inativação de *Escherichia coli*. Entretanto, os resultados obtidos com a utilização do revestimento térmico proposto apesar de ter aumentado a temperatura da água, não foram suficientes para inativação de *Escherichia coli*. Assim, mais uma vez propôs-se alteração como forma de obtenção da temperatura de inativação de *Escherichia coli*.

No terceiro e último teste, utilizou-se um reservatório com 40 litros com o mesmo revestimento térmico utilizado nos testes anteriores para verificação da inativação de *Escherichia coli*, porém neste teste, realizou-se análises bacteriológicas para heterotróficas.

É importante ressaltar que através dos resultados obtidos pela verificação da temperatura diária atingida em cada equipamento, é possível associar se sua inativação tanto para *Escherichia coli* quanto para heterotróficas seria possível, sem a verificação de análises bacteriológicas.

Uma outra forma de verificar se a temperatura atingida foi adequada para inativação de bactérias, é através da utilização de um WAPI (Indicador de Pasteurização Solar da Água). O WAPI é um tubo de acrílico transparente parcialmente preenchido com cera de soja, que funde a cerca de 65 ° C. Com a cera sólida no topo do tubo, o WAPI é colocado no fundo de um recipiente com água que é aquecida por energia solar. Se a cera derreter e ir para o fundo do tubo, quer dizer que as condições de pasteurização foram atingidos e assim a água está segura para consumo humano. Em comunidades carentes, recomenda-se a utilização do WAPI, uma vez que a verificação da temperatura de inativação com auxílio de termômetros, torna-se inviável devido ao constante monitoramento.

A seguir serão apresentados todos os resultados obtidos nos testes tanto para inativação quanto para comparação do aumento da temperatura em cada um dos equipamentos, correlacionando-se com a radiação solar incidente.

5.2.3 - 1ª Teste: Verificação da temperatura alcançada em cada equipamento para inativação de *Escherichia coli* para reservatório com volume de 80 litros sem revestimento térmico nos equipamentos de baixo custo

O primeiro teste foi realizado por oito meses, no período de maio de 2009 a dezembro de 2009. Monitorou-se a temperatura durante 10 dias durante 8 horas diárias, sempre no terceiro decênio de cada mês, juntamente com a radiação média obtida nesse período.

A figura 15 demonstra as médias das temperaturas pela radiação média incidente em todos os equipamentos durante o período de maio de 2009 a dezembro de 2009 para o reservatório de 80 litros sem revestimento térmico. Nota-se que a temperatura média atingida nos aquecedores de baixo custo apresentava valores para temperaturas muito abaixo dos valores encontrado no equipamento de aquecedor solar comercial. O mês de julho, correspondente ao inverno, foi o mês que apresentou os menores índices de radiação solar e o de dezembro, correspondente ao verão os maiores índices de radiação. Todavia, apesar do aumento da radiação no mês de dezembro, a temperatura nos aquecedores de baixo custo obtiveram pouca alteração quando comparada com meses com baixo índice de radiação como julho. Esse fato pode ser explicado devido à falta de um reservatório térmico e os materiais serem pouco condutores de calor. Nota-se também que o aquecedor solar comercial apresentou as maiores temperaturas, mesmo em dias com baixa radiação solar. Este equipamento apresenta diversas vantagens quando comparadas aos aquecedores solares de baixo custo como manta térmica em suas placas e reservatório térmico. Por isso sua temperatura foi superior aos demais equipamentos.

Os equipamentos de aquecedor solar de baixo custo apresentavam a mesma temperatura média da água apesar de serem constituídos de materiais distintos.

Pelas temperaturas médias atingidas em todos os meses monitorados nota-se que os equipamentos de baixo custo, apresentaram uma temperatura insuficiente para a promoção da SOPAS e conseqüentemente inativação de *Escherichia coli*.

A obtenção desses valores foi importante, pois mostram a tendência de inativação de bactérias do grupo coliforme em cada equipamento em cada mês monitorada.

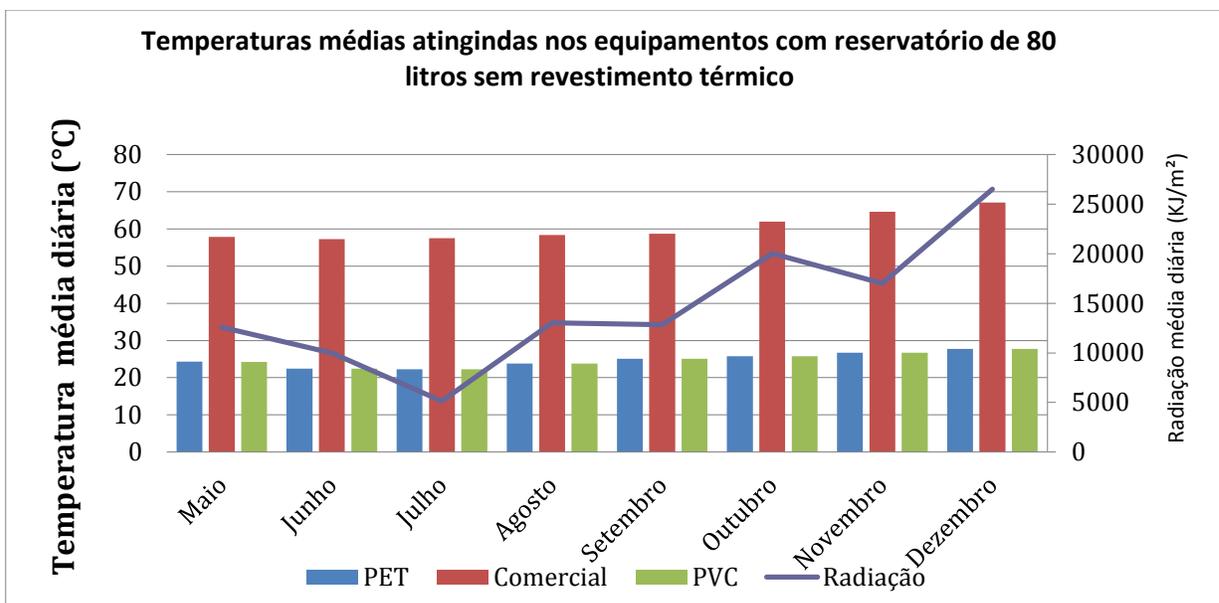


Figura 15: Médias das temperaturas pela radiação média incidente em todos os equipamentos durante o período de maio de 2009 a dezembro de 2009 para o reservatório de 80 litros sem revestimento térmico.

A figura 16 demonstra as médias das temperaturas atingidas em cada equipamento monitorado de acordo com o horário da medição. Nota-se que às 16 horas da tarde, era o horário em que a máxima temperatura era atingida. O aquecedor solar comercial possuiu o melhor desempenho de temperatura entre todos os equipamentos monitorados. No final da medição o aquecedor solar possuiu a temperatura média final de 60° C, enquanto os de baixo custo não ultrapassaram 30 °C. Uma restrição apresentada pelos aquecedores solar de baixo custo é em relação à perda de calor para o meio devido à inexistência de um sistema de reservatório térmico, existente no equipamento de aquecedor solar comercial. Todavia, apesar do aquecedor solar comercial apresentar materiais que contribuem para esse fato, fazia-se necessário propor medidas para melhorar o desempenho dos equipamentos de baixo custo, de forma a se obter melhores resultados em termos de aquecimento da água e verificar sua eficácia quanto à inativação de bactérias do grupo coliformes. Assim sendo, propôs-se como forma de se obter melhores resultados em termos de temperatura nos próximos testes, o revestimento térmico nas caixas de água dos equipamentos. Os resultados obtidos com esse procedimento estão descritos no item 5.2.4.

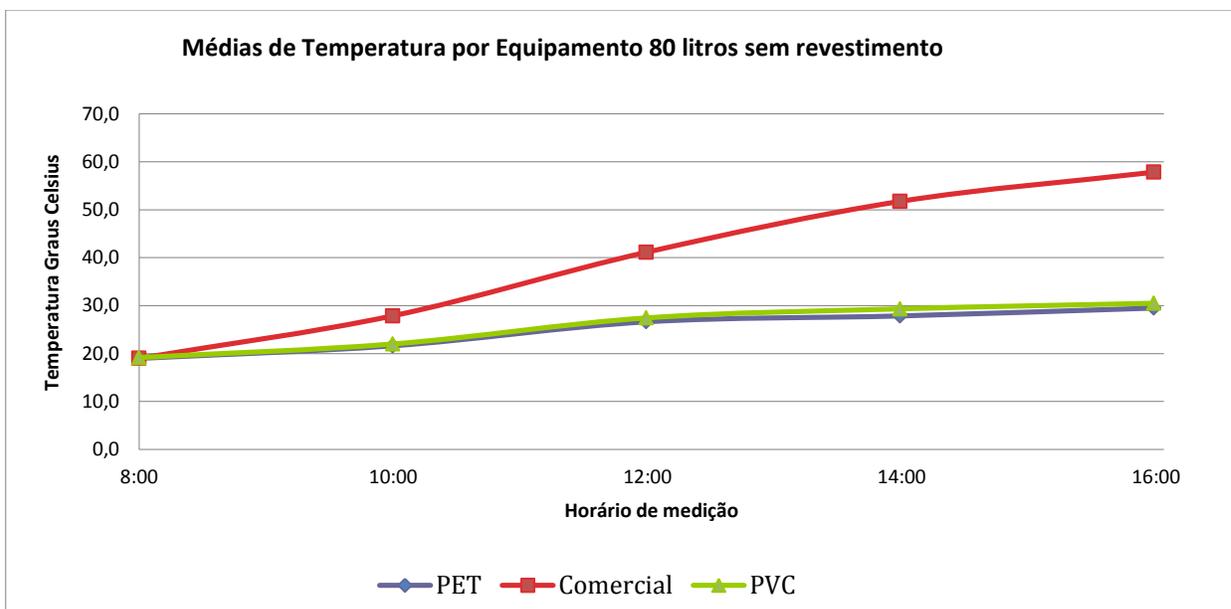


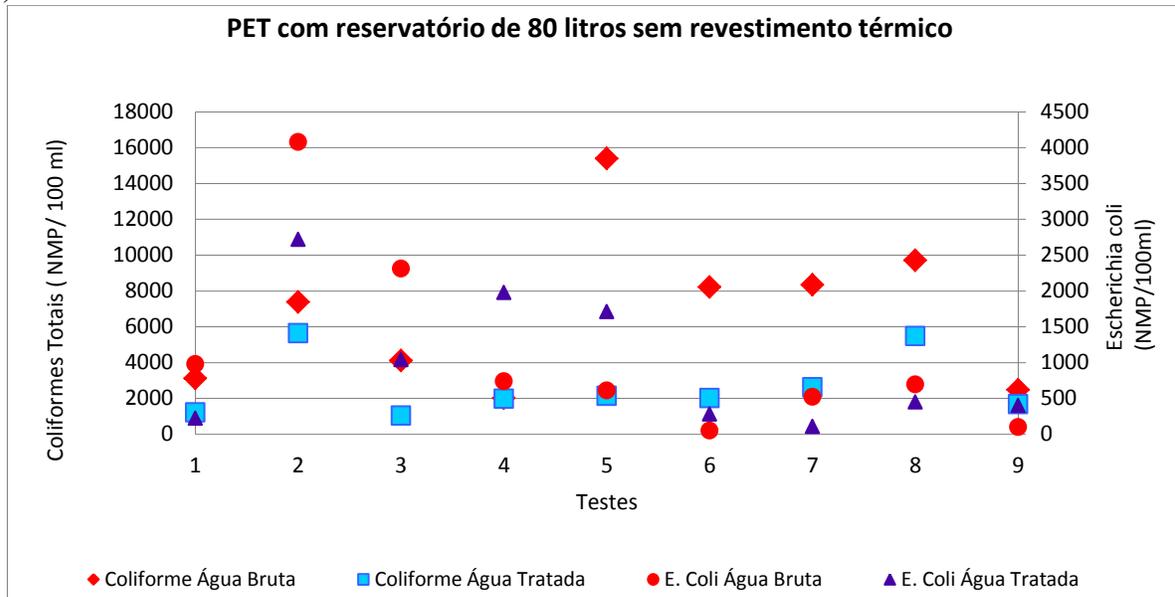
Figura 16: Médias das temperaturas atingidas em cada equipamento monitorado de acordo com o horário da medição para o reservatório de 80 litros sem revestimento térmico.

Realizaram-se 9 testes com análises bacteriológicas para o grupo coliforme em todos os equipamentos de aquecedor solar da água. Conforme já havia sido verificado pela figura 16, somente o equipamento de aquecedor solar comercial foi eficaz para inativação de *Escherichia coli*, promovendo a SOPAS uma vez que conseguiu atingir na maioria das vezes a temperatura de 60° C. Mesmo no testes onde sua temperatura não alcançou 60°C a inativação de *Escherichia coli* foi possível. Acredita-se que este fato esteja correlacionado a ação bactericida do cobre, utilizado na tubulação desse equipamento.

Os equipamentos de baixo custo construído com placa de PVC e o de garrafa tipo PET e caixa de leite longa vida atingiram temperaturas de no máximo 31 graus, o que não foi suficiente para inativar tanto o grupo coliforme quanto heterotrófico. A baixa temperatura atingida pode estar relacionada com a inexistência de um reservatório térmico nesses equipamentos. A figura 17 demonstra os resultados das análises bacteriológicas tanto para coliformes quanto para *Escherichia coli* nos equipamentos de baixo custo. A figura 17 a) apresenta os resultados para o equipamento de PET. Nota-se que em 6 testes, a concentração de *Escherichia coli* após o tratamento apesar de não ter sido inativada, foi inferior ao valor inicial. Já a figura 17b) apresenta os resultados para o equipamento de PVC. Nota-se que em 6 testes, a concentração de *Escherichia coli* após o tratamento apesar de não ter sido inativada, foi inferior ao valor inicial. As temperaturas finais em cada equipamento foram: teste 1: 27°C;

teste 2: 25 °C; teste 3: 30°C; teste 4: 30°C; teste 5: 31°C; teste 6:30°C; teste 7: 31°C ;teste 8 : 35°C; teste 9: 35°C.

a)



b)

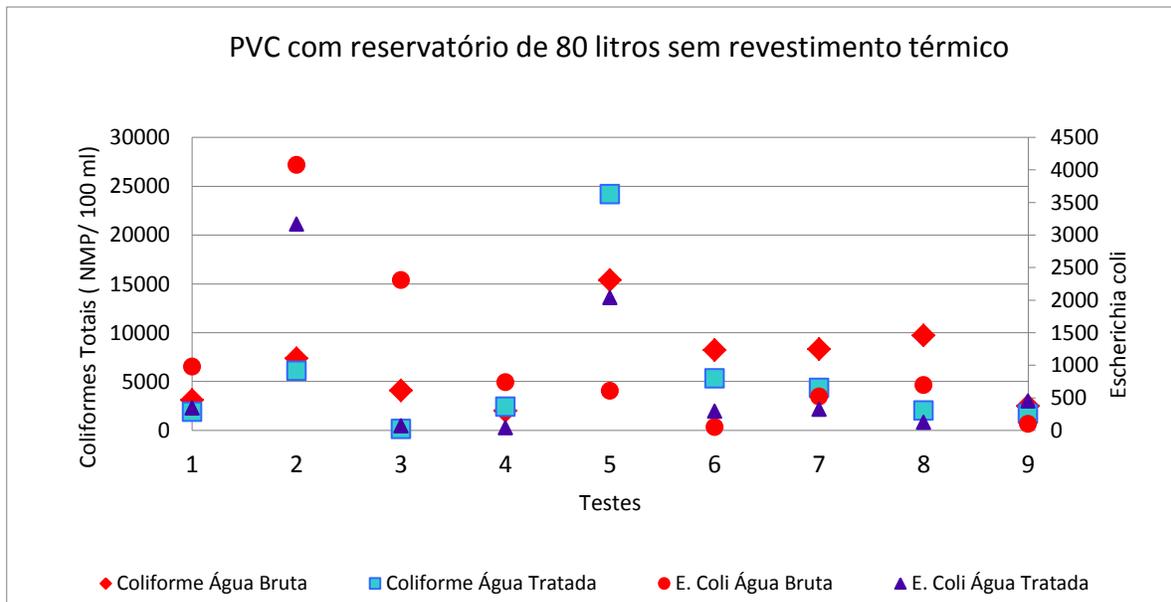


Figura 17: Resultados das análises bacteriológicas tanto para coliformes quanto para *Escherichia coli* nos equipamentos de baixo custo, (figura 17 a) Resultados das análises bacteriológicas para o equipamento de PET; figura 17b) Resultados das análises bacteriológicas para o equipamento de PCV.

A Figura 18 apresenta os resultados das análises bacteriológicas do equipamento de aquecedor comercial. Nota-se que em todas os testes realizados, este foi efetivo na inativação de *Escherichia coli*. Temperaturas finais: teste 1: 48°C; teste 2: 49 °C; teste 3: 70°C; teste 4: 60°C; teste 5: 60°C; teste 6:62°C; teste 7: 65°C ;teste 8 : 63°C; teste 9: 50°C.

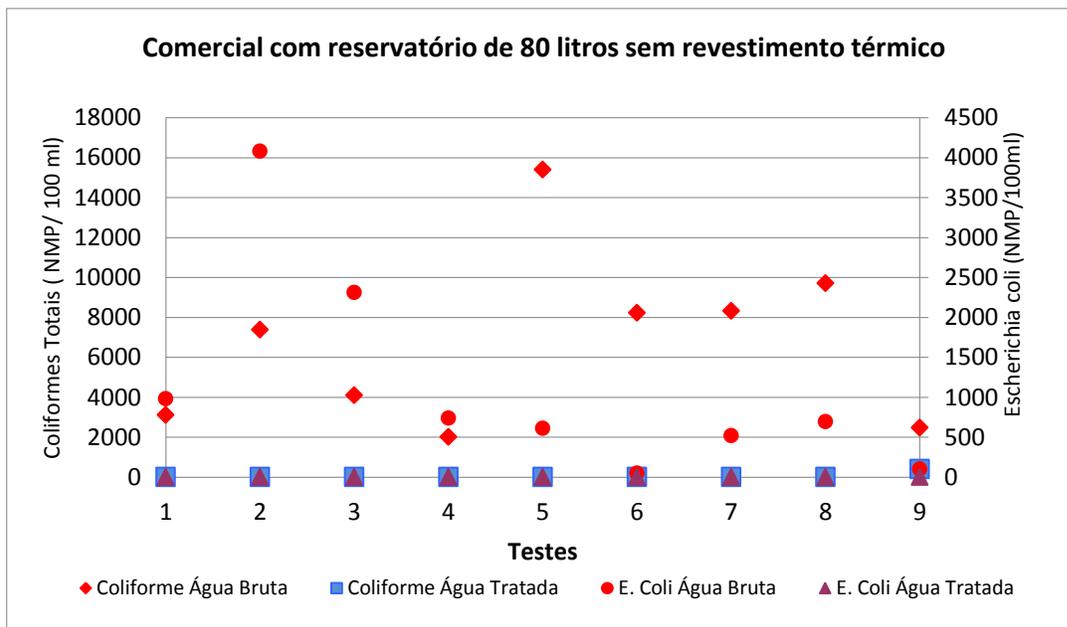


Figura 18: Resultados das análises bacteriológicas para coliformes para o Equipamento Comercial.

5.2.4 - 2ª Teste: Verificação da temperatura alcançada em cada equipamento para inativação de *Escherichia coli* para reservatório com volume de 80 litros com revestimento térmico

Após a realização do teste 1, utilizando-se reservatório com volume de 80 litros sem revestimento térmico, percebeu-se que os equipamentos de aquecedor solar de baixo custo construídos de placas de PVC e garrafa PET + caixa de leite longa vida apresentavam uma restrição quanto a temperatura alcançada. Em todos os dias monitorados, a temperatura não ultrapassou 35°C apesar do alto índice de radiação solar apresentado no período de amostragem. Essa temperatura não corresponde a encontrada no teste de cinética de inativação realizado e as análises bacteriológicas realizadas comprovaram que não houve inativação nesses equipamentos.

Dessa forma, para tentar sanar esse problema, havia duas possibilidades de acordo com a ferramenta Benchmarking : adicionar um número de coletor solar em cada equipamento ou aumentar a eficiência do reservatório de água. Assim, optou-se por modificar os reservatórios de

água de modo que a água dentro do reservatório perdesse o mínimo de calor para o meio e assim, sua temperatura pudesse ser aumentada.

Para tanto, realizou-se um levantamento dos possíveis materiais disponíveis no mercado com baixo custo para isolamento térmico e chegou-se a dois tipos de materiais: isopor e uma manta térmica utilizada em dutos de alumínio, sistemas de refrigeração e de climatização. A manta térmica apresentava um custo bem mais elevado quando comparada ao isopor, com isso, sua utilização foi proposta no equipamento de PVC, uma vez que este também possuía o custo mais elevado de fabricação que o de PET.

Dessa forma, para o equipamento construído com placas de PVC utilizou-se o revestimento térmico indicado para isolamento térmico de dutos de alumínio em sistemas de refrigeração e de climatização. Esse revestimento térmico é conhecido como Armaduct, da marca Armacell, que é uma espuma elastomérica de alta qualidade. As características da espuma e os procedimentos de instalação, foram seguidos de acordo com Armacell, 2010.

Assim, adquiriu-se a quantidade de espuma suficiente para revestir a caixa de água de 80 litros. Para sua fixação na caixa, mediu-se o tamanho adequado da mesma, cortou-se a manta térmica, e revestiu-se a caixa, utilizando para sua fixação da manta na mesma barbante passado por várias vezes ao entorno na caixa. Para conservar a espuma que ficaria exposta ao ambiente, anexou-se por cima da manta caixas de leite longa vida presas com fita adesiva. A figura 19 demonstra a tampa da caixa de 80 litros com o revestimento da manta térmica.



Figura 19: Caixa do Reservatório de 80 litros revestida com manta térmica

Para o equipamento de garrafa PET + caixa de leite longa vida utilizou-se isopor. Para tanto comprou-se placas de isopor de 3 cm de espessura e cortou-se em vários pedaços em

formato de trapézio de 10 cm de base maior e 8 cm de base menor. Os pedaços de isopor foram fixados com fita adesiva uma por uma na caixa de 80 litros e, para conservar o isopor que ficaria exposta ao ambiente, anexou-se por cima do isopor, caixas de leite longa vida presas com fita adesiva. A figura 20 apresenta os equipamentos com os reservatórios revestidos instalados no campo experimental.



Figura 20: Caixas dos Reservatórios com revestimento Térmico

Dessa forma, novos testes foram realizados com o intuito de verificar novamente a eficiência desses equipamentos quanto a inativação de *Escherichia coli*. O segundo teste foi conduzido de janeiro a maio de 2010.

Esses testes consistiam em análises bacteriológicas para coliformes totais e *Escherichia coli* e monitoramento da temperatura de aquecimento durante 8 horas diárias em 10 dias de cada mês (3^o decênio) em todos os equipamentos.

A figura 21 apresenta as temperaturas médias atingidas nos equipamentos com o reservatório de 80 litros com revestimento térmico no período de janeiro a maio de 2010. Nota-se que com a aplicação do revestimento térmico nas caixas, houve um ligeiro aumento da temperatura da água. Todavia esse aumento ainda não foi suficiente para promover a SOPAS e inativar *Escherichia coli*.

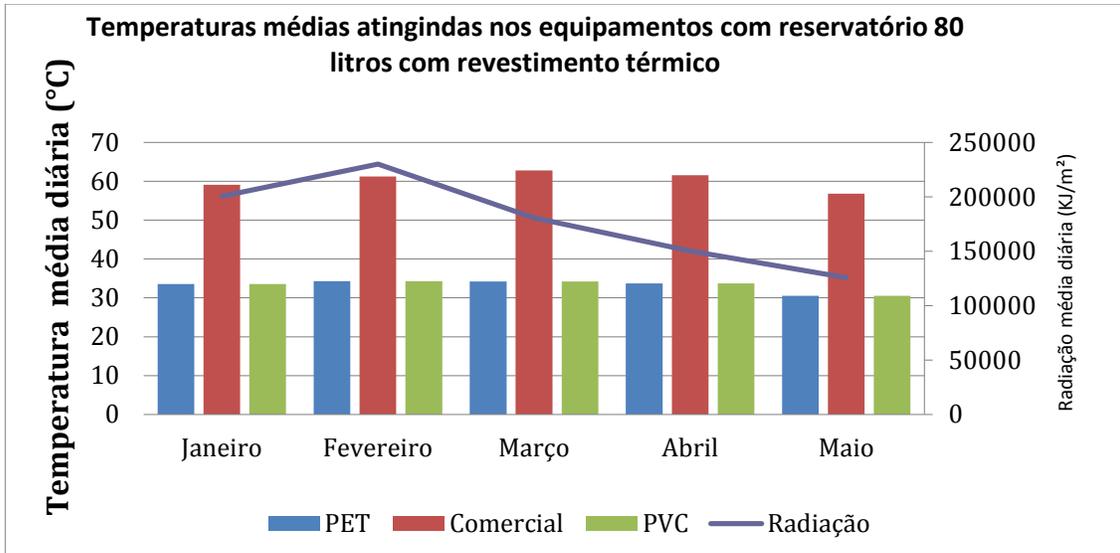


Figura 21: Temperaturas médias atingidas nos equipamentos com o reservatório de 80 litros com revestimento térmico no período de janeiro a maio de 2010

A figura 22 demonstra as médias das temperaturas atingidas em cada equipamento monitorado de acordo com o horário da medição. Nota-se que as 16 horas da tarde, era o horário que a máxima temperatura era atingida. Percebe-se também que apesar do revestimento aplicado, a temperatura atingida nos aquecedores de baixo custo ainda precisava apresentar resultados mais satisfatórios. Nota-se mais uma vez que somente o equipamento de aquecedor solar comercial apresentava o melhor desempenho.

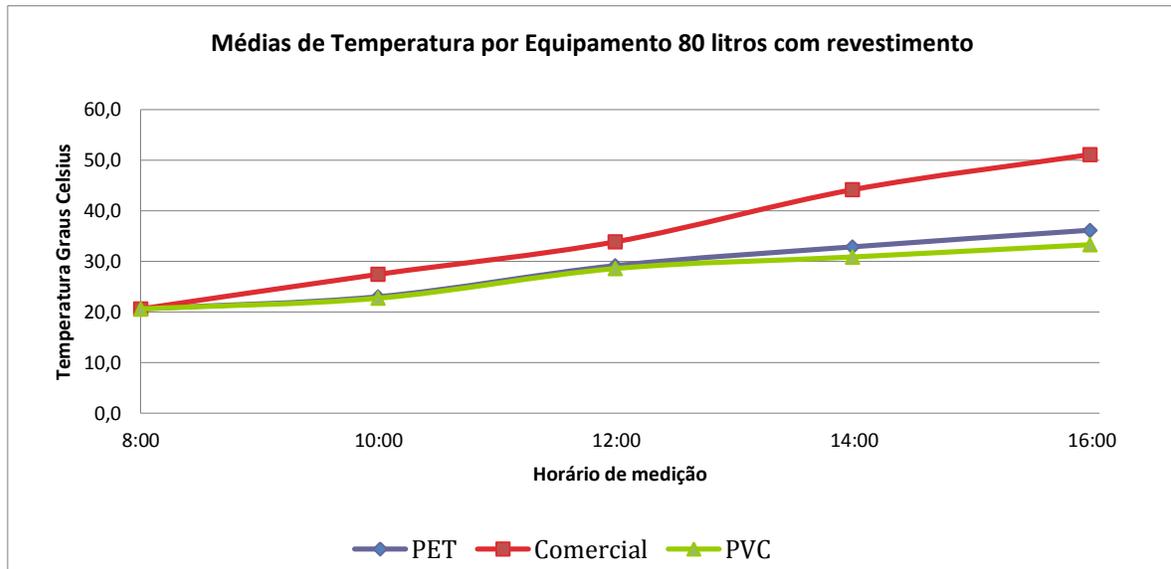
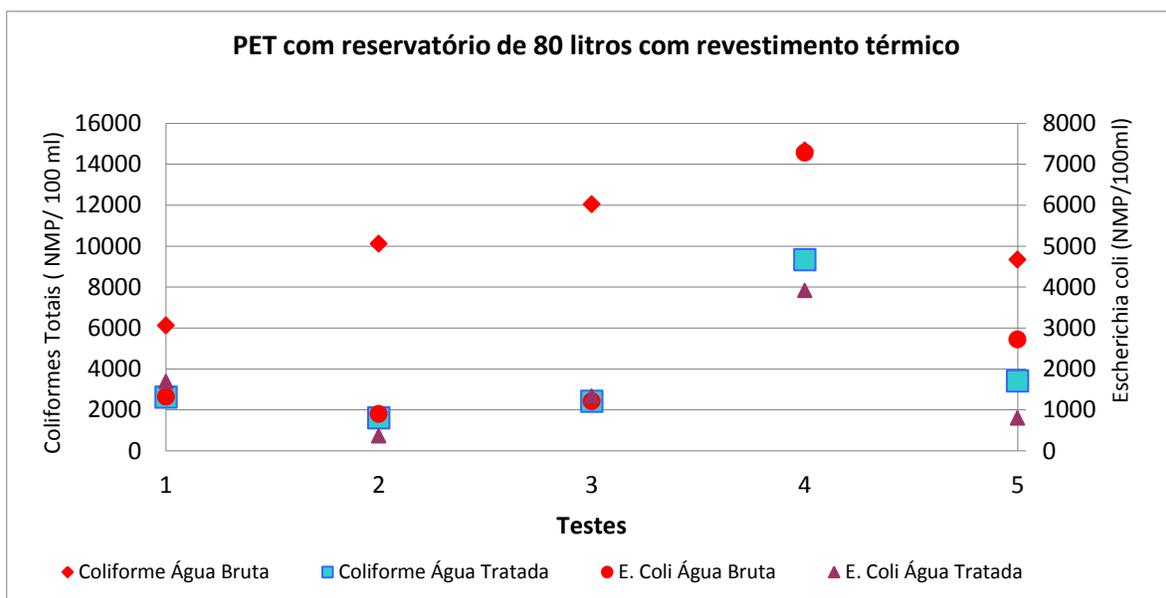


Figura 22: Médias das temperaturas atingidas em cada equipamento monitorado de acordo com o horário da medição.

A figura 23 demonstra os resultados das análises bacteriológicas tanto para coliformes quanto para *Escherichia coli* nos equipamentos de baixo custo com o reservatório de 80 litros com revestimento térmico. Nota-se que em alguns testes a concentração final para o grupo coliformes foi maior que o valor inicial. Esse fato pode ser explicado devido a temperatura ideal atingida pelos aquecedores de crescimento para essas bactérias.

A figura 23 a) e 23 b) apresenta os resultados das análises bacteriológicas para o equipamento de PET e PVC respectivamente. Nota-se que nos testes 2, 4 e 5, para ambos os equipamentos, a concentração de *Escherichia coli* após o tratamento apesar de não ter sido inativada, foi inferior ao valor inicial. As temperaturas finais obtidas pelo equipamento PET em cada teste foram: **teste 1:** 28°C; **teste 2:** 40 °C; **teste 3:** 41°C; **teste 4:** 42°C; **teste 5:** 44 °C e, as temperaturas finais obtidas pelo equipamento PVC em cada teste foram: **teste 1:** 27°C; **teste 2:** 39 °C; **teste 3:** 37°C; **teste 4:** 42°C; **teste 5:** 43 °C.

a)



b)

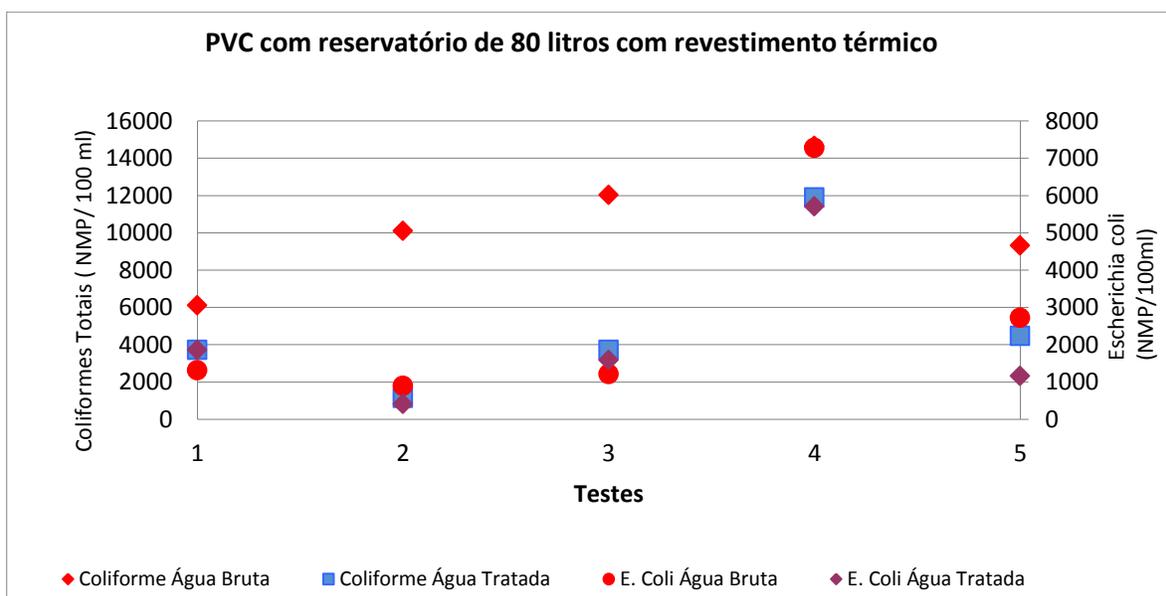


Figura 23: Resultados das análises bacteriológicas tanto para coliformes quanto para *Escherichia coli* nos equipamentos de baixo custo, figura 23 a) Resultados das análises bacteriológicas para o equipamento de PET; figura 23 b) Resultados das análises bacteriológicas para o equipamento de PCV.

A figura 24 demonstra os resultados obtidos pelas análises bacteriológicas da água para o grupo coliformes utilizando-se o reservatório de 80 litros com revestimento térmico. Nota-se mais uma vez que somente o equipamento de aquecedor solar comercial foi o que demonstrou os melhores resultados quanto a SOPAS pois inativou esse grupo de bactérias em todos os testes realizados. As máximas temperaturas máximas obtidas em cada teste foram: **teste 1:** 48°C; **teste 2:** 49 °C; **teste 3:** 70°C; **teste 4:** 60°C; **teste 5:** 60°C

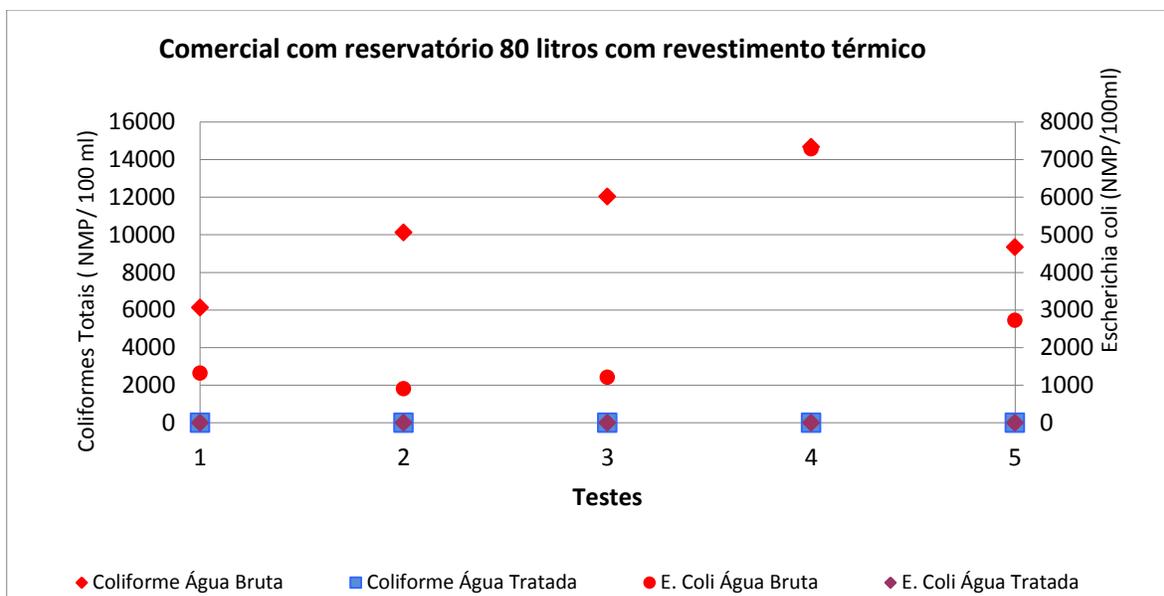


Figura 24: Resultados das análises bacteriológicas para coliformes para o equipamento comercial

As mudanças propostas para os equipamentos de baixo custo em relação a utilização de um revestimento térmico em seus reservatórios, apesar do aumento da temperatura obtida não foi suficiente para promoção da SOPAS. Com isso, mais uma vez propôs-se uma forma de tentar solucionar esse problema. Tendo em vista que o aquecimento da água até a inativação do grupo de bactérias coliformes é para consumo humano, definiu-se que seria adequado reduzir o volume do reservatório térmico de 80 litros para 40 litros, uma vez que essa quantidade de água diária seria adequada para uma família em uma comunidade carente ou rural consumir diariamente. A alteração proposta está descrita no item 5.2.5.

5.2.5 - 3ª Teste: Verificação da temperatura alcançada em cada equipamento para inativação de *Escherichia coli* para reservatório com volume de 40 litros com revestimento térmico

Tendo em vista que apesar do revestimento térmico na caixa de água de 80 litros, este não resultou em dados satisfatórios relativos ao aquecimento da água para promoção da SOPAS, nos equipamentos de baixo custo. Assim, foi necessário propor outra medida para tentar obter um aumento da temperatura de modo a se verificar se a SOPAS era alcançada pelos equipamentos de baixo custo, uma vez que estes apresentam o menor custo de

fabricação e assim poderiam ser aplicado para comunidades carentes e rurais no acesso a desinfecção da água.

Para tanto, reduziu-se o volume de água a ser trabalhado de 80 litros para 40 litros em cada um dos equipamentos de baixo custo, utilizando-se os mesmos revestimentos térmicos alternativos propostos anteriormente.

Os reservatórios utilizados para reduzir o volume do reservatório foram 2 bombonas de 50 litros cada, todavia nivelados para trabalhar com um volume de 40 litros.

Para o equipamento construído com placas de PVC, mais uma vez optou-se em utilizar um revestimento térmico Armaduct revestido com caixas de leite longa vida fixadas com fita adesiva.

Para o equipamento de garrafa PET + caixa de leite longa vida utilizou-se mais uma vez revestimento térmico em isopor conforme citado anteriormente revestido com caixas de leite longa vida fixadas com fita adesiva. A figura 25 apresenta a bombona utilizada no equipamento de garrafa PET + caixa de leite longa revestida com isopor.



Figura 25: Reservatório de 40 litros revestido com isopor

Dessa forma, novos testes foram realizados com o intuito de verificar novamente a inativação de *Escherichia coli* através da SOPAS e o ganho térmico ganho pela utilização desse revestimento. O terceiro teste foi conduzido de junho a novembro de 2010.

Mais uma vez realizou-se análises bacteriológicas antes e após o tratamento e monitorou-se a temperatura de aquecimento durante 8 horas diárias em 10 dias de cada mês (3 ° decênio). Todavia neste teste realizou-se análises qualitativas e quantitativas para bactérias heterotróficas, uma vez que sua presença na água está diretamente relacionada com *Escherichia coli*.

As temperaturas obtidas com a utilização do reservatório de 40 litros com revestimento térmico durante o período de junho de 2010 a novembro de 2010 nos equipamentos de aquecedor solar de PVC e no de PET + Caixas de leite longa vida, promoveu um aumento de temperatura muito mais elevado quando comparado aos outros testes, cujo reservatório era de 80 litros.

Nos meses de outubro e dezembro, tanto o equipamento de aquecedor solar de PVC quanto o de PET + Caixas de leite longa vida, obtiveram temperaturas acima de 40°C o que foi considerado como um ganho significativo de temperatura. Todavia essa temperatura não ultrapassou 46°C o que acredita-se ser uma restrição dos materiais utilizados.

Os materiais alternativos utilizados para revestimento térmico mostraram o mesmo ganho de temperatura em ambos os equipamentos. Assim, sugere-se a utilização de placas de isopor com tal propósito uma vez que, seu custo é menor, apresenta maior resistência e não há problema em molhar, restrição essa atribuída a manta térmica Armaduct.

O aumento significativo da temperatura acarretou em danos aos equipamentos de baixo custo. Ambos os equipamentos começaram a apresentar danos devido a exposição diária a radiação solar, associada ao aumento de temperatura.

O equipamento de aquecedor solar de garrafa tipo PET + Caixas de leite longa vida, teve suas tubulações deformadas pelo aumento de temperatura, promovendo ruptura das demais tubulações e vazamentos constantes no equipamento. Por diversas vezes este foi retirado para manutenção o que impediu em alguns dias a realização de análises bacteriológicas e monitoramento da temperatura.

O aquecedor solar de PVC, apresentou deformação em sua placa também, porém nenhum vazamento foi detectado. Este apresentou uma resistência maior do que o equipamento de aquecedor solar de garrafa tipo PET + Caixas de leite longa vida.

Os aquecedores solar de baixo custo, apresentaram a mesma temperatura de aquecimento da água. Apesar do de PVC não possuir sistema de estufa em sua placa, este

apresenta uma vantagem pois possui diversos canos contidos em seu interior o que promove uma circulação da água mais intensa do que o de PET + Caixas de leite longa vida. Todavia seu custo de fabricação é mais elevado que o do PET + Caixas de leite longa vida e necessita de uma gama tanto de ferramentas quanto de adesivos específicos para sua fabricação, o que dificulta sua construção em locais carentes, afastados de recursos para tal fim.

O equipamento de garrafa tipo PET + Caixas de leite longa vida é mais acessível a população pois a maioria dos materiais utilizados para sua construção são recicláveis, sendo encontrado em todo lugar. Uma forma possível de sanar a deformação ocorrida em suas tubulações seria a substituição dessas por mangueiras com proteção a radiação solar e ao aumento de temperatura. Dessa forma acredita-se que essas manutenções poderiam ser reduzidas e sua durabilidade ser aumentada.

A utilização de novos materiais para construção de equipamentos de aquecedor solar água de baixo custo, mostra-se uma alternativa viável a ser aplicada no Brasil, uma vez que sua disposição solar é elevada na maioria do território brasileiro e o equipamento de aquecedor solar comercial ainda apresenta um custo muito elevado, cerca de 30 vezes mais que o de garrafa tipo PET + Caixas de leite longa vida. Assim, sugere-se novos estudos utilizando-se materiais de baixo custo, todavia com uma resistência maior a radiação solar e sem restrição quanto ao aumento de temperatura.

A figura 26 demonstra as médias das temperaturas atingida pelos 3 equipamentos monitorados utilizando-se reservatório de 40 litros com revestimento térmico para os meses de junho a novembro de 2010. Nota-se que com a utilização desse revestimento e um reservatório menor, obteve-se temperaturas variando entre 35°C há 43 °C nos equipamentos de baixo custo sendo que foi insuficiente para inativação de *Escherichia coli* e heterotróficas. O único equipamento que se mostrou eficiente para a aplicação da SOPAS é o equipamento de aquecedor solar comercial, porém é importante ressaltar que este não é efetivo na inativação de bactérias Heterotróficas.

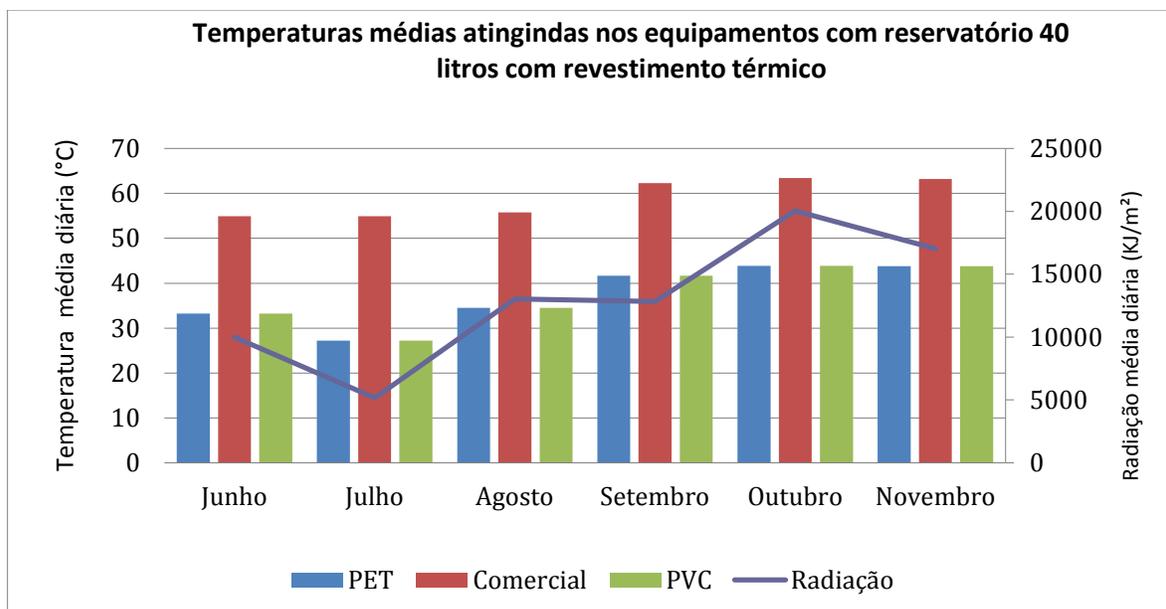


Figura 26: Médias das temperaturas atingida pelos 3 equipamentos monitorados utilizando-se reservatório de 40 litros com revestimento térmico para os meses de junho a novembro de 2010.

A figura 27 demonstra as médias das temperaturas atingidas em cada equipamento monitorado de acordo com o horário da medição. Nota-se que as 16 horas da tarde, era o horário que a máxima temperatura era atingida. A partir desse horário, somente o reservatório térmico do aquecedor solar comercial era eficiente para manter a temperatura da água mostrando mais uma vez a restrição dos equipamentos de baixo custo.

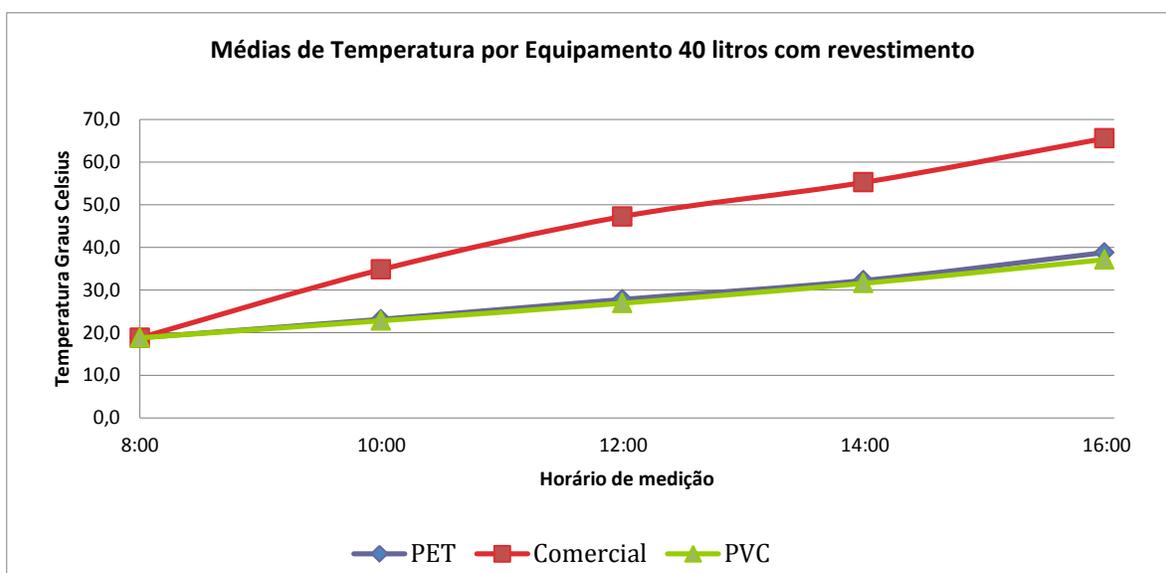
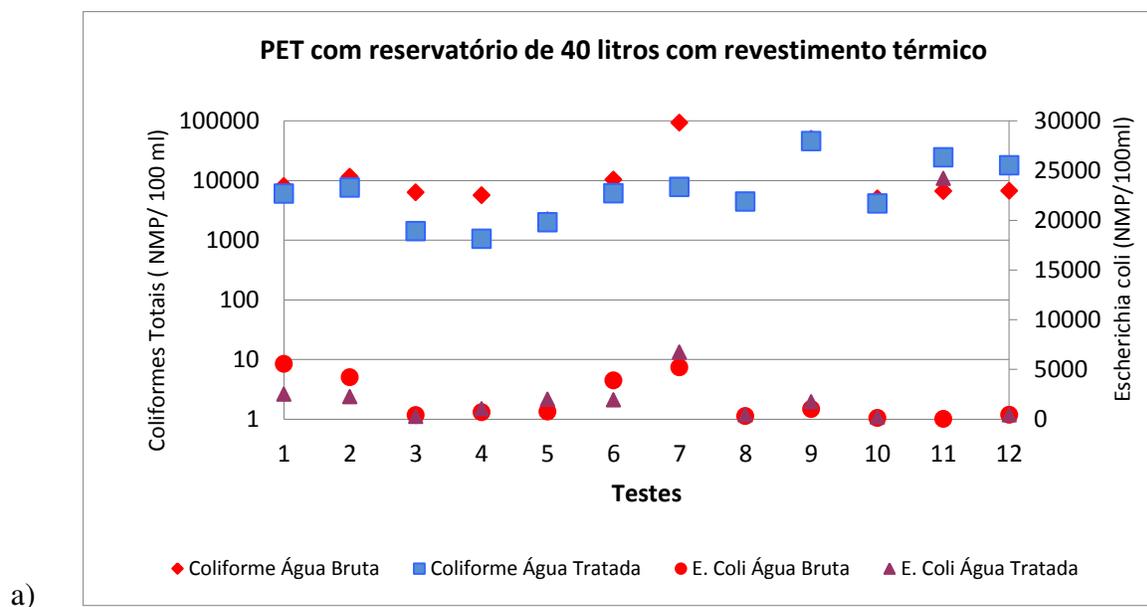
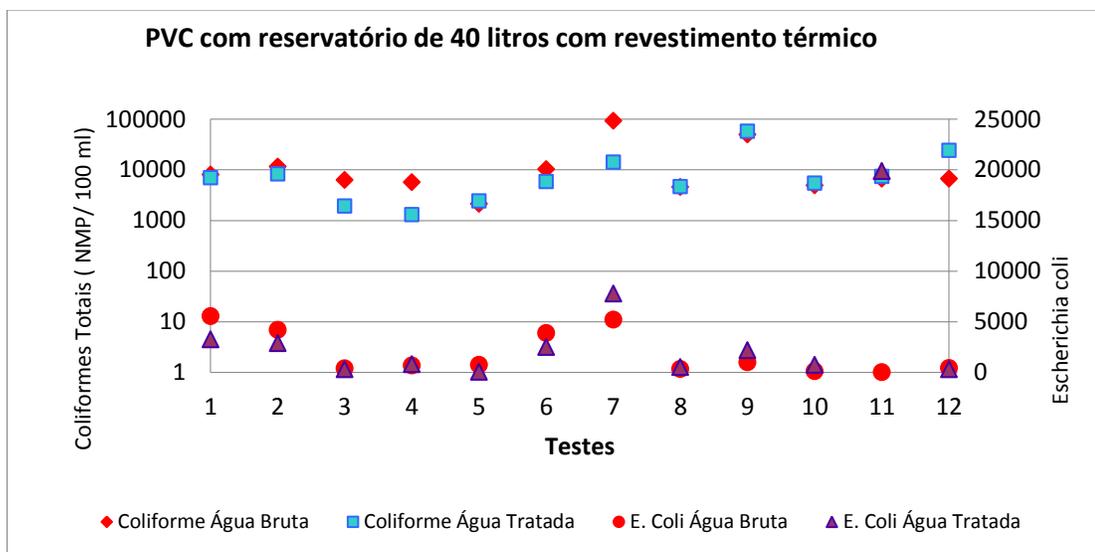


Figura 27: médias das temperaturas atingidas em cada equipamento monitorado de acordo com o horário da medição com reservatório de 40 litros

A figura 28 apresenta os resultados obtidos nas análises bacteriológicas para *Escherichia coli* e coliformes para os equipamentos de baixo custo para reservatório de 40 litros com revestimento térmico. A figura 28 a) demonstra os resultados obtidos pelo equipamento de PET. Nos testes 7 e 10, as concentrações de *Escherichia coli* foram maior que a inicial. A figura 28 b) apresenta os resultados das análises bacteriológicas para *Escherichia coli* no equipamento de PVC. As concentrações encontradas no teste 7 e 11 para *Escherichia coli* apresentaram concentrações superiores ao da água bruta. As temperaturas máximas obtidas em cada teste foram: **teste 1:** 37°C; **teste 2:** 36 °C; **teste 3:** 36°C; **teste 4:** 42°C; **teste 5:** 30°C; **teste 6:** 44°C; **teste 7:** 42 °C; **teste 8:** 41°C; **teste 9:** 43°C; **teste 10:** 42°C; **teste 11:** 41°C; **teste 12:** 41°C





b)

Figura 28: Resultados das análises bacteriológicas tanto para coliformes quanto para *Escherichia coli* nos equipamentos de baixo custo, figura 28 a) Resultados das análises bacteriológicas para o equipamento de PET; figura 28b) Resultados das análises bacteriológicas para o equipamento de PCV.

A figura 29 apresenta os resultados das análises bacteriológicas para o aquecedor solar comercial. Nota-se que este equipamento foi o único que apresentou as maiores temperaturas, inativando *Escherichia coli* em todas as análises realizadas. Assim, em todos os testes realizados, somente o aquecedor solar comercial se mostrou ideal para promover a SOPAS e inativar *Escherichia coli*. Apesar do custo desse equipamento ser elevado, ele ainda se mostra a melhor alternativa a ser aplicado em comunidades carentes e rurais uma vez que seu custo de operação e manutenção são baixos e não necessita de pessoal capacitado para operá-lo. As temperaturas máximas obtidas em cada teste foram: **teste 1: 58°C; teste 2: 58 °C; teste 3: 70°C; teste 4: 70°C; teste 5: 61,1°C , teste 6: 64°C; teste 7: 65 °C; teste 8: 70°C; teste 9: 70°C; teste 10: 68°C; teste 11: 66°C; teste 12: 63°C**

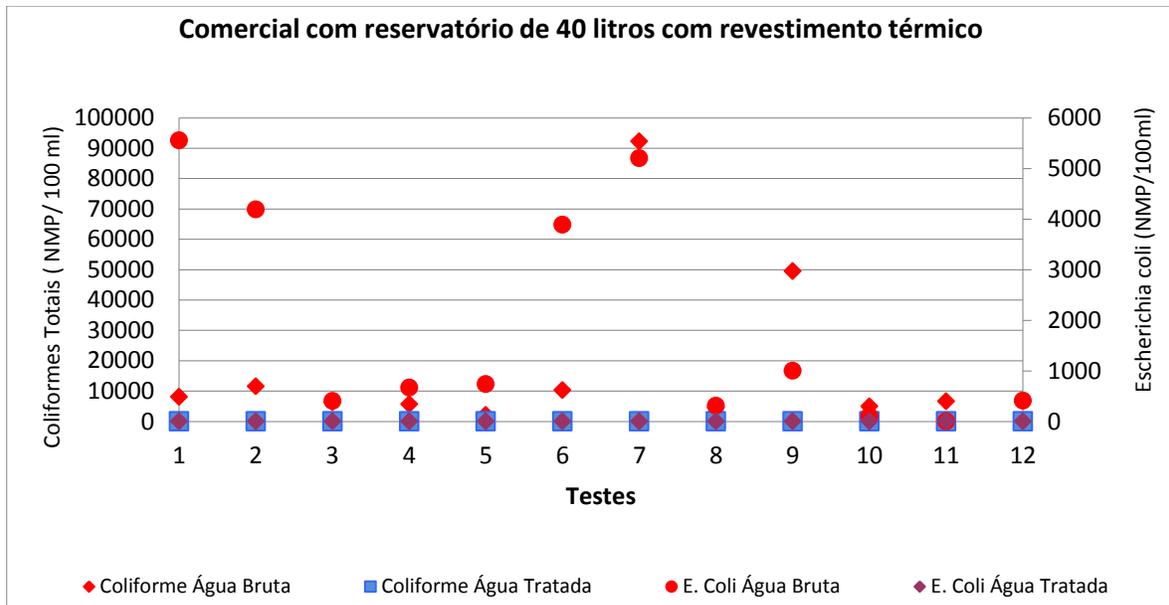
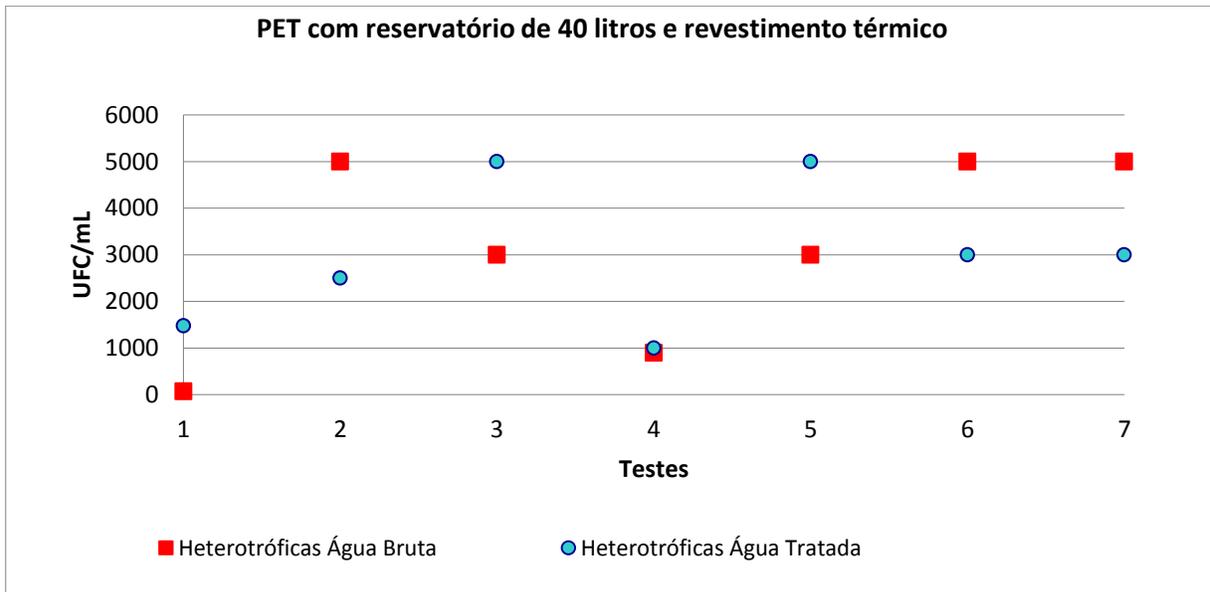


Figura 29: Resultados das análises bacteriológicas para coliformes no equipamento de aquecedor solar.

A figura 30 apresenta as concentrações encontradas pelas análises de bactérias heterotróficas nos equipamentos de baixo custo. Nota-se que essas bactérias não foram inativadas em nenhum dos equipamentos de baixo custo. Esse fato está correlacionado a baixa temperatura alcançada nesses equipamentos, uma vez que essas bactérias são inativadas somente a 96° C. A figura 30 a) apresenta a concentração dessas bactérias para o equipamento PET. Nota-se que nos testes 3 e 5, a concentração dessas bactérias foram mais elevadas do que a concentração inicial. A figura 30 b) apresenta os resultados das análises bacteriológicas para bactérias heterotróficas no equipamento PET. Devido a temperatura baixa obtida por esse equipamento, não foi possível inativar esse grupo de bactérias. Nos testes 3, 4 e 5, as concentrações dessas bactérias foram maiores do que a encontrada no início do tratamento. As temperaturas máximas obtidas em cada teste foram: **teste 1:** 44°C; **teste 2:** 42 °C; **teste 3:** 41°C; **teste 4:** 43°C; **teste 5:** 42°C , **teste 6:** 41°C; **teste 7:** 41 °C.

a)



b)

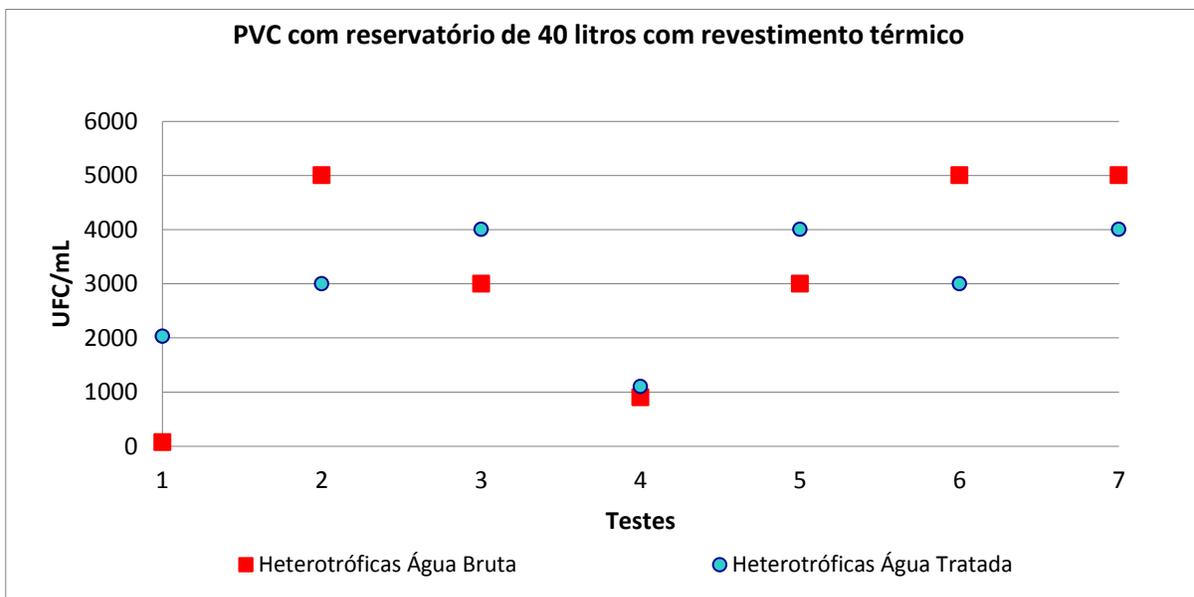


Figura 30: Concentrações encontradas pelas análises de bactérias heterotróficas nos equipamentos de baixo custo. Figura 30 a) concentração de bactérias heterotróficas nos equipamento de aquecedor solar da água de PET. Figura 30 b) concentração de bactérias heterotróficas nos equipamento de aquecedor solar da água de PVC.

A figura 31 apresenta os resultados das concentrações para bactérias heterotróficas no equipamento de aquecedor solar comercial. Nota-se que apesar desse equipamento atingir elevadas temperaturas, não foi suficiente para inativar esse grupo de bactérias, que só consegue ser inativado há temperatura de no mínimo 96°C. As temperaturas máximas obtidas

em cada teste foram: teste 1: 64°C; teste 2: 65 °C; teste 3: 70°C; teste 4: 68°C; teste 5: 63°C , teste 6: 66°C; teste 7: 70 °C.

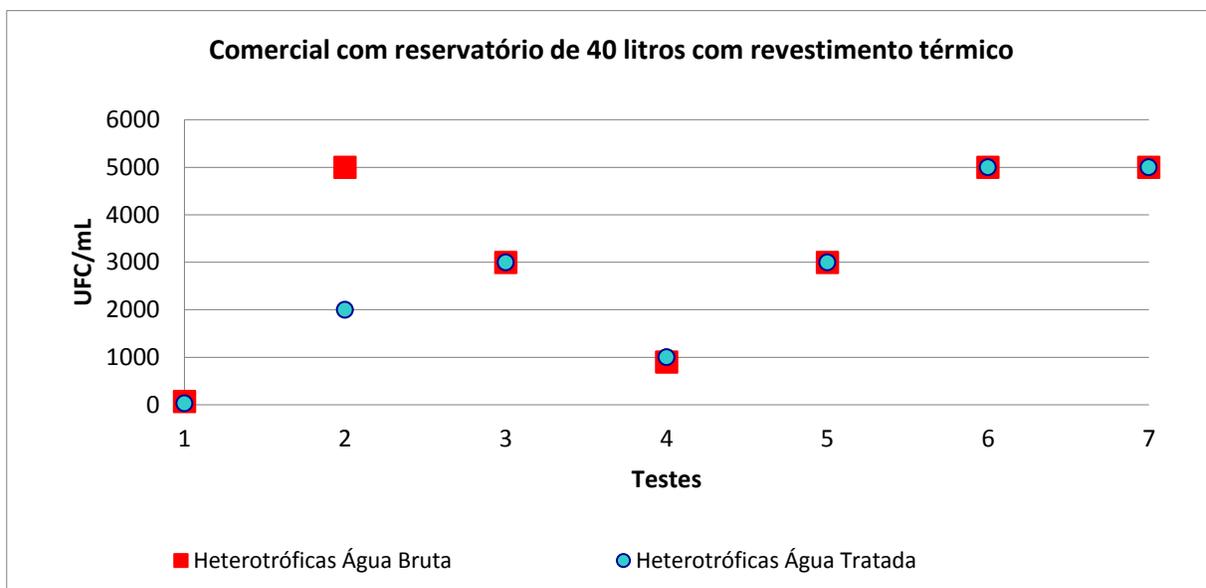


Figura 31: Resultados das concentrações para bactérias heterotróficas no equipamento de aquecedor solar comercial.

Nenhum dos equipamentos de aquecedor solar da água conseguiu inativar bactérias heterotróficas. A presença dessas bactérias na água está diretamente relacionada com a presença de *Escherichia coli*. Quanto maior a concentração de bactérias heterotróficas, menor a de *Escherichia coli*.

6.0 CONCLUSÃO

O presente trabalho nos permitiu concluir que:

1. Ao se aplicar as ferramentas de projetos: check list, entrevistas e levantamentos fotográficos e pesquisa de campo nas propriedades rurais, estas se mostraram uma importante fonte de informações para a execução de todo o projeto de pesquisa, pois caracterizou o público alvo e permitiu verificar a melhor alternativa a ser implantada em comunidades carentes e rurais.
2. Ao aplicação das ferramentas de projetos identificou que essa população não possuía nenhuma forma de acesso a água tratada. Assim, foi possível definir que essas populações necessitam de um sistema para tratamento da água para consumo humano que tenha um baixo custo, assim, sua implantação seria viável nessas áreas;
3. A pasteurização solar da água (SOPAS), foco de estudo desse projeto de pesquisa, se mostrou uma excelente alternativa para ser aplicada em comunidades rurais ;
4. O equipamento de aquecedor comercial, foi o único que inativou bactérias do grupo coliformes, uma vez que atingiu temperaturas médias de 60 a 70 °C. Mesmo em dias onde sua temperatura não foi superior a 50°, as bactérias do grupo coliforme foram inativadas. Esse fato pode estar associado a ação bactericida do cobre;
5. Apesar do equipamento de aquecedor solar comercial ter se mostrado eficiente na inativação de bactérias do grupo coliformes pela através da pasteurização solar, seu custo ainda é elevado e sua aplicabilidade em comunidades carentes ainda se torna inviável;
6. Os equipamentos de aquecedor solar da água de baixo custo apresentaram temperaturas insuficientes para inativação de bactérias do grupo coliformes. Todavia, em alguns testes, a concentração final de bactérias foi menor do que a inicial, demonstrando a tendência de inativação dessas bactérias. Assim, sugere-se que novos estudos sejam realizados para substituir as tubulações de PVC por mangueiras com alta resistência a radiação solar. Assim, acredita-se que seu resultado quanto a inativação de bactérias do grupo coliformes seja possível.
7. Os equipamentos de baixo custo, necessitavam de constante manutenção para seu perfeito funcionamento;

8. Nenhum dos equipamentos estudados conseguiu inativar bactérias heterotróficas uma vez que sua inativação só é possível a uma temperatura superior há 96° C. Sua inativação também de faz necessário pois sua presença na água é um indicativo da qualidade da mesma.
9. O mapeamento da energia solar brasileira permitiu definir as áreas com o maior potencial de desenvolvimento de sistemas alternativos para tratamento de água que utilizem a energia solar. Esse mapeamento, também serve de base de dados para outros trabalhos, uma vez que esses mapas temáticos não estão disponíveis para o público em geral.

7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O projeto de pesquisa realizado, se mostra uma excelente alternativa a ser aplicado em comunidades carentes, rurais e em situações emergenciais para disponibilizar água para consumo humano no Brasil com boa qualidade, uma vez que, a energia solar encontra-se disponível em todo território brasileiro.

Sugere-se que a pesquisa tenha continuidade avaliando a tendência de inativação do grupo coliformes com os equipamentos de baixo custo estudados nesse projeto todavia substituindo as tubulações de PVC por materiais com resistência a radiação UV. Dessa forma, acredita-se que sua durabilidade seja maior quando expostos as intempéries e não apresentaria restrições ao aumento de temperatura.

8.0 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALDABÓ, R. **Energia solar**. São Paulo: Artliber Editora, 2002.

ALANO, J.A . **José Alcino Alano e Família**. Disponível em: <http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/meioambiente/solar.pdf> . Acessado em abril de 2009.

ALEX , M.Z.A, NETO, F.L.M, BRITO, L.L, REIS, A.A, MACHADO, R.M.P, SOARES, S.F.A, VIEIRA, M.C.E.M, LIBÂNIO,M. **Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com turbidez e cor moderadas** Artigo técnico. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/radiacao.pdf> Acesso: 23/11/10

APHA, AWWA and WF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, Eaton, A.D, Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. (Eds.). 19th Edition American Public Health Association, 2005.

ARMACEL 2010, Cátalago de Produtos. Disponível em: <http://www.armacell.com.br/novo/catalogos/armaduct1.pdf> acessado em: 13/05/10

BRASIL: **Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.meioambiente.ufrn.br/conteudo/dma/projetos/portaria51804.pdf> Acesso: 15/09/10.

CARDOSO, L.S. *et al.* **Cryptosporidium e Giárdia em efluentes biologicamente tratados e desinfetados**. Eng. Sanit. Ambiental., v. 8, n. 4, p. 285-290, 2003.

CASLAKE,L. F; CONNOLLY ` DANIEL .J; VILAS MENON, DUNCANSON `C. M. R.R, TAVAKOLI. Javad, **Disinfection of Contaminated Water by using solar irradiation** *Applied and Environmental Microbiology*,p.1145-1150 eb. 2004

CHENG, L. C., et al. (1995) - **QFD - Planejamento da qualidade**. Belo Horizonte: FCO.

C. Tiba et al., *Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres* (Editora Universitária da UFPe, Recife, 2000).

COSTA, V, H ; FERREIRA ,J, H, S ; RODRIGUES A. **Desinfecção de água doce por radiação solar**. II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica João Pessoa - PB – 2007

Daniel et al 2001 DANIEL, L.A., BRANDÃO, C.C.S., GUIMARÃES, J.R., LIBÂNIO, M., LUCA, S.J., **Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável** ABES/ PROSAB 2. Rio de Janeiro. 139p., 2001

EAWAG/SANDEC, 2005 EAWAG/SANDEC. **Desinfección Solar del Agua - Guia de Aplicación**, Cochabamba, Bolívia. 80p, 2005

FÉLIX, L. F, ORELLANA, C. S, LIMA .ÁLVARO S. **Solar Water Disinfection in northeast Brazil: Kinetics of the process and the study for the development of a pilot plant** Journal of engineering Science and Technology Vol. 04, nº 3 (2009) 328-343

FRANCO, B.D.G.M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. Atheneu: São Paulo, 2003. 182p.

GUSTAFSSON et al. (1999) - **Priority setting in QFD - improvements and implications**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT, 5, 1999, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte. 1 CD.

OMS, 2008 (OMS) Organização Mundial de Saúde, 2008. Disponível em http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/en/index.html Acessado em 15 de junho de 2009.

LECHEVALLIER, M.W. et al. **Full-scale studies of factors related to coliform regrowth in drinking water**. Appl. Environ. Microbiol., Washington, D.C., v. 62, p. 2201-2211, 1996.

METCALF, ROBERT H. **The microbiology of solar water pasteurization, with applications in kenya and tanzania, 2005.** disponível em:

http://www.katharinehamnett.com/images/campaigns/csp_report/New-Methods-of-Water-Pasteurisation.pdf. Acesso: 10/10/10

PATERNIANI, J, E, S e SILVA M, J, M **Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (Sodis): Avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares**, Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol.10 - Nº 1 - jan/mar 2005, 9-13

PEIXOTO, M.O.C.; CARPINETTI, L.C.R. (1998) - **Aplicação de QFD integrando o modelo de Akao e o modelo QFD estendido**. Gestão & Produção, v.5, n.3, p. 221-237. Edição especial.

PHILIPPI Jr., A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005. 842p.

PROSAB. **Métodos Alternativos para desinfecção de água**, 2001 pág. 32. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/LuizDaniel.pdf> Acesso em: 30/10/2009.

RODRIGUES, D.G, SANTOS, S.R, FRANCISCO,A.R, , PATERNIANI, J, E, S, DEDINI, F.G. **Avaliação da Desinfecção de água com o uso de garrafas pet de diferentes coloração, IX CLIA- XXXIX CONBEA- Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola 2010**

Salih, Fadhil M . **Formulation of a mathematical model to predict solar water disinfection. Water Research 37 (2003) 3921–3927.**2003

Silva, M,J,M . **Desinfecção de Água utilizando Energia Solar (SODIS):Inativação e Recrescimento Bacteriano. Dissertação de Mestrado. Unicamp. 2004**

SILVA, S.R. *O papel do sujeito em relação à água de consumo humano: um estudo na cidade de Vitória-ES.* 2007. 305f. Tese (Doutorado em Saneamento) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SOLSONA, F; MÉNDEZ, J.P. **Desinfección de aguas**. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (CEPIS), 2002. CD-ROM.

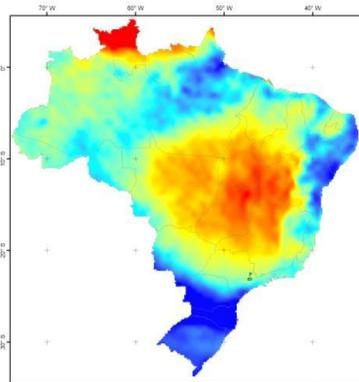
SOMMER, B., et al. **Sodis - An Emerging Water Treatment Process**, **Journal of Water Suply: Research and Technology - Aqua**, v. 46, n3, p. 127 – 137, 1997

WEGELIN,M., CANONICA,S., ALDER, A. C., MARAZUELA, D., SUTER, M.J.F., BUCHELI, Th. D., HAEFLIGER, O. P. , ZENOBI, R., McGUIGAN, K. G., KELLY, 62 M. T., IBRAHIM, P., LARROQUE, M.; **Does the Sunlight Change the Material and Content of Polyethylene Terephthalate (PET) Bottles**, **Journal of Water Suply: Research and Technology - Aqua**, 30 oct 2000

Y. JAMIL, M.R. AHMAD, K. ALI, A. HABEEB AND M. HASSAN. **Use of solar energy for disinfection of polluted water**, **Soil & Environ.** 28 (1): 13-16, 2009

ANEXO A

Mapas Temáticos da distribuição espacial da radiação solar no Brasil de maio de 2009 a dezembro de 2009



Mapa da Distribuição Espacial da Radiação Solar no Brasil

Legenda
Radiação (KJ/m²)



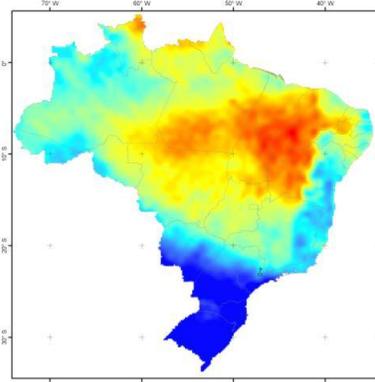
Campinas

Fonte: JRC/European Commission
Resolução Espacial: 0,25 Graus
Período de Aquisição: 3^o decênio de Maio de 2009



Datum: WGS84

Maio 2009



Mapa da Distribuição Espacial da Radiação Solar no Brasil

Legenda
Radiação (KJ/m²)



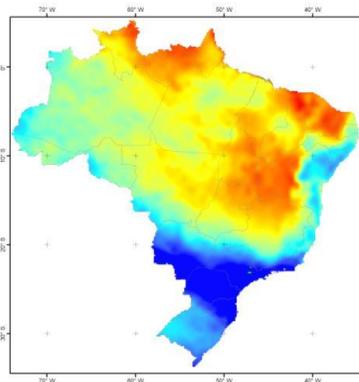
Campinas

Fonte: JRC/European Commission
Resolução Espacial: 0,25 Graus
Período de Aquisição: 3^o decênio de Junho de 2009



Datum: WGS84

Junho 2009



Mapa da Distribuição Espacial da Radiação Solar no Brasil

Legenda
Radiação (KJ/m²)



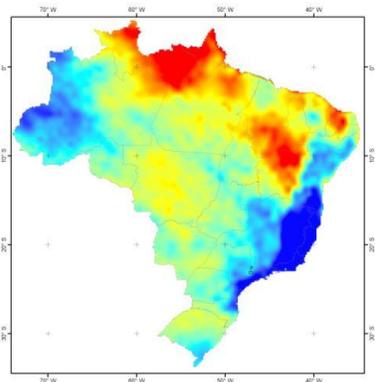
Campinas

Fonte: JRC/European Commission
Resolução Espacial: 0,25 Graus
Período de Aquisição: 3^o decênio de Julho de 2009



Datum: WGS84

Julho 2009



Mapa da Distribuição Espacial da Radiação Solar no Brasil

Legenda
Radiação (KJ/m²)



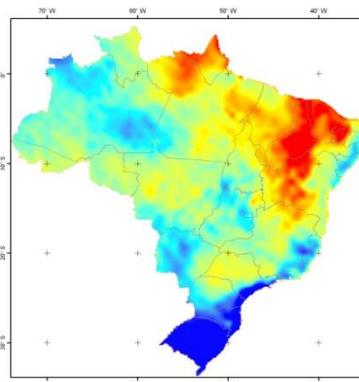
Campinas

Fonte: JRC/European Commission
Resolução Espacial: 0,25 Graus
Período de Aquisição: 3^o decênio de Agosto de 2009



Datum: WGS84

Agosto 2009



Mapa da Distribuição Espacial da Radiação Solar no Brasil

Legenda
Radiação (KJ/m²)



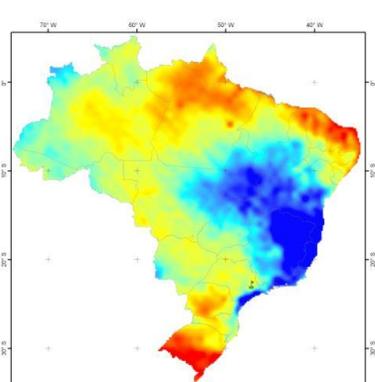
Campinas

Fonte: JRC/European Commission
Resolução Espacial: 0,25 Graus
Período de Aquisição: 3^o decênio de Setembro de 2009



Datum: WGS84

Setembro 2009



Mapa da Distribuição Espacial da Radiação Solar no Brasil

Legenda
Radiação (KJ/m²)



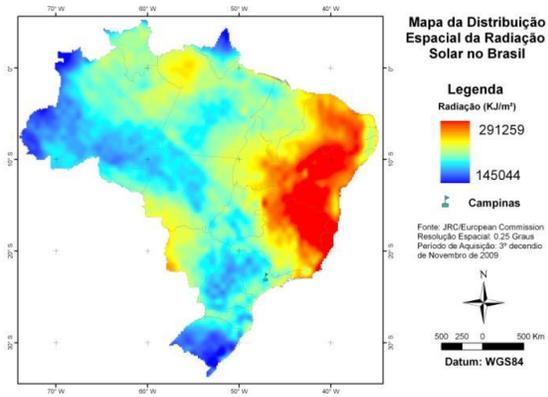
Campinas

Fonte: JRC/European Commission
Resolução Espacial: 0,25 Graus
Período de Aquisição: 3^o decênio de Outubro de 2009

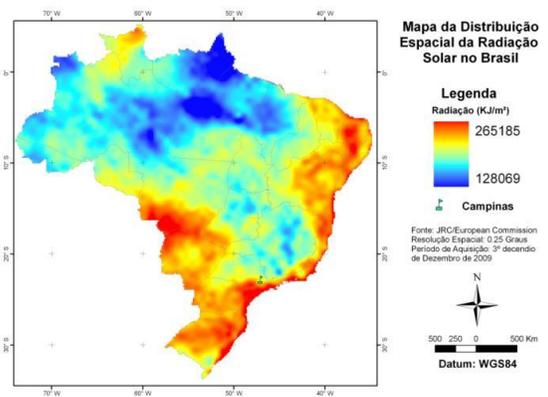


Datum: WGS84

Outubro 2009



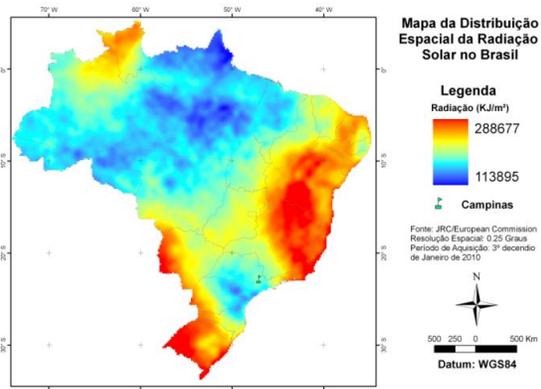
Novembro 2009



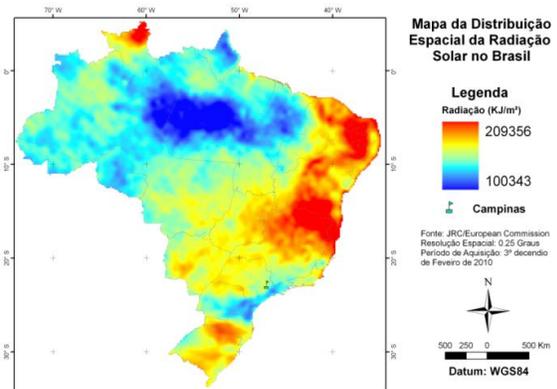
Dezembro 2009

ANEXO B

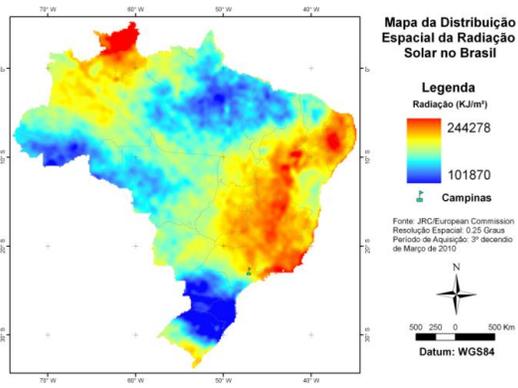
Mapas Temáticos da distribuição espacial da radiação solar no Brasil de janeiro de 2010 a novembro de 2010



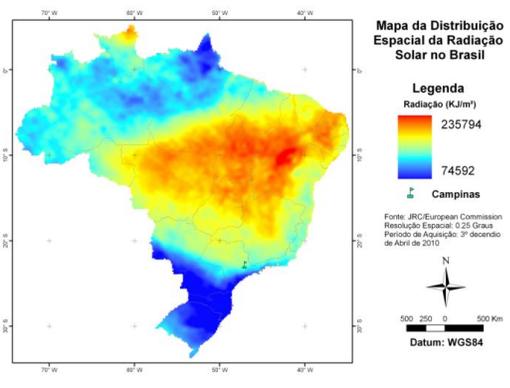
Janeiro 2010



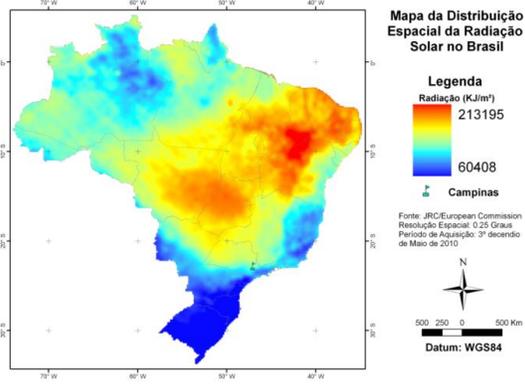
Fevereiro 2010



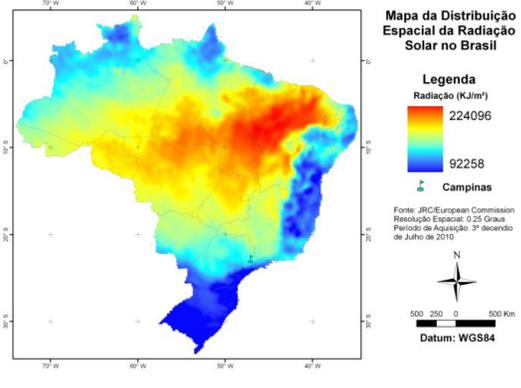
Março 2010



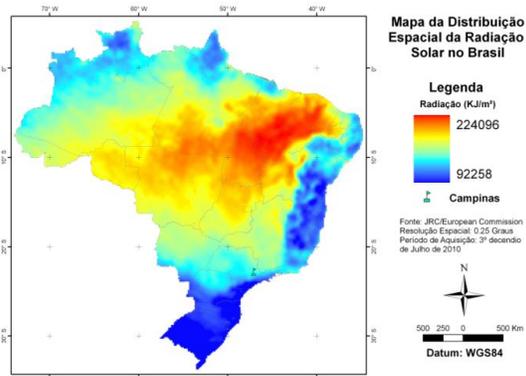
Abril 2010



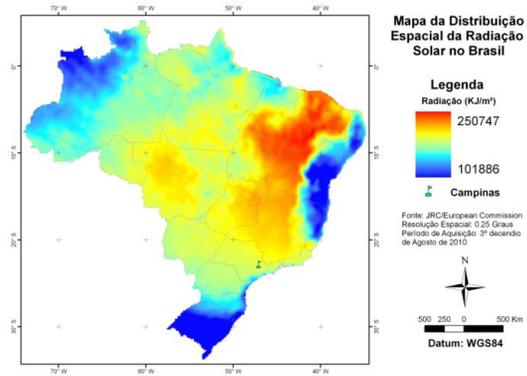
Mai 2010



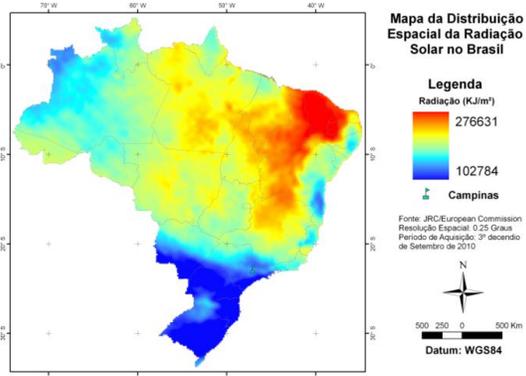
Junho 2010



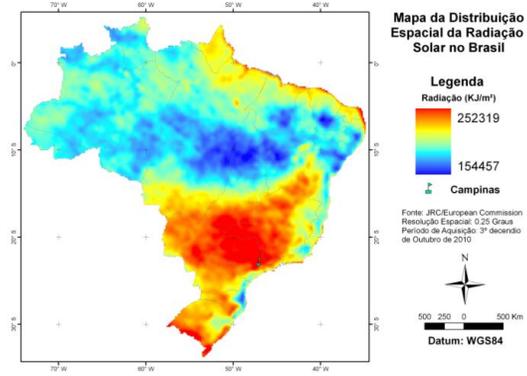
Julho 2010



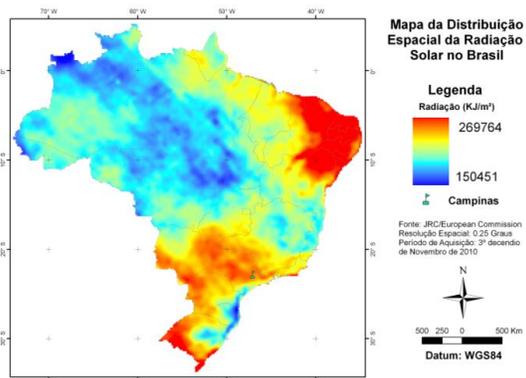
Agosto 2010



Setembro 2010



Outubro 2010



Novembro 2010