

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
E AMBIENTAL**

**DISSERTAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DA TECNOLOGIA SODIS PARA  
CONTROLE DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA  
CONSUMIDA POR MORADORES DA ÁREA DA COLÔNIA JULIANO  
DE MOREIRA/RJ.**

**LEILA CRISTINA DA COSTA BASTOS MARTINS**

**2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DA TECNOLOGIA SODIS PARA  
CONTROLE DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA  
CONSUMIDA POR MORADORES DA ÁREA DA COLÔNIA JULIANO  
DE MOREIRA/RJ.**

**LEILA CRISTINA DA COSTA BASTOS MARTINS**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Alexandre Lioi Nascentes**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra em Engenharia Agrícola e Ambiental**, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental – PGEAAmb.

Seropédica, RJ  
Maio de 2019

## FICHA CATALOGRÁFICA

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M585a Martins, Leila Cristina da costa Bastos, 31031971-  
AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DA TECNOLOGIA SODIS  
PARA CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA COMSUMIDA POR  
MORADORES DA ÁREA DA COLÔNIA JULIANO DE MOREIRA/RJ /  
Leila Cristina da costa Bastos Martins. - Rio de  
Janeiro, 2019.  
68 f.: il.

Orientador: Alexandre Lioi Nascentes.  
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro, PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, 2019.

1. TECNOLOGIA SOCIAL. 2. SAUDE AMBIENTAL. 3.  
GESTÃO HÍDRICA. I. Nascentes, Alexandre Lioi,  
1/06/1976-, orient. II Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro. PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL III. Título.

“O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de  
Pessoal de Nível Superior – (Brasil) CAPES – Código de Financiamento 001”.

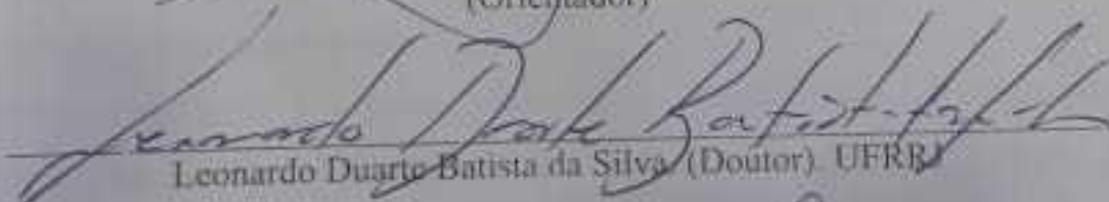
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E  
AMBIENTAL

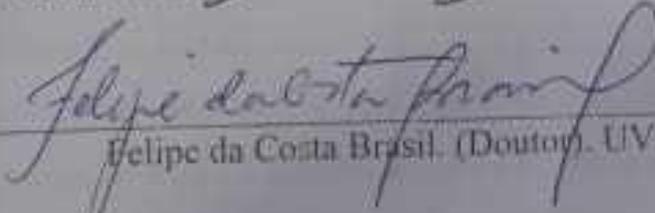
LEILA CRISTINA DA COSTA BASTOS MARTINS

Dissertação/Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestra em Engenharia Agrícola e Ambiental, no curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, área de Concentração em Meio Ambiente.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM:

  
Alexandre Lior Nascentes (Doutor) UFRRJ  
(Orientador)

  
Leonardo Duarte Batista da Silva (Doutor) UFRRJ

  
Felipe da Costa Brasil (Doutor) UVA

## AGRADECIMENTOS

A todos os moradores das comunidades presentes no Campus FIOCRUZ da Mata Atlântica e em especial a toda a família de Dona Fatima que abriu, as portas de sua casa e o seu quintal, compartilhando a história de sua família neste território, fundamental para a elaboração deste trabalho.

Ao Diretor Gilson Silva, Coordenador Executivo do Programa de Implantação do Campus FIOCRUZ da Mata Atlântica, pela infraestrutura disponibilizada para a realização dos trabalhos de campo.

Ao meu Orientador Doutor Alexandre Lioi Nascentes pela gentileza de abraçar o meu projeto e o meu propósito de ajudar a esta comunidade.

Ao amigo de trabalho Patrick Rosa, Arquiteto recém-chegado ao campus CFMA que desenhou primorosamente todo o esquema do Sistema SODIS em série, utilizado neste projeto e a toda a equipe de Arquitetura.

Ao amigo de trabalho Lucio Bombeiro Hidráulico do CFMA que confeccionou todo o sistema com precisão ao desenho elaborado e à sua ajuda na coleta das amostras.

Agradecimento à Maria Affonso Penna, que com sua experiência, com grande gentileza no desenvolvimento de meu projeto na parte de georreferenciamento dos pontos de coleta de amostra das fontes de água e esgotamento.

Meu agradecimento à Andreia Vanini e ao Ricardo Moratelli pelo seu apoio e reconhecimento na validação profissional em minha carta de recomendação perante a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

A minha família que me deu suporte para continuar esta jornada, em particular aos meus Pais que em vários momentos tiveram paciência e carinho em cuidar do meu filho para que eu pudesse estar longe de casa cumprindo as etapas do curso de mestrado. Ao meu Mario Jassanan Martins que me deu muita força para ir e vir, e nos momentos de desespero e desânimo teve paciência para me motivar. Meu filho querido que sem entender o que se passava ficou sozinho sem as minhas brincadeiras de Mãe de menino.

Agradeço a minha amiga Marcia Teixeira, que dedicou parte do seu tempo dentre os seus afazeres a me orientar observado os seus questionamentos perante a minha tese que foi de grande valia e aprendizado.

## RESUMO

MARTINS, Leila Cristina da Costa Bastos. **Avaliação da Aplicabilidade da Tecnologia SODIS para controle da Qualidade Microbiológica da Água Consumida por Moradores Da Área Da Colônia Juliano De Moreira/RJ.** 2019. 66 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2019.

A elevada incidência de doenças de veiculação hídrica nas áreas rurais brasileiras é atribuída a inadequação dos sistemas de abastecimento e distribuição de água potável e de esgotamento sanitário. O consumo de água contaminada por agentes microbianos patogênicos é responsável pela morte de dois milhões de pessoas todo o ano no mundo. Diante dessa problemática a desinfecção da água pela radiação solar é uma solução simples, de baixo custo e eficaz, que é praticada a nível doméstico tendo como objetivo sua aplicabilidade capaz de gerar saúde. Essa metodologia consiste em submeter garrafas de água a luz solar por algumas horas, onde ação concomitante entre a temperatura e a radiação ultravioleta UVA provoca a morte dos microrganismos termotolerantes presentes na água. O estudo avalia o tempo de decaimento bacteriano e a eficiência desta técnica com base na inativação da bactéria *Escherichia coli* utilizada como bioindicador para análise dos sistemas de desinfecção solar, sob as condições climáticas de primavera e verão da cidade do Rio de Janeiro. Foi realizado o diagnóstico do território localizado na zona de amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca, dentro da Colônia Juliano de Moreira no bairro de Taquara na cidade do Rio de Janeiro/RJ, juntamente com o mapeamento dos pontos de captação de água pela comunidade local e o diagnóstico da área de aplicabilidade da tecnologia SODIS. Paralelamente foram analisadas as águas coletadas no território e a água de poço raso da área de estudo, que apresentaram resultados de contaminação microbiológica por *Escherichia coli*. Com base nos resultados de campo o sistema SODIS foi submetido a análises de três repetições de amostras em quatro horários de coleta, tendo como fonte de água, a água do poço raso da área de estudo. Os resultados da pesquisa indicam que as águas de poço freático tratadas com SODIS em série atingiram os padrões microbiológicos recomendados pela Organização Mundial da Saúde após oito horas de exposição solar.

**Palavras-chaves:** Desinfecção solar, potabilidade, mananciais de abastecimento.

## ABSTRACT

The high rate of waterborne diseases in Brazilian rural areas is attributed to inadequate water supply and sewage systems. The consumption of water contaminated by pathogenic microbial agents is responsible for the deaths of two million people all year round in the world. Faced with this problem the disinfection of solar radiation is a simple, low cost and effective solution, which is practiced as a source of energy capable of generating health. The removal of water by sunlight for a few hours, while the concomitant action between temperature and UVA ultraviolet radiation causes death of the thermotolerant microorganisms present in the water. The study evaluated the bacterial decay time and the efficiency of the technique based on the inactivation of *Escherichia coli* bacteria used as a bioindicator for the analysis of solar disinfection systems under the summer and summer climatic conditions of the city of Rio de Janeiro State of Pedra Branca, within the Juliano de Moreira Colony in the district of Taquara in the city of Rio de Janeiro / RJ, together with the mapping of local community water catchment points and the diagnosis of the SODIS application area. At the same time, they were analyzed as collected water and well water from the study area, which is a selective process of microbiological contamination by *Escherichia coli*. Based on the field results, SODIS was submitted to a series of three replicates of samples at four collection times, having as water source, well water and the study area. The results of the research were defined as groundwater waters treated with SODIS in a series reached the microbiological standard.

**Keywords:** Water Disinfection Solar, Potability, Supply sources.

## LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

<b>° C</b>	Grau Celsius
<b>%</b>	Percentual
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>a.C.</b>	Antes de Cristo
<b>APHA</b>	American Public Health Association
<b>CID</b>	Classificação Internacional
<b>CJM</b>	Colônia Juliano de Moreira
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>DNA</b>	cido Desoxirribonucleico
<b>DBO</b>	Oxigênio Dissolvido
<b>EAWAG</b>	Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática
<b>EEC</b>	E. coli enteropatognicos
<b>ESS</b>	Ensaio de endonuclease
<b>ETA</b>	Estação de Tratamento de água
<b>FeO<sub>4</sub></b>	on ferrato
<b>FIOCRUZ</b>	Fundação Oswaldo Cruz
<b>FUNASA</b>	Fundação Nacional de Saúde
<b>H<sub>2</sub> O<sub>2</sub></b>	Peróxido de hidrogênio
<b>hab/km<sup>2</sup></b>	Habitantes por quilmetro quadrado
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IDH</b>	ndice de Desenvolvimento Humano
<b>INCRA</b>	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>KMnO<sub>4</sub></b>	Permanganato de potássio
<b>L</b>	Litros
<b>LEA</b>	Laboratório de Engenharia Ambiental
<b>LQ</b>	volume líquido
<b>mg/L</b>	Miligramas por litro
<b>mL</b>	Mililitro mm/ano - Milímetros por ano
<b>MS</b>	Ministério da Saúde

<b>n°</b>	Número
<b>NBR</b>	Norma Brasileira de Regulamentação
<b>NTU</b>	Unidade Nefelométrica de Turbidez
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozônio
<b>OMS</b>	Organização Mundial da Saúde
<b>OPS</b>	Organização Panamericana de Saúde
<b>PEPB</b>	Parque Estadual da Pedra Branca
<b>PET</b>	Polietileno Tereftalato
<b>pH</b>	Potencial hidrogeniônico
<b>PVC</b>	Policloreto de Polivinila
<b>PNRH</b>	Política Nacional de Recursos Hídricos
<b>PNUD</b>	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
<b>POA</b>	Produto Oxidativo Avançado
<b>RNA</b>	Ácido Ribonucleico
<b>ROS</b>	Espécies de Oxigênio Reativos
<b>SANDEC</b>	Departamento de Água e Saneamento para Países em desenvolvimento
<b>SDT</b>	Sólidos Dissolvidos Totais
<b>SODIS</b>	Solar Water Disinfection
<b>SUS</b>	Sistema Único de Saúde
<b>TS</b>	Tecnologia Social
<b>uH</b>	Unidade de Hazen
<b>UFRRJ</b>	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
<b>UFC</b>	Unidade Formadora de Colônia
<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>V</b>	Volume
<b>VPEIC</b>	Vice-presidência de Ensino, Informação e Comunicação
<b>VPPLR</b>	Vice-presidência de Pesquisa e Laboratório de Referência
<b>WHO</b>	World Health Organization

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resultados de Turbidez das amostras dos dias 21 de setembro de 2018 e 22 de janeiro de 2019 da avaliação do território.....	54
Tabela 2	Resultados de Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) das amostras dos dias 21 de setembro de 2018 e 22 de janeiro de 2019 da avaliação do território.....	54
Tabela 3	Resultados Microbiológicos dos dias 21/09/2018 e 22/01/2019 da avaliação do território.....	56
Tabela 4	Resultados de turbidez do filtro do sistema SODIS .....	56
Tabela 5	Resultados de condutividade do filtro do sistema SODIS .....	56
Tabela 6	Resultados Microbiológicos do sistema SODIS do dia 25/04/2019.....	57

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Horários de coleta e tempo de exposição.....	41
Quadro 2	Limites Aceitáveis Pela Organização Mundial de Saúde.....	47
Quadro 3	Coleta de dados do INMET do dia 25/04/2019.....	57

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Edificação do Tempo do Engenho do Café.....	18
Figura 2	Comunidade do Fincão.....	21
Figura 3	Aqueduto Colonial do Engenho Novo.....	23
Figura 4	Parque Estadual da Pedra Branca.....	38
Figura 5	Esquema SODIS.....	45
Figura 6	SODIS em série.....	47
Figura 7	Reservatório em setembro de 2018.....	48
Figura 8	Reservatório em janeiro de 2019.....	49
Figura 9	Mapeamento dos Pontos de Coleta.....	50
Figura 10	Ponto de amostragem 01(reservatório).....	50
Figura 11	Ponto de amostragem 02 (tubulação de distribuição da água do reservatório) .....	51
Figura 12	Ponto de amostragem 03 (tubulação de distribuição da água do reservatório) .....	51
Figura 13	Ponto de amostragem 04 (tubulação de distribuição da água do reservatório) .....	52
Figura 14	Ponto de amostragem 05 (tubulação de distribuição da água do reservatório) .....	52
Figura 15	Ponto de Coleta do Quintal da agricultora familiar- Diagnóstico.....	53

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1	<b>Objetivos</b> .....	14
1.1.1	<u>Objetivo Geral</u> .....	14
1.1.2	<u>Objetivos Específicos</u> .....	14
2	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
2.1	<b>Saneamento e Saúde</b> .....	15
2.2	<b>Aspecto Histórico</b> .....	17
2.3	<b>População e Informação Sócio Econômica Estudada</b> .....	19
2.3.1	<u>Fincão</u> .....	19
2.3.2	<u>Características do CFMA</u> .....	21
2.3.3	<u>Unidade de conservação</u> .....	22
2.4	<b>Sistema Individual de Abastecimento de Água</b> .....	22
2.4.1	<u>Abastecimento de Água</u> .....	22
2.5	<b>Indicadores Microbiológicos na Desinfecção da Água</b> .....	23
2.5.1	<u>Coliformes Totais e Termotolerantes</u> .....	24
2.6	<b>Tecnologia SODIS</b> .....	25
2.6.1	<u>Princípios de Funcionamento</u> .....	25
2.6.2	<u>Fatores que Influenciam a Desinfecção Solar</u> .....	26
2.6.3	<u>Espectro Eletromagnético e Radiação Ultravioleta</u> .....	27
2.6.4	<u>Mecanismo de Ação da Radiação Solar no Microrganismo</u> .....	28
2.6.5	<u>Presença de Oxigênio</u> .....	30
2.6.6	<u>Temperatura e Tempo de Exposição Solar</u> .....	31
2.6.7	<u>Experimentos de Inativação</u> .....	32
2.7	<b>Pré-tratamento e pós- tratamento por filtração em meio granular</b> .....	34
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	38
3.1	<b>Procedimentos Metodológicos e Fontes de Dados</b> .....	39
3.2	<b>Estudo de Caso</b> .....	42
3.3	<b>O Procedimento do Estudo</b> .....	43
3.3.1	<u>Coleta de Dados da Área de Estudo</u> .....	43
3.3.2	<u>Unidade Experimental do Sistema SODIS</u> .....	45

3.3.2.1	Esquema do Sistema SODIS em Série.....	45
3.4.	<b>Avaliação de Desempenho de Produção.....</b>	46
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	48
4.1	<b>Diagnóstico das Condições da Área de Estudo.....</b>	48
4.1.1	<u>Abastecimento de Água.....</u>	48
4.1.2	<u>Mapeamento dos Pontos de Captação de Água.....</u>	49
4.1.3	<u>Diagnóstico das Condições da Área de Estudo.....</u>	52
4.1.4	<u>Ponto de Coleta da Propriedade onde foi instalado o SODIS.....</u>	53
4.2	<b>Aspecto Qualitativo das Amostras do Território.....</b>	53
4.2.1	<u>Resultado microbiológico.do território.....</u>	55
4.3	<b>Aspectos Qualitativos das amostras do Sistema Desinfecção Solar (SODIS).....</b>	56
5	<b>CONCLUSÕES.....</b>	59
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	60

## 1 INTRODUÇÃO

A inadequada gestão dos recursos hídricos tendo como exemplo o lançamento de esgotos domésticos, industriais e de atividades rurais nos corpos hídricos contribui para a deterioração dos ambientes aquáticos e os diversos usos múltiplos que a água pode proporcionar (FÉLIX, 2010).

De acordo com o último censo demográfico realizado no Brasil no ano de 2010 pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), foi encontrado o índice de 10,03% de abastecimento de água por poços ou nascentes nos domicílios particulares permanentes do país e 7,12% de domicílios que contam com outra forma de abastecimento de água.

No Brasil, as condições de saneamento ambiental são deficientes. Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, apenas 55% dos municípios brasileiros possuíam, em 2008, rede coletora de esgoto. Do total do esgoto coletado, apenas 68,8% passavam por algum tipo de tratamento antes de ser depositados nos corpos dos rios, 12,8% dos municípios a água fornecida era apenas parcialmente tratada ou não passava por nenhum tipo de tratamento em 6,6% da população (IBGE, 2011).

A pesquisa envolve saúde pública relacionadas ao tratamento e ao abastecimento de água potável na localidade da Colônia Juliano de Moreira no bairro da Taquara na cidade do Rio de Janeiro-RJ, onde residem agricultores familiares. Esta região fica na zona de amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca onde a distribuída pelas redes de abastecimento de água potável é precária.

Dentre a tecnologia sustentável estudadas a que visa promover a desinfecção da água tornando a potável com a eliminação de patógenos é a SODIS (*Solar Water Disinfection*) de baixo custo, sustentável e de fácil aplicabilidade. Foram realizadas amostras de água para o diagnóstico do território e amostras de água no sistema SODIS para avaliação da sua aplicabilidade e o nível microbiológico com o indicador microbiológico *E.coli*.

Esta tecnologia apresenta grandes possibilidades de ser aplicada nas residências dos moradores da colônia juliano de Moreira para garantir qualidade microbiológica da água consumida, por apresentar resultado negativo ao indicador microbiológico em três amostras consecutivas após oito horas de exposição do sistema SODIS.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as condições e propor alternativas para o abastecimento de água de consumo dos moradores da área da colônia Juliano de Moreira, localizada na zona oeste da cidade do rio de Janeiro/RJ.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a aplicabilidade da tecnologia SODIS para o local de estudo;
- diagnosticar as condições do local de estudo quanto ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário;
- identificar e georreferenciar os pontos de captação de água (poços, nascentes, córregos) utilizadas pelos moradores da área de estudo;
- avaliar aspectos quantitativos e qualitativos da água consumida pela comunidade;
- avaliar a aplicabilidade da filtração direta para o local de estudo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Saneamento e Saúde

As reservas hídricas do Brasil apresentam reduzidas devido ao sistema de gestão centralizadora voltada para priorizar o setor hidrelétrico na produção de energia (LOBO et al., 2013). Neste contexto os demais setores interessados e dependentes da qualidade da água, principalmente o setor de saneamento, ficaram sem o poder de decidir sobre o uso dos recursos hídricos como o caso das bacias hidrográficas

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei 9.433/97, ao incorporarem o princípio do aproveitamento múltiplo e integrado dos recursos hídricos, resultando em uma gestão de águas que contemplasse aspectos quantitativos e qualitativos. Ganha destaque as questões da poluição hídrica por drenagem e disposição de resíduos sólidos, os serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário (DEDINI, 2007).

A contaminação recursos hídricos naturais com rios, mananciais e águas subterrâneas são os principais riscos à saúde pública e de estreita relação entre a qualidade de água e inúmeras enfermidades que acometem as populações, especialmente aquelas não são atendidas por serviços de saneamento. A relação entre as condições de saneamento e de meio ambiente e o quadro epidemiológico é reconhecida pelos legisladores brasileiros que, por exemplo, na Lei 8.080/90 – que dispõe sobre a prestação dos serviços de saúde no País – citam tais condições como alguns dos fatores determinantes para a saúde pública (DI BERNARDO, 2012).

A necessidade de entender as condições de vida das populações levou criação e ao desenvolvimento no âmbito do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), no início da década de 1990, do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). O IDH abrange três dimensões básicas do desenvolvimento humano – longevidade, educação e renda – expressas por diferentes variáveis estatísticas: expectativa de vida ao nascer, alfabetização de adultos, matrículas combinadas nos três níveis de ensino, PIB per capita corrigido pela capacidade de compra da moeda (LOBO, et al., 2013).

O indicador de saúde pública investigado quanto à sua relação com as condições de saneamento básico foi o índice de morbidade. A base de dados consultada, nesse caso, foi o Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS), desenvolvido pelo Ministério da

Saúde, por meio de sua Secretaria de Assistência à Saúde, conjuntamente com as Secretarias Estaduais e Municipais de Saúde em todo País. Conforme determinação da Portaria MS no 1.832/94, desde 1996, as causas básicas de óbito são codificadas segundo a 10ª Revisão da Classificação Internacional de Doenças (CID-10) da Organização Mundial de Saúde. Semelhantemente, os dados de morbidade disponíveis no SIH/SUS, para os períodos de 1998 em diante, estão organizados conforme disposto na Lista de Tabulação para Morbidade da CID-10 (BUSS, 2003).

As doenças infecciosas e parasitárias constituem o Capítulo I da CID-10, no qual estão listadas inúmeras enfermidades relacionadas à contaminação das águas por microrganismos patogênicos de origem humana (amebíase, cólera, diarreias e gastroenterites, entre outras).

Os grupos específicos de doenças: cólera, febres tifóides e paratífóide, amebíase, diarreia e gastroenterite de origem infecciosa presumível, outras doenças infecciosas intestinais, leptospirose, restante de outras doenças bacterianas, hepatites virais, esquistossomose, restante de doenças transmitidas por protozoários, restante de helmintíases, outras doenças infecciosas e parasitárias. Indicadores de saneamento básico: cobertura por serviços de água e esgoto (PÁDUA, 2009).

O perfil dos níveis de saúde pública brasileira, foi percebida quanto ao atendimento domiciliar por rede de água e de esgoto (IBGE, 2008).

No Brasil, as péssimas condições sanitárias verificadas em muitas das bacias hidrográficas densamente e desordenadamente ocupadas, resultam na degradação dos elementos naturais e, obviamente, dos recursos hídricos. É realidade comum o lançamento de esgotos sanitários não tratados, a disposição inadequada de resíduos sólidos nas mediações de cursos d'água ou em locais sem infraestrutura adequada, loteamentos clandestinos (SANTOS, 2009).

A correlação entre os indicadores de saúde e a cobertura por serviços de água e esgoto pode ser também facilmente visualizada na avaliação do universo dos municípios brasileiros. Saúde pública está diretamente correlacionada pela abrangência dos serviços de água e de esgotamento sanitário, do que pelo potencial hídrico. Tal constatação evidencia a importância da discussão das interfaces da gestão de recursos hídricos com setores dependentes de água de boa qualidade, em especial, com o setor de saneamento, sob cuja responsabilidade encontram-se os serviços de água e de esgotos indispensáveis à promoção da saúde pública. (SILVA, 2010)

## 2.2 Aspecto Histórico

A região de Jacarepaguá doação de terras em 1594, ocupada por plantações de cana-de-açúcar, a região inicialmente ocupada para atividades rurais durante o período colonial (SILVEIRA, 2013).

No período imperial a região se manteve agrícola, durante o século XIX, o plantio de cana-de-açúcar deu espaço ao plantio de café (FIOCRUZ, 2004). Ainda nesta época Jacarepaguá apresentava o maior número populacional da cidade, cerca de 7.300 habitantes (sendo 5.000 escravos), apresentando polos de ocupação, no entorno das fazendas, assumindo um caráter mais urbano, com comércios e ruas (FIOCRUZ, 2004).

As vias de acesso ao centro da cidade do Rio de Janeiro eram realizadas por uma única estrada e por meio de carroças. A estrada de ferro da cidade do Rio de Janeiro foi inaugurada em 1858, cuja estação mais próxima de Jacarepaguá era a de Cascadura. Em 1875 Os bondes de tração animal, foi inaugurado em 1875, já 1912, os bondes elétricos (ARAÚJO, 1995). Na mesma época, com a inauguração da linha amarela, Jacarepaguá recebeu mais 80 mil habitantes (ARAÚJO, 1995).

Na data de 1924 a Fazenda de Engenho Novo, anteriormente uma grande produtora de cana de açúcar da época, foi desapropriada pela União e nela foi inaugurada a Colônia de Alienados de Jacarepaguá, que mais tarde viria a ser chamada Colônia Juliano Moreira-CJM (FIOCRUZ, 2004).



**Figura 1** - Edificação do Tempo do Engenho do Café

Na década de 80, a Reforma Psiquiátrica promove o Movimento Antimanicomial com o fim da hospitalização. Com a Constituição de 1988 e a implantação do Sistema Único de Saúde (SUS), iniciou-se o processo de municipalização dos hospitais federais na década de 90, que transformou a CJM em uma Unidade de Saúde Municipal – o Instituto Municipal de Assistência à Saúde Juliano Moreira/IMASJM (FIOCRUZ, 2004).

Em 2003, Jacarepaguá é a terceira região produtora de empregos, com mais de 500.000 habitantes (SMURJ, 2003). Nesta época o desmembramento da CJM, onde suas áreas foram divididas e distribuídas para instituições públicas (FIOCRUZ, 2004).

Os setores da CJM foram concedidos à Secretaria Municipal de Saúde, à Secretaria Municipal de Habitação, ao Ministério do Exército, à Secretaria de Vigilância em Saúde (Centro de Referência Professor Hélio Fraga) e à Fundação Oswaldo Cruz.

O Campus FIOCRUZ Mata Atlântica que está inserido no Setor 1 setor concedido) onde constam cinco comunidades: Caminho da Cachoeira, Faixa Azul, Fincão, Sampaio Corrêa e Viana do Castelo, abrigando mais de 700 moradores em 194 residências, a maioria remanescente de famílias de funcionários da CJM (FIOCRUZ, 2004).

As comunidades inseridas na área do campus apresentam aspectos bastante variados. Quanto ao no processo de ocupação os moradores titulares, a maioria é provem do Estado do Rio de Janeiro, os demais dos Estados do Norte e Nordeste e Sudeste. Dentre os moradores, grande parte apresenta familiares na comunidade (FIOCRUZ, 2004). As moradias apresentam

em seus terrenos plantações, árvores frutíferas, ervas medicinais e verduras e legumes. Os animais também estão presentes nas residências, onde os cachorros predominam, seguidos pelas galinhas, gansos, patos, porcos e cavalos (FIOCRUZ, 2004).

Considerando as condições sócio econômicas entre as comunidades contidas no setor 1 a comunidade Viana do Castelo e Sampaio Corrêa estão em melhores condições, sendo estas as mais antigas no critério ocupação de território. O mesmo não ocorre nas comunidades do Caminho da cachoeira e do Fincão, duas comunidades de baixa renda e com características rurais bem marcantes e precárias (FIOCRUZ, 2004). Já a comunidade chamada Faixa Azul de ocupação mais recente apresenta indicadores sociais em termos de precariedade. As casas são distantes uma das outras sem grau de parentesco entre os moradores e condições habitacionais demasiadamente baixa (FIOCRUZ, 2004).

## **A Fiocruz**

A Fiocruz é uma instituição pública que tem como missão gerar e difundir conhecimentos científicos e tecnológicos em saúde pelo desenvolvimento tecnológico, ensino, produção de bens, prestação de serviços de referência e informação, onde o propósito é de apoiar de forma estratégica ao SUS e contribuindo na qualidade de vida da população e no exercício da cidadania.

Fundada, em 1900, a Fiocruz vem atuando nas áreas de doenças endêmicas, sendo reconhecida pelos estudos em que relaciona o risco à saúde da população com suas condições vida e com o meio ambiente. O reconhecimento e a avaliação pela Fiocruz dos riscos à saúde com relação a crise ambiental atuando diretamente sobre a qualidade de vida humana, animal e vegetal em razão de processos produtivos e de consumo foi discutido no Plano Quadrienal 2005-2008 exalta a Agenda 21 e sua tradução nos programas de municípios e comunidades saudáveis, sendo uma das principais estratégias na Saúde Pública.

## **2.3 População e Informação Sócio Econômica Estudada**

### **2.3.1 Fincão**

O Fincão (Figura 02) é a comunidade com características rurais, as atividades ocupacionais dos moradores, com plantações, lavouras e criação de animais, tanto para a comercialização, quanto para o consumo da família.

Composta por 37 residências, a comunidade foi iniciada a partir da década de 60, ocupando a área mais afastada do centro histórico da Colônia.

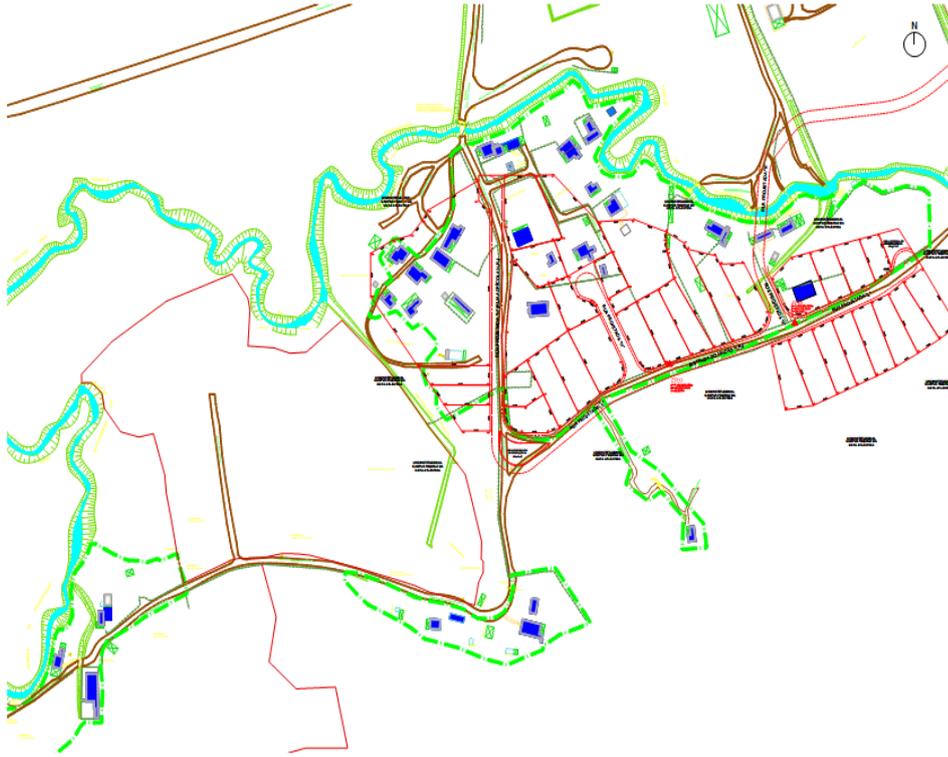
Todos os seus acessos são por ruas de terra, sem limites de largura precisos, o que dificulta o acesso a veículos (FIOCRUZ, 2004). Boa parte próximo da metade das residências encontra-se em unidade, em um amplo terreno e a outra metade compartilha o terreno com familiares. O risco de enchentes é frequente na comunidade (FIOCRUZ, 2004).

A ocupação da comunidade é heterogênia, dividida em dois setores. O setor I corresponde ao trecho da localidade situado próximo da Travessa da Paz, que apresenta um maior número de moradias, em terrenos menos amplos e com pouca produção rural. O setor II está localizado na porção final da Rua Agrícola e apresenta uma maior altitude, além de um número menor de casas situadas em terrenos mais amplos, uma grande cobertura vegetal e uma maior quantidade de produtores rurais. A quantidade de idosos nesta região não é expressiva, porém apresenta baixo grau de escolaridade e baixa renda na maioria das famílias comparada as comunidades do campus (FIOCRUZ, 2004).

Os moradores se dividem em produtor rural, funcionário da Colônia e ou atuam no mercado informal de serviços. É onde há menos pessoas desempregadas (FIOCRUZ, 2004).

A comunidade faz parte do Sindicato dos Produtores Rurais do Pau da Fome e possui inscrições no Instituto Nacional Colonização e Reforma Agrária (INCRA) (FIOCRUZ, 2004).

A iluminação das residências, antes realizada pela CJM de forma precária, agora é fornecida pela Light. O abastecimento de água se dá por meio do sistema da cachoeira e não há sistema de coleta de esgotos, o esgoto corre a céu aberto formando valas negras que caminham para o córrego presente na localidade.



**Figura 2 - Comunidade do Fincão**

Fonte: Arquivo digital da Equipe de Arquitetura do CFMA.

### 2.3.2 Características do CFMA

O Campus FIOCRUZ Mata Atlântica é uma unidade da FIOCRUZ única em todos os aspectos institucionais. Apresenta o Maciço da Pedra Branca ao fundo e toda a cobertura vegetal da Mata Atlântica. Proporciona um laboratório ambiental único devido a grandiosidade da sua reserva natural contribuindo significativamente para qualidade de vida de todo município. O entorno do campus é repleto de importantes referências geográficas e construídas, tais como o próprio Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB), que consiste em um marco paisagístico natural referencial para todo o Município.

O Plano Diretor - avaliação dos impactos ambientais ligados a esses projetos e o planejamento de desenvolvimento sustentável, incluindo propostas para a solução de problemas ambientais, como falta de saneamento básico, tratamento de água e lixo, serão consideradas.

Estas ações visam à integridade do patrimônio da Fiocruz e o estabelecimento de relações estáveis com a comunidade residente, atendendo às condições mínimas de

habitabilidade e inter-relações sociais e ambientais, observando nossa missão institucional em zelar pela saúde da população brasileira.

### 2.3.3 Unidade de conservação

O Campus Fiocruz Mata atlântica inaugurou em 8 de outubro de 2017 a Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica com intuito de ser um laboratório natural de apoio e estímulo a estudantes, cientistas e a comunidade contida no ambiente de pesquisa. Estações biológicas têm papel estratégico na compreensão de questões biológicas associadas a mudanças climáticas, perda de biodiversidade, espécies invasoras e exóticas e declínio de polinizadores. São usadas para ajudar a biodiversidade, a conservação ambiental e a pesquisa sobre o manejo de ecossistemas.

A Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica tem 430 hectares, e situa-se sobreposta à vertente leste do maciço da Pedra Branca. O espaço conta com facilidades para pesquisa, como pavilhão de cursos (com seis salas de aula, auditório e secretarias), sala de reunião, sala de videoconferência e laboratórios. O espaço, que vem coroar um processo iniciado em 2003, será a primeira do município do Rio de Janeiro, a primeira vinculada ao Ministério da Saúde, a primeira a acolher a pesquisa em biodiversidade e saúde no país e a terceira localizada em área de influência humana elevada no mundo. A valorização do conhecimento das comunidades tradicionais, com capacitação de moradores para ajudar pesquisadores; estruturação de um repositório na Arca Fiocruz; e a instalação de uma estação meteorológica. A Estação Biológica é coordenada pela Presidência da Fiocruz, com assessoria do CFMA e das vice-presidências de Ensino, Informação e Comunicação (VPEIC), de Pesquisa e Laboratórios de Referência (VPPLR) e das unidades com interesses afins às atividades desenvolvidas.

## 2.4 **Sistema Individual de Abastecimento de Água**

### 2.4.1 Abastecimento de Água

A região estudada está inserida na bacia hidrográfica do Córrego do Engenho Novo e o restante na bacia hidrográfica do Rio Pavuninha, ambas pertencentes à macro-bacia hidrográfica de Jacarepaguá (FIOCRUZ, 2004).



**Figura 3-** Aqueduto Colonial do Engenho Novo

### **2.5 Indicadores Microbiológicos na Desinfecção da Água**

Os microrganismos indicadores são organismos que representam de forma similar aos patógenos quando expostos as condições ambientais no processo de tratamento de desinfecção da água. O nível populacional dos microrganismos indicadores presentes nas amostras de água é um dado importante quanto a sobrevivência do grupo de patógeno que pode estar presente após o processo de desinfecção (WHO, 2011).

Os organismos patógenos estão classificados em: vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Os patógenos humanos causam diversas doenças de trato gastrointestinal, como febre tifóides, diarreias, disenterias e cólera, ocasionando agravos a saúde e milhares de morte.

Observados os padrões da legislação de potabilidade da água, o processo deve ter como base a inativação de organismos indicadores de contaminação fecal. O sucesso da desinfecção está diretamente ligado a tolerância de cada grupo de patógeno presente na água e a eficiência

do processo, que pode variar dependendo das condições climáticas e de operação. É importante considerar as características dos patógenos em meio as condições ambientais aos quais serão expostos e a tecnologia utilizada, de forma que interfiram em seus ciclos de vida e de transmissão de doenças (CAVALCANTE, 2007).

### 2.5.1 Coliformes Totais e Termotolerantes

Coliformes indicam a presença de microrganismos patogênicos na água; os coliformes fecais existentes em grande quantidade nas fezes humanas e, quando encontrado na água, demonstra que a mesma recebeu esgoto doméstico, podendo conter microrganismos causadores de doenças (WHO, 2011).

Os patógenos não habitam somente o trato gastrointestinal, podem ser encontrados em pastagens, solos, plantas submersas e mesmo em outros lugares do organismo, sendo por isso, denominados coliformes totais. Apesar da água não fornecer as condições ideais para a multiplicação dos microrganismos patogênicos, esses microrganismos geralmente sobrevivem nela tempo suficiente para permitir sua transmissão hídrica (WHO, 2011).

O grupo coliforme é considerado um grupo complexo onde existem microrganismos de origem fecal e não fecal.

Os coliformes totais, fecais e estreptococos fecais podem ser utilizados como indicadores de poluição fecal na água. Estes indicadores são utilizados porque estão presentes nas fezes dos animais homeotermos (WHO, 2011).

Os coliformes totais existem na água em baixíssimo número e os coliformes fecais não existem na água de forma autóctone, pois são microrganismos que não existem nas fezes dos peixes. O decréscimo de coliformes na água é praticamente igual ao das bactérias patogênicas intestinais e são facilmente isolados por técnicas rápidas e econômicas (BUSS et al., 2003).

O grupo de coliformes totais apresentam gêneros que não são de origem fecal impossibilitando ser este grupo indicador de contaminação fecal. Partindo deste fato foi desenvolvido o método de enumeração de um subgrupo de coliformes denominado coliformes fecais termotolerantes, os quais se diferenciam por produzir lactose no seu processo fermentativo em temperaturas elevadas de 44° à 45°C. *Citrobacter*, *Klesbsiella* e *Enterobacter* fazem parte do grupo de coliformes fecais termotolerantes, onde o gênero predominante em amostras de água é *Escherichia coli*. A capacidade de produzir endol a partir da molécula de

triptofano e também pela produção da enzima p-glucuronidase faz com que a *Escherichia coli* se diferencie dos demais microrganismos classificados como coliformes termotolerantes. Neste contexto se destaca sendo o melhor indicador de contaminação fecal em programas de monitoramento da qualidade da água potável (BUSS et al., 2003).

Segundo a Resolução nº430/2011 define a bactéria *Escherichia coli* como pertencente à família Enterobacteriaceae e caracterizada pela sua atividade enzimática  $\beta$ -glicuronidase.

A *Escherichia coli* é uma habitante normal no trato-intestinal em animais de sangue quente (BRASIL, 2011).

Considerada uma clássica indicadora de presença de patógenos entéricos nas águas através do teste cromofluorescente baseado na expressão enzimática (MORGADO, 2008).

Portanto sua sobrevivência na água pode ser afetada por parâmetros como: oxigênio dissolvidos, pH, nutrientes, competição por outras bactérias, sedimentação de partículas, radiação solar e DBO. No homem, ela é responsável por metabolizar uma considerável quantidade de vitaminas e exerce o importante papel de reprimir a multiplicação de bactérias prejudiciais à saúde. Mas a *E.coli* compreende, na verdade, um grande grupo de microrganismos, que se subdividem em sorotipos diferentes. Alguns deles, chamados de *E.coli* enteropatogênicos (EEC), são capazes de provocar infecções intestinais, algumas de certa gravidade. Outro grupo de microrganismos que devem ser pesquisados na água são os aeróbios mesófilos, dentre os quais estão os microrganismos patogênicos e outros que são patogênicos oportunistas. Assim, não se pôde separar coliformes de origem humana dos coliformes de origem animal, pois na realidade o grande perigo potencial na água é a presença de fezes humanas (WHO, 2011).

## 2.6 Tecnologia SODIS

### 2.6.1 Princípios de Funcionamento

O sol como fonte de energia primária de radiação ultravioleta e de crescente aplicação, tem sido uma alternativa aos agentes químicos nos métodos de desinfecção da água de abastecimento.

A utilização do sol como fonte inesgotável de energia ultravioleta de forma a não necessitar de gastos em processos intermediários para o seu consumo faz desta metodologia uma ótima alternativa de baixo custo no processo desinfecção da água. Existem outras fontes de radiação ultravioleta emitidas por lâmpadas incandescentes e fluorescentes, soldas elétricas equipamentos a laser e maçarico de plasma (LOBO et al., 2009)

O processo consiste na inativação e destruição de microrganismo resultando na desinfecção da água (AMARAL et al., 2006).

O conceito de desinfecção é descrito como um processo através do qual se deseja inativar ou destruir os organismos patogênicos e outros microrganismos indesejados. Dependendo das características da água se faz necessário a união de outros processos que irão contribuir para o tratamento da água, como os físicos: filtração em membranas, radiação ultravioleta – UV, fervura; e os químicos: cloração, ozônio, dióxido de cloro (BOTTO et al., 2008).

#### 2.6.2 Fatores que Influenciam a Desinfecção Solar

A ação conjunta da radiação ultravioleta e infravermelha solar promove a redução dos microrganismos com a modificação do DNA pela ação do UVA e o aquecimento pelo infravermelho no processo de desinfecção da água (ACRA, et al., 1984).

A intensidade da radiação solar, o tempo de exposição, juntamente com a localização geográfica (latitude), as variações sazonais e os aspectos climáticos como nebulosidade, alcance efetivo dos comprimentos de onda de luz e a hora do dia. As observações quanto ao tipo de microrganismo exposto, e a composição do meio, e a presença de nutrientes capazes de suportar o crescimento e multiplicação de diferentes microrganismos; as características de absorção espectral da água (isto é, grau de turbidez) e a profundidade, fatores estes que influenciam o grau de penetração da radiação solar e a capacidade para proteger os microrganismos dos efeitos letais. (VIVAR, 2017).

Sánchez Román et al. (2007), defendem os fatores de turbidez, altura da lâmina de água sendo os determinantes para a desinfecção solar, observadas condições climáticas, tempo de exposição solar, intensidade solar, temperatura e concentração de oxigênio.

A desinfecção solar da água - SODIS, do inglês *Solar Disinfection* - é um método alternativo que apresenta o sinergismo entre a radiação solar e o aumento da temperatura da

água promovendo a destruição de microrganismos encontrados na água. Nesta técnica de desinfecção a radiação do ultravioleta ocasiona a oxidação do oxigênio dissolvido na água promovendo a formação de peróxido de hidrogênio.

A formação de radicais livres de oxigênio e radicais livres de hidroxila ( $\text{OH}^\cdot$ ) e a produção de peróxido de hidrogênio é devido a intensidade luminosa do UV que ativa molécula de oxigênio e água. Moléculas de peróxido de hidrogênio e radicais de ( $\text{OH}^\cdot$ ) interferem na composição celular. A incidência da radiação solar depende de alguns fatores como a concentração de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ , vapor da água e a poluição da atmosfera para que sua eficiência seja plena. A tecnologia é isenta de gastos energético e químico adicional o que corresponde a uma energia limpa (ACRA, et al., 1984).

Os valores de turbidez e sólidos suspensos totais fornecem dados quanto ao grau de conteúdo de partículas e coloides presentes na amostra de água prevendo possíveis entupimentos em canos e filtros de área usados na construção do sistema de tratamento da água (BAZZARELLA et al., 2005).

A tecnologia de desinfecção solar pode ser formulada em bateladas para servir a uma unidade domiciliar cujo consumo seja pequeno e em sistemas em série a fim de produzir um aumento no volume. Desta forma minimiza os impactos ambientais causados pelo consumo indiscriminado dos recursos hídricos presentes na natureza. Tornou então este tema de grande relevância no contexto ambiental, na promoção da saúde e desenvolvimento econômico em países em desenvolvimento e em comunidades de baixa renda (DI BERNARDO et al., 2012).

### 2.6.3 Espectro Eletromagnético e Radiação Ultravioleta

A intensidade de energia emitida por uma fonte é inversamente proporcional ao seu comprimento de onda, esta foi a teoria desenvolvida por Einstein em 1905. Logo o menor comprimento de ondas na escala do espectro eletromagnético apresenta maior intensidade quando absorvidas (VICTORIA, 2008).

Moléculas absorvem fótons de luz com isso sua energia interna aumenta, podendo provocar alterações bioquímicas reversíveis ou não.

A radiação ultravioleta e o raio-x provocam rompimento de ligações químicas e a ionização de moléculas, no entanto a radiação na faixa do micro-ondas promove movimentos

rotacionais moleculares. O infravermelho e a luz visível estimulam a vibração na molécula com o aumento da energia orbital (MORGADO, 2008).

A radiação solar está dividida em: radiação ultravioleta, luz visível e a radiação infravermelha. A radiação ultravioleta tem como sua origem natural a luz solar e artificialmente pelas lâmpadas de mercúrio ionizado de baixa e média pressão (MORGADO, 2008).

A desinfecção por radiação ultravioleta artificial consiste, na transferência de energia eletromagnética das lâmpadas de mercúrio incidindo nas células dos microrganismos (BERNEY et al., 2006).

A penetração da radiação nas células atinge moléculas de ácidos nucleicos presentes no núcleo celular, ocasionando danos na composição genética da célula, interferindo nas suas funções reprodutivas (BOTTO et al., 2006).

A luz ultravioleta se divide em: UV-A: que está na faixa de 315nm a 400nm sendo a de menor perigo para os humanos, devido a sua baixa energia. Utilizada em fototerapia e câmara de bronzeamento. O UV-B: está na faixa de 280nm a 315nm causa danos ao tecido biológico promovendo o câncer de pele. O UV-C: está na faixa de 200nm a 280nm, onde os valores entre 245nm e 285nm são considerados germicidas para a inativação de microrganismos, dentro desta faixa o comprimento de 254nm é bactericida. No entanto em 260nm ocorre a absorção máximo pelo material genético da célula viva. Observar que o comprimento de onda de 254nm é relativo à emissão máxima das lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio. UV-Vácuo: de 40nm a 200nm caracteriza se pelo comprimento de onda na faixa, também denominado por outros autores como UV- vazio e representados pelo comprimento de onda na faixa de onda de 100nm a 200nm (SICHEL et al., 2007).

#### 2.6.4 Mecanismo de Ação da Radiação Solar no Microrganismo

A radiação de comprimento longo, como a infravermelha (700nm), proporciona o aquecimento das moléculas da água levando ao aumento da temperatura, desta forma eliminando os microrganismos sensíveis ao calor promovendo a ação bactericida por elevação da temperatura (SANTOS et al., 2009).

O aumento da temperatura tende a tornarem mais rápidos processo enzimáticos e taxas de crescimento celular, mas em altíssimas temperaturas ocorre o processo de desnaturação

proteica e a quebra de ácidos nucleicos presentes no núcleo, inviabilizando a integridade celular (SANTOS et al., 2009).

A ação germicida do UV está diretamente ligada a destruição do ácido desoxirribonucleico- DNA das células pela reação fotoquímica desencadeada pela absorção da radiação UV (FONTÁN-SAINZ et al., 2012).

O DNA é uma molécula de informação genética onde em sua composição existem duas cadeias de nucleotídeos unidas pela interação entre bases proteicas através de pontes de hidrogênio. Estas bases proteicas são denominadas: Adenina e Guanina (Purina) e Citosina e Timina (Piridimidinas) (GOMEZ-COUSO et al., 2009b).

A ligação por ponte de hidrogênio presente entre as bases emparelhadas configura a união das fitas de DNA dando origem a dupla hélice (SCHUCH et al., 2009)

A absorção máxima das radiações pelo material genético celular está próximo comprimento de onda de 260nm (UBOMBA-JASWA et al., 2010).

Os dímeros formados provocados pela radiação ultravioleta resultam na formação de timina-timina, timina-citosina e citosina-citosina. As moléculas resultantes deformam a estrutura helicoidal do DNA e dificultam a replicação do ácido nucleico. Pode levar a erro na transcrição, ou impedir a divisão celular, com consequente prejuízo ou morte celular (SCHUCH, 2009).

A formação de dímeros de piridimidinas são considerados os mais importantes, pelo seu reparo mais lento e pela sua mutagenicidade, sendo a timina, por ter a estrutura mais simples dentre as bases nitrogenadas, a que representa maior formação de dímeros. A radiação ultravioleta gera principalmente dímeros de pirimidina no DNA das células (SCHUCH, 2009).

As ROS são conhecidas por espécies reativas de oxigênio que reagem não seletivamente com quase tudo o que entram em contato, tais como: a membrana celular, enzimas e lipídeos dos microrganismos, causando perda da função biológica e, consequente, morte celular (DESSIE et al., 2014). A indução de danos oxidativos na molécula de DNA é mais eficiente pelos comprimentos de onda de UV-A (SCHUCH et al., 2009).

De acordo com McGuigan et al. (2012) as ROS podem levar a peroxidação lipídica, formação de dímeros de pirimidina e até mesmo lesões de DNA.

No que diz respeito ao RNA (ácido ribonucleico), este é responsável pela formação de enzimas específicas para vida celular e de proteínas estruturais apresentando em sua formação bases similares as do DNA, sendo a base pirimidina formada por uracila e citosina (SCHUCH, 2009).

A fragmentação da membrana celular ocasiona a morte celular mediante a absorção das ondas UV pelas proteínas das células dos microrganismos impedindo sua reprodução (NAVNTOFT et al., 2008).

A ocorrência simultânea das radiações UV-A e infravermelha promovem a eliminação mais eficiente das células microbianas (MCGUIGAN, 2012).

O resultado do processo analítico declara a possibilidade de armazenamento em ausência luminosa da água tratada por radiação solar. A exaustão de Adenosina Trifosfato-ATP leva à morte as células danificadas. Todo o processo explica o mecanismo de inativação pela radiação solar podendo ser estendida para inativação do indicador bacteriano *Escherichia coli* (THEITLER et al., 2012).

Observados os resultados obtidos por ensaios de endonuclease- ESS, danos ao DNA foi evidenciado pelo aumento do calor da água aquecida 50°C e da permeabilidade da membrana celular permitindo a entrada moléculas de produtos reacionais produzidos pelo processo de radiação ocasionando dano celular impedindo o recrescimento da bactéria *Escherichia coli*.

O aumento da temperatura acelera a cinética química reacional molecular como resultado, a perda biológica das atividades primordiais da estrutura celular identificadas como, membrana, cromóforos, estrutura lipídica e ou proteínas (GIANNAKIS et al., 2014)

#### 2.6.5 Presença de Oxigênio

O conceito dos Processos Oxidativos Avançados-POA produtores de radicais a base de oxigênio, como os radicais hidroxila as quais possuem uma ação oxidante em compostos orgânicos e sua formação se dá mediante a radiação UV. A radiação UV promove danos ao DNA em organismos observando o grau de inativação diretamente proporcional ao comprimento de ondas onde a radiação de maior dano ao DNA é a UV-A na faixa de 320 a 400nm (THEILER et al., 2012).

Os níveis de oxigênio dissolvido presentes na água promove o efeito bactericida durante o processo da radiação solar produzindo espécies reativas como OH<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, denominadas ROS- *Reactive Oxygen Species*, (ACRA, 1984).

Botto et al. (2009) comprovaram que o aumento de teor de oxigênio na água não foi o fator determinante na eficiência da inativação de coliformes termotolerantes, estudaram a

influência da agitação prévia e sem agitação durante o mesmo período de tempo e radiação solar.

O teor de oxigênio na água pela agitação do recipiente influencia a desinfecção da água e a redução o tempo de exposição solar de cinco horas para quatro horas em temperatura média de 50 ° C e intensidade solar média acima de 800W.m-2.

Entretanto, Kehoe et al. (2001) não defende que a agitação dos recipientes com consequente aumento nos níveis de oxigênio, aumente a desinfecção solar. O autor adverte quanto ao equilíbrio nos níveis de oxigênio são menores quanto maior for a temperatura, logo inversamente proporcionais. No tempo zero da amostragem as temperaturas são baixas e os níveis de oxigênio dissolvido são altos, no decorrer do tempo e com a exposição solar ocorre o aumento de temperatura onde o oxigênio dissolvido caem devido ao processo (KEHOE et al., 2001).

#### 2.6.6 Temperatura e Tempo de Exposição Solar

Segundo Giannakis et al. (2014), em altas temperaturas ocorre a desnaturação proteica e as funções enzimáticas diminuem, juntamente com dá aumento da permeabilidade da membrana celular. Cada espécie de microrganismo apresenta uma faixa de temperatura ótima para se desenvolver plenamente, incorporar nutrientes e conduzi-los pelas vias catabólica e anabólica para o crescimento e divisão celular aumentando a sua população (APELLA et al., 2005).

No entanto os microrganismos são sensíveis à temperatura quando esta atinge uma faixa superior à temperatura máxima de crescimento microbiano, onde dos enteropatogênicos humanos e dos coliformes são superiores a 45°C (SANTOS et al., 2009).

A umidade e as temperaturas de 36°C e 37°C são os valores ideais para os agentes patogênicos presentes no intestino humanos cuja os mesmos se adaptam para viver neste ambiente (ACRA, 1984).

Diferentes linhagens da *E.coli*, uma bactéria mesófila, apresentam ligeiras alterações nas temperaturas ótimas de 39°C, máxima, a 48°C e a mínima, a 8°C quando cultivadas em meio complexo (VIVAR, 2017). Acima da temperatura máxima de crescimento e por tempo prolongado as Bactérias mesófilas não sobrevivem, o que é observado a inativação da *E. coli* à radiação solar e outras bactérias nas temperaturas acima a 45°C e à 50°C. (VELOSO, 2010).

No meio externo ao organismo humano os microrganismos patogênicos em sua maioria são sensíveis a temperaturas elevadas e a radiação solar devido a sua falta de mecanismos de proteção a estes parâmetros.

No que diz respeito a temperatura de inibição do crescimento do microrganismo, deve-se observar a espécie e a sua temperatura de inibição (SILVA, 2010).

Quanto ao percentual de redução do número de coliformes totais e *E. coli* foram respectivamente 99,9% e 100% após 12 horas de exposição solar segundo Amaral et al. (2006) com ausência de recrescimento dos microrganismos no mesmo tempo de quando exposta ao sol.

As bactérias *Escherichia coli* K12A15, *Serratia marcescens* e *Salmonella typhimurium* TA102 sofreram inativação a partir da temperatura de 47°C por 60 minutos e a Bactéria *E. coli* ATCC11229 sofreu inativação em 30 minutos à 47°C (VELOSO, 2010).

Ubomba-Jaswa et al. (2009) desenvolveram um reator solar com capacidade de 25 L, observados os resultados de remoção de *E. coli* em exposição de 5 horas de radiação solar, quando a temperatura da água excedeu 45°C, foi possível inativar as bactérias mesmo em águas com elevada turbidez (100 UNT), aumentando para em sete horas de exposição ao sol. O componente ultravioleta da radiação difusa ocorre em dias nublados com baixa radiação solar direta onde a reflexão das nuvens é considerável, somente em dias extremamente nublados e chuvosos este importante processo fototérmico não ocorre, neste período deve-se optar por outro método de desinfecção (KEHOE, 2001).

Segundo Kehoe et al. (2001) evidência o aumento na inativação de *E. coli* com a colocação de uma superfície de reflexão como a folha de alumínio nos recipientes de modo a refletir a ultravioleta e visível, aumentando o componente óptico do processo.

Navntoft et al. (2008) identificaram a eficiência na inativação bacteriana pelo sistema de refletores (CPC) em formato parabólico, em dias claros. Já em dia nublados com o uso do CPC foi possível atingir inativação completa. Atribuído pelos autores a ação de inativação da população bacteriana, a diminuição de energia requerida e a diminuição do tempo de exposição pelo processo de reflexão da radiação ultravioleta, permitindo atingir um volume maior de água tratada.

### 2.6.7 Experimentos de Inativação

As variações de temperaturas realizadas nos experimentos de Wegelin (2002), identificaram os grupos de patógenos atingidos entre bactérias e vírus. Brandão *et al.*, (2000), concluiu nos experimentos que a utilização de recipientes de alturas variadas e superfícies transparentes e pinturas escuras em seu fundo influenciam na inativação dos microrganismos.

Paterniani e Silva (2005), constataram que em garrafas pet pintadas, parte de sua superfície com tinta preta, incrementaram a temperatura aumentando a eficiência da desinfecção solar por seis horas. Apesar de realizarem seus experimentos em condições diferentes, constataram que o tempo de exposição das amostras é diretamente proporcional à nebulosidade. Amaral *et al.*, (2006), analisou amostras de água de poço armazenadas em garrafas PET de 2L, obtiveram reduções de 98,2%, 99,9% e 100% nos números de microrganismos mesófilos, coliformes totais e *E. coli* após de 12 horas de exposição.

A eficiência da inativação do patógeno com a sua área de exposição solar e a altura do recipiente utilizado, onde quanto maior a área e menor altura de armazenamento, maior será o grau de temperatura atingido pela lâmina de água em menor tempo (BATISTA, 2008).

Os raios ultravioletas UV-B e UV-C são absorvidos pela camada de ozônio presente na superfície terrestre. A radiação UV-A esta sim alcança a superfície terrestre com o comprimento de onda de 320nm a 400nm, próxima a radiação violeta visível. Portanto a ação bactericida da radiação solar está diretamente vinculada a radiação UV-A. Dentro do processo de desinfecção a radiação UV-A promove os fenômenos físicos de absorção, refração, reflexão e dispersão com os componentes materiais do sistema e com líquido presente no sistema de desinfecção (USEPA, 2006).

O processo de absorção confere a transformação da radiação para outra forma de em energia, quando ela atravessa uma substância e é variável com o comprimento de onda da luz (USEPA, 2006).

O fenômeno de refração consta transmissão de um meio para a utilizada a segunda lei da refração para calcular o desvio ocasionado (TINÔCO, 2011).

No que se refere a reflexão é a mudança na direção da propagação da radiação solar por uma superfície de contato podendo ser especular ou difusa. A reflexão especular ocorre em outro com características diferentes, embora a frequência se mantenha constante o comprimento de onda e a velocidade de propagação apresente variações. Quando ocorre alteração da velocidade é superfícies polidas ou lisas ou em ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão. Na reflexão difusa ocorre em superfícies ásperas com uma pequena dependência do ângulo de

incidência. Portanto o material utilizado na superfície interfere na intensidade da radiação e no tipo de reflexão (USEPA, 2006).

A dispersão é causada pela presença de partículas ocasionando mudança na direção da propagação da radiação solar (TINÔCO, 2011).

Nas observações de Pessoa (2006), notou-se a dissolução do oxigênio em água na forma de ozônio produzindo a desinfecção da água. As condições de nebulosidade em diferentes vazões em fluxo contínuo com aquecedor solar, em temperatura de 50°C onde a maior taxa de nebulosidade interfere na inativação de microrganismos (CARVAJAL, 2015).

Na avaliação de McGuigan (2012), as contribuições da tecnologia de desinfecção solar estão vinculadas a efetiva inativação de células de organismos, a fácil aplicabilidade da técnica, o não uso de energias originárias de produtos químicos e fontes naturais como galhos e troncos de arvores, impedindo desmatamento e a poluição. Já as limitações estão pautadas na falta de desinfecção residual, o volume de água pequeno, a técnica depende de grande quantidade luminosa e de baixa turbidez.

A condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_{sat}$ ) informar sobre a capacidade de transporte de água, solutos e substâncias químicas no solo deve ser bem caracterizada, pois de um modo geral, seu valor é usado nos cálculos de fluxos no solo. (BRASIL, 2011).

A turbidez pode ser causada por uma grande variedade de partículas em suspensão, tanto de origem orgânica como inorgânica, o que não significa que estas substâncias necessariamente estarão associadas à ocorrência de doença de veiculação hídrica. Uma água turva causa rejeição para os consumidores, porém uma água isenta de sólidos em suspensão, não necessariamente possui uma qualidade melhor, pois pode conter microrganismos patogênicos associados à contaminação fecal da água, os quais devem ser identificados por análise microbiológica.

## **2.7 Pré-tratamento e pós- tratamento por filtração em meio granular**

O processo de filtração é utilizado desde a antiguidade e entendia-se que os mecanismos de filtração responsáveis pela remoção das partículas eram físicos. Pesquisadores passaram a caracterizar o processo de filtração como uma combinação de fenômenos físicos, químicos, e às vezes, biológicos (CAVALCANTE, 2007).

Na filtração, três mecanismos são responsáveis para a remoção das partículas do meio líquido, sendo eles: os mecanismos de transporte, responsáveis por conduzir as partículas suspensas para as proximidades das superfícies dos grãos; os mecanismos de aderência, responsáveis por permitir que as partículas permaneçam aderidas à outras partículas ou à superfície dos grãos por meio de forças superficiais que resistem às forças cisalhantes provocadas pelas linhas de fluxo d'água ao longo do leito filtrante; e os mecanismos de desprendimento, aqueles que ocorrem quando as forças cisalhantes provocadas pelas linhas de fluxo ultrapassam as forças superficiais entre as partículas e os grãos do leito filtrante causando seu desprendimento e seu arraste para o efluente (CAVALCANTE, 2007).

Os principais mecanismos de transporte são: a ação física de coar, a interceptação, a inércia, a sedimentação, a difusão e a ação hidrodinâmica.

Esta operação consiste na retenção de partículas que possuem dimensões maiores que os interstícios do leito filtrante, onde consta uma ação física. Ao se aproximar dos grãos coletores, as linhas de fluxo divergem seu percurso repentinamente, por outro lado, as partículas em suspensão com inércia suficiente para manter sua trajetória colidem com a superfície dos grãos e nela ficam aderidas. O comportamento das partículas suspensas em meios porosos e concluíram que quanto maior for a velocidade intersticial média ou menor o diâmetro dos grãos do meio filtrante, maior será a probabilidade deste fenômeno ocorrer (PÁDUA, 2009).

A filtração de suspensões aquosas a retenção pelo efeito do impacto inercial é diretamente proporcional à densidade e ao diâmetro das partículas e à taxa de filtração, e inversamente proporcional à densidade da água e ao diâmetro dos grãos. Durante a filtração, as partículas são conduzidas ao longo das linhas de fluxo e à medida que elas se aproximam dos grãos do leito filtrante a distâncias menores do que o próprio raio da partícula, elas são removidas da suspensão por meio do mecanismo de interceptação (DI BERNARDO, 2011).

O mecanismo de sedimentação é influenciado pela velocidade de sedimentação das partículas. As partículas de grande diâmetro e elevada densidade são mais suscetíveis a abandonar as linhas de fluxo e a sedimentar sobre a superfície dos grãos de areia no sentido da força da gravidade. O efeito da sedimentação no leito filtrante pode ser expresso pela razão entre a velocidade de sedimentação das partículas e a taxa de filtração ou velocidade de aproximação. Dessa forma, os filtros lentos de areia apresentam maior retenção do material suspenso pelo mecanismo de sedimentação do que os filtros rápidos, pois operam com taxas de filtração muito inferiores. As partículas suspensas em um meio líquido apresentam uma agitação aleatória provocada pela energia térmica das moléculas de água. Esse fenômeno é

conhecido como movimento Browniano e é responsável por permitir que as partículas suspensas fiquem dispersas no meio líquido à medida que se deslocam através do leito filtrante. De acordo com Di Bernardo et al. (2011), a remoção de partículas menores que  $1 \mu\text{m}$  é altamente influenciada pelo movimento Browniano, entretanto, para as partículas maiores, este fenômeno é praticamente desprezível, pois a energia térmica das moléculas de água não é capaz de agitá-las a distâncias suficientes para que possam alcançar a superfícies dos grãos coletores.

Conforme Di Bernardo (2011), a ação hidrodinâmica ocorre quando as partículas estão submetidas a um gradiente de velocidade diferente de zero, de tal forma que suas extremidades estejam sujeitas a velocidades tangenciais diferentes das do centro de gravidade, fazendo com que elas girem. Ao girar, elas produzem uma diferença de pressão na direção perpendicular à do escoamento responsável por encaminhá-las para uma região de menor velocidade fazendo com que elas sejam transportadas para a superfície dos grãos coletores. Este fenômeno tem importância no transporte de partículas grandes ( $\sim 10 \mu\text{m}$ ), como é o caso dos esgotos domésticos.

A aderência entre as partículas e os grãos é governada, principalmente, pelas características de suas superfícies. Assim como as partículas aderem diretamente às superfícies dos grãos, elas podem também aderir a partículas já depositadas no leito filtrante. O mecanismo de aderência pode ser atribuído a duas categorias de fenômenos: interação entre as forças elétricas e as de Van der Waals, e ligações químicas das partículas às superfícies dos grãos por um material intermediário. Quando imersas em água, as partículas sólidas apresentam cargas superficiais, logo, a interação elétrica da dupla camada entre duas partículas pode provocar reações de atração ou repulsão entre elas, dependendo do sinal dessas cargas. Como as superfícies da maioria dos materiais utilizados como meios filtrantes e a maioria das partículas coloidais e bactérias têm potencial Zeta negativo, a interação entre as duplas camadas irá dificultar o mecanismo de aderência. No entanto, sabe-se também que existem as forças atrativas entre as partículas atribuídas a força de van der Waals e essa combinação entre as forças de repulsão de origem elétrica e as de atração de van der Waals contribuem para a estabilidade do processo de filtração. Segundo Di Bernardo (2011), apesar da interação entre as forças elétrica e de van der Waals ser considerada como o fenômeno fundamental para aderência, em muitos casos as forças químicas podem superar as eletrostáticas. As ligações de hidrogênio, troca iônica e adsorção mútua são as principais formas de ligações químicas entre as partículas e as superfícies dos grãos coletores.

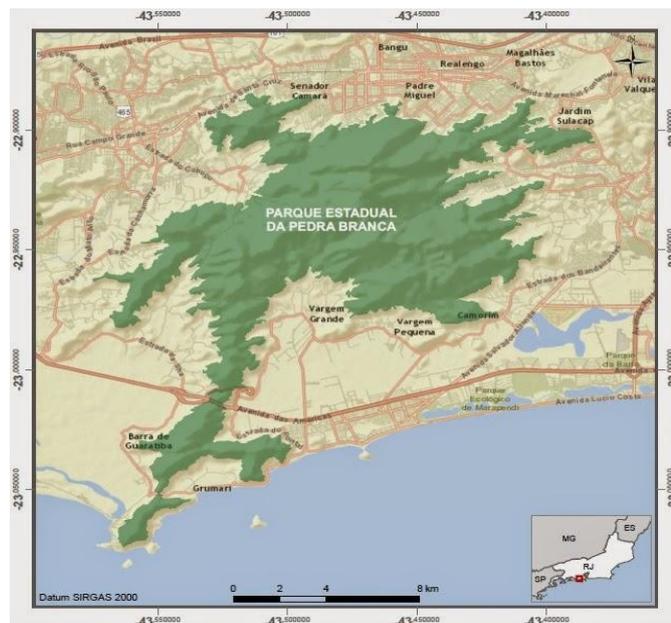
Os aspectos construtivos de um filtro granular são de extrema importância para que o sistema opere devidamente, garantindo que o efluente filtrado apresente as características desejadas ao longo da carreira de filtração. Diversos tipos de materiais podem ser utilizados para o preenchimento do leito, os mais comuns são areia, pedra, antracito e carvão ativado. Eles podem ser utilizados sozinhos ou em combinações de dupla ou tripla camada. De acordo com Di Bernardo et al. (2012), as características granulométricas e as propriedades do material filtrante afetam a eficiência da filtração. Tais propriedades são relacionadas ao tamanho, formato, densidade, dureza, porosidade do leito e solubilidade dos grãos em ácido clorídrico e em hidróxido de sódio.

**Tamanho e distribuição dos grãos:** A escolha da granulometria de um meio filtrante depende da taxa de filtração aplicada, da carga hidráulica disponível, da qualidade do afluente e do efluente desejado, do sistema de lavagem dos filtros e da espessura da camada filtrante. Dessa forma, o tamanho dos grãos deve ser definido previamente a partir de estudos experimentais em instalações piloto. Entretanto, na prática, a definição da faixa granulométrica (diâmetro máximo e mínimo) é adotada em função de experiências prévias em outras estações de tratamento com características similares. Utilizando peneiras padronizadas, é possível traçar a curva de distribuição granulométrica e determinar o tamanho ( $D_{\text{máx}}$  e  $D_{\text{mín}}$ ), o diâmetro efetivo ( $D_{10}$ ) e coeficiente de uniformidade dos grãos (CU). As características primárias que influenciam o desempenho da filtração são o diâmetro efetivo e o coeficiente de uniformidade. Estes parâmetros afetam o tempo de retenção do líquido que passa através do leito filtrante (PATERNIANI et al., 2005). O diâmetro efetivo representa a abertura da peneira, em milímetros, que permite a passagem acumulada de 10% da amostra considerada, em termos de massa. Quanto maior o diâmetro efetivo do leito, mais rápido o efluente irá passar através dele, no entanto se o tamanho for muito grande a eficiência do tratamento será reduzida.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Dentre as variáveis ambientais mais importantes são a radiação solar, a temperatura do ar, as condições climáticas estando o céu limpo ou encoberto no período do processo de desinfecção. As variáveis referentes as características da água estão a turbidez, que deve ser menor 30NTU, o volume de água, a transparência do recipiente de armazenamento para a exposição e o tempo de exposição ao processo de desinfecção.

Tendo como premissa a inativação da *Escherichia coli* para avaliar a qualidades do tratamento, as águas estudas para avaliação de território foram a do reservatório do Parque Estadual da Pedra Branca anteriormente muito utilizada como fonte de consumo pelos moradores da Colônia Juliano de Moreira e a água de poço ainda muito utilizada pelos moradores devido a falta da rede de distribuição de água na região.



**Figura 4** - Região de Observação do Parque Estadual da Pedra Branca RJ.

O projeto foi desenvolvido na região de Jacarepaguá no bairro da taquara na cidade do Rio de Janeiro. A região estuda está localizada dentro da Colônia Juliano de Moreira, área do setor 1, de responsabilidade da Fundação Oswaldo Cruz, representada pelo Programa de Desenvolvimento do Campus Fiocruz Mata Atlântica. A área selecionada para o experimento da tecnologia SODIS em Série, foi realizado na propriedade da agricultora familiar, quintal utilizado por oito famílias. Este quintal está nas proximidades do CFMA, que tem como

proposta a promoção da saúde através de um território saudável. Área localizada na zona de amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca, demonstrada na Figura 4.

Os parâmetros ambientais foram fornecidos pela Estação Meteorológica A636 do Campus Fiocruz mata Atlântica.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Monitoramento Ambiental UFRRJ pelos parâmetros de turbidez, condutimetria e inativação do microrganismo *E. coli* no processo de desinfecção.

As condições ambientais (geográficas) e climáticas da região estudada podem servir de direcionamento para outras regiões do país que apresente condições semelhantes.

### 3.1 Procedimentos Metodológicos e Fontes de Dados

#### Metodologia na coleta das amostras

Procedimento de Coleta e Análise do Ensaio Biológico e Visual de água Bruta.

Amostragem:

-Identificar os pontos de coleta com data e hora no frasco;

-Preencher protocolo de coleta de amostra;

-Sanitizar os pontos com álcool 70% do ponto, a coleta é feita em frasco estéril de 300mL;

-Realizar a coleta mantendo o fluxo de água contínuo até completar o volume necessário;

-Manter a amostra em temperatura entre 4° à 10°C até o início da análise microbiológicas e

-Acondicionar as amostras em bolsa térmica;

## **Determinação de Coliformes totais e termotolerantes**

Para a quantificação dos indicadores microbiológicos foi utilizado o sistema Colilert (sistema patenteado por IDEXX Laboratories) que é utilizado para detecções simultâneas, identificações específicas e confirmativas de coliformes totais e *E. coli*, metodologia também preconizada no *Standart methods for examination of water and wastewater* (RICE et al. 2012).

A tecnologia de substrato definido (Colilert) utiliza nutrientes (açúcares ligados a radicais orgânicos cromogênicos) que fazem com que os microrganismos de interesse presentes na amostra produzam uma mudança de cor (ou fluorescência) no sistema inoculado. Quando os coliformes totais metabolizam o indicador-nutriente o-nitrofenil- $\beta$ -Dgalactopiranosídeo (ONPG) do Colilert®, a amostra adquire coloração amarela. Quando a *Escherichia coli* metaboliza o indicador-nutriente 4-metilumbeliferil- $\beta$ -d-glucoronídeo (MUG) do Colilert®, a amostra se torna fluorescente. O Colilert® pode detectar simultaneamente estas bactérias a um nível populacional de 1NMP.100 /mL, dentro de 24horas, até em presença de 2 milhões de bactérias heterotróficas presentes por cada 100mL.

### **A análise**

- Verte 100mL da amostra em um frasco estéril;
- Adicionar o Kit substrato;
- Homogeneizar e incubar a 32,5°C por 24horas e
- Incubar em Estufa bacteriológica.

### **Leitura com Colilert análise visual**

Coloração amarelo- identifica coliformes totais

Fluorescência sob UV- identifica bactéria *E. coli*.

### **Procedimento do Sistema SODIS**

-Ligar a bomba para retirada da água do poço onde as tubulações estão diretamente ligadas ao sistema SODIS;

-abrir válvula de entrada de água para o sistema SODIS;

-verificar o total preenchimento do filtro de areia através da válvula de suspiro;

Nota:Caso necessário a retirada do ar, faça inclinações no suporte do sistema SODIS.

-preencher todo o sistema observando a formação de ar em cada garrafa;

-retirar o ar de cada fileira de garrafas desatarrachando o respiro que se encontra na lateral do suporte SODIS;

-após completo preenchimento de todo o sistema desligar a bomba;

-anotar os dados de temperatura e a radiação solar retirados da página digital da Estação Meteorológica nos dias de coleta e os resultados da análise microbiológica;

-seguir a Quadro 1 de amostragem;

**Quadro 1 - Horários de coleta e tempo de exposição**

Horário de amostragem	Tempo de exposição
8:00	Tempo zero
12:00	4
14:00	6
16:00	8

- Fechar a válvula de entrada ao término da utilização do sistema e

-abrir a válvula de saída da água, que será direcionada por tubulações ao reservatório (garrafões de 50L ou garrafas de 2L).

### 3.2 Estudo de Caso

Estudo diagnóstico ambiental realizados sobre as comunidades locais estão levantadas sobre os principais agravos à saúde nas comunidades locais como infraestrutura, urbanismo e hábitos culturais no consumo da água. As observações descritas foram evidenciadas pela autora que interveio apenas no sentido de direcionar o foco do estudo, atuando como mediadora a conhecer a real situação vivida pelos moradores da região e pelo d estar envolvida em outros trabalhos com a comunidade em questão.

Os indicadores foram obtidos a partir das análises de território, parâmetros climáticos e da água coletada da região estudada. A pesquisa foi realizada no reconhecimento e um estudo de área e seu entorno, obtendo as fontes e condições de uso da água presente neste ambiente de estudo.

A partir disto, buscar soluções para o problema identificado neste campus.

A pesquisa é exploratória para aprimorar medidas e inovação na promoção à saúde pública.

A coleta de dados nas pesquisas de campo foi realizada na comunidade do Fincão e na trilha que leva ao reservatório da cachoeira do PEPB-RJ (Figura 6), para avaliação do território e comparados as coletas realizadas em poço da propriedade estudada no território e ao sistema SODIS em série.

O sistema foi exposto a condições reais da fonte de água de poço e seus problemas encontrados, o que permitiu a construção de ações e sistemas que contribuíssem para aumentar a qualidade da água consumida no local pelos moradores da região.

#### **Campus Fiocruz da Mata Atlântica**

O cenário para este estudo é o campus Fiocruz da Mata Atlântica – Comunidade do Fincão.

Questões que merecem relevância para a qualidade ambiental e o bem-estar coletivo:

- Captação, rede e tratamento para o abastecimento de água e
- rede, tratamento e destinação de esgotos sanitários e de águas pluviais.

Visando compreender o território estudados e a proposta implementação foram estabelecidas etapas para o desenvolvimento deste estudo:

Caracterização da distribuição das fontes de água na área, descrição das características particulares das localidades, descrição de um conjunto de indicadores de qualidade de água na área.

### **3.3 O Procedimento do Estudo**

#### **3.3.1 Coleta de Dados da Área de Estudo**

Etapa Ia: Caracterização da distribuição de água do Fincão

Foi identificada a partir do levantamento do registro de casos de falta de água.

Para as localidades de estudo, foi gerado um mapa do campus a partir da união de imagens de satélite disponíveis no endereço eletrônico do Google Earth™.

Etapa Ib: Descrição das características particulares das localidades que possam estar associadas à ocorrência e manutenção do ciclo de transmissão da doença onde a via de transmissão é ocasionada pela ingestão da água.

Os dados primários foram obtidos a partir do levantamento de dados através de observação sistemática do cotidiano dos moradores das localidades do Fincão referentes ao consumo de água.

Foram observados os seguintes aspectos: presença de plantios variados, animais silvestres, animais domésticos e criações para o sustento (galinhas e porcos) soltos no quintal, as condições de manutenção dos poços, as conexões das tubulações presentes nos poços e quando existentes tubulações como fonte de água a do reservatório da cachoeira. A forma de acondicionar a água, o tratamento da água de consumo. Foi aplicado *checklist* pela autora da pesquisa com o propósito de levantar e dimensionar o grau de poluição e contaminação presentes na região estudada. Avaliar e desenvolver a promoção a saúde neste território.

Foram mapeados e identificados os pontos de contaminação presente no sistema de abastecimento da água doméstica como: mangueiras, conexões, canos, filtros e reservatórios de água, realizando um diagnóstico do quintal. Nesta análise deve constar a observação da

proteção do quintal em relação aos animais que possivelmente possam invadir e deixar seus dejetos.

Os dados secundários descritos e os mapas utilizados tiveram como fontes os relatórios sobre o Campus FIOCRUZ da Mata Atlântica, elaborados por empresas e instituições contratadas pela FIOCRUZ. Foram utilizados os relatórios de Diagnóstico Social (desenvolvido pelo Instituto de Estudos da Religião - ISER), Urbanístico (realizado pelas empresas Veracittà Arquitetura e Urbanismo e Rivera Arquitetura e Multimídia), de Infraestrutura (desenvolvidos pela empresa de consultoria em engenharia Paralela I), e Ambiental (realizado pela empresa de estudos e consultoria Ambiotec Engenharia), disponíveis no acervo da Presidência da FIOCRUZ (Coordenadoria Executiva do Programa de Implantação do Campus FIOCRUZ da Mata Atlântica). Estes relatórios, finalizados em 2004, utilizaram-se de dados primários, e informações do IBGE, do Anuário Estatístico da Cidade do Rio de Janeiro, das Secretarias e outros órgãos públicos da cidade.

#### Etapa II - Procedimento de coleta para avaliação do sistema de desinfecção solar

As concentrações de sólidos suspensos totais (SST) foram determinadas pelo método gravimétrico com a utilização de membranas de fibra de vidro (1  $\mu\text{m}$  de diâmetro de poro), expresso por mg a turbidez por meio de turbidímetro de bancada, expresso em UNT

(Unidade nefelométrica de turbidez).

As concentrações dos íons presentes na água e determinação da pureza da água foram monitoradas pelo método condutimétrico expresso em ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Para a quantificação dos indicadores microbiológicos foi utilizado o sistema Colilert (sistema patenteado por IDEXX Laboratories) que é utilizado para detecções simultâneas, identificações específicas e confirmativas de coliformes totais (NMP/100mL) e *E. coli* (NMP/100mL), metodologia também preconizada no Standart methods for examination of water and wastewater (RICE et al., 2012).

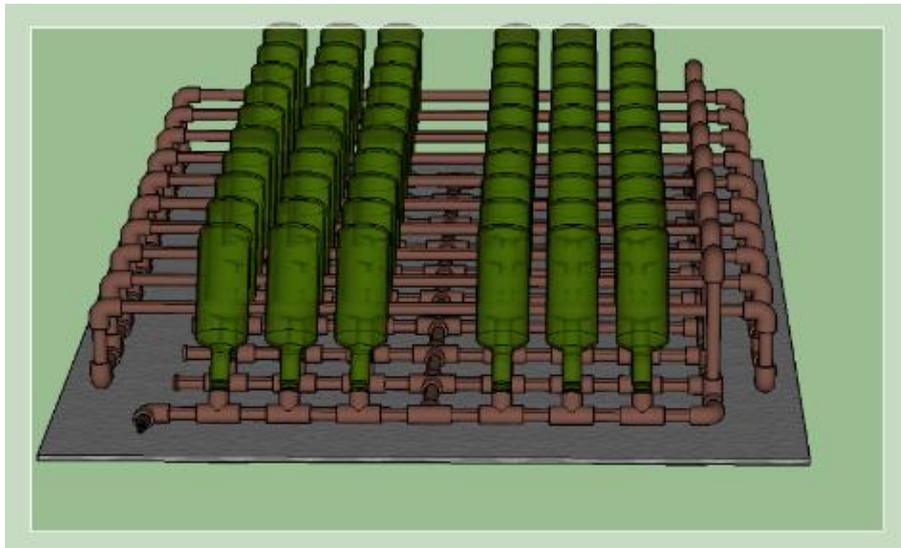
Paralelamente, foram obtidos os dados das variáveis ambientais: temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e radiação solar global ( $\text{Wh}/\text{m}^2$ ), por meio da estação meteorológica A363 de Jacarepaguá RJ.

A possibilidade do uso doméstico foi avaliada com base nas recomendações da WHO (2006), utilizando-se como organismos indicadores, o nível populacional de *E. coli* (NMP/100mL).

### 3.3.2 Unidade Experimental do Sistema SODIS em série

Foi realizada a tecnologia implantada com padronização dos processos através de protocolos e POPs (Procedimento Operacional Padrão), para o funcionamento da tecnologia SODIS em Série e o aproveitamento pleno dos recursos hídricos e protegendo-os de contaminação.

#### 3.3.2.1 Esquema do Sistema SODIS em Série



**Figura 5** - Esquema do Sistema SODIS.

Fonte: Arquivo digital CFMA

A implantação da tecnologia SODIS foi realizada em propriedade de uma agricultora familiar da região estudada onde reside oito famílias neste mesmo quintal consumidores da mesma fonte de água. A tecnologia requer de garrafas de vidro recicladas, contribuindo com a redução da geração dos resíduos sólidos. As tubulações que compõem o sistema são de fácil aquisição com suas conexões de encaixe por colagem, facilitando a construção do mesmo. Sua plataforma de amparo é toda em madeira revestida por uma manta metálica com uma das faces aderentes.

Os dados da estação meteorológica ajudarão no posicionamento do sistema SODIS dentro da área pesquisada, observando as latitudes e os melhores horários para o funcionamento do sistema.

Os dados meteorológicos constituem a Tabela 7 de monitoramento ambiental na avaliação da eficiência do sistema SODIS em série.

Os resultados de análise da água de saída da tecnologia SODIS foram analisados em conjunto com os dados ambientais de radiação solar e temperatura, anotados no momento da coleta. Os resultados microbiológicos seguem os padrões que constam no Quadro 1.

### **3.4. Avaliação de Desempenho de Produção do sistema SODIS em série**

Na avaliação da desinfecção solar foi realizado experimento relacionado a análise microbiológica da água natural de poço.

Com a utilização de equipamentos de medição da radiação UV contidos na Estação Meteorológica no CFMA, foi possível estabelecer e dimensionar a melhor posição de instalação do sistema SODIS.

Retiradas alíquotas de igual volume para a análise microbiológica.

Avaliada a metodologia do processo de desinfecção solar pelo sistema SODIS, em série, através de análise microbiológica na identificação *E. coli nas* amostras da água de poço que preencherão o sistema.

Foram realizadas três repetições amostras em cada horários de amostragem seguindo a Tabela 1. Todo o procedimento foi acompanhado pelo protocolo de amostragem e os resultados demonstrado na Tabela 8.

Juntamente com os dados coletados de temperatura e radiação solar obtidos pela Estação Meteorológica A636, o procedimento proposto permiti avaliar o decaimento natural do microrganismo indicador com a utilização da desinfecção solar.



**Figura 6:** SODIS em série.

**Quadro 2-** Limites Aceitáveis Pela Organização Mundial de Saúde

Microbiológico com o Bio indicador *E. coli*

Metodologia	Padrão
APHA Standard Method for the Examination of Water and Wastewater-9215A e B 22st. Edition,2012.	Bactérias Heterotróficas- Determinação quantitativa pela técnica de inoculação em profundidade. LQ: 1UFC/mL
APHA Standard Method for the Examination of Water and Wastewater-9223B 22 st. Edition,2012.	Coliformes totais- determinação pela técnica de presença/ausência (substrato enzimático)
APHA Standard Method for the Examination of Water and Wastewater-9223B. 22st. Edition,2012.	Escherichia coli- Determinação pela técnica de presença/ausência (substrato enzimático)
APHA Standard Method for the Examination of Water and Wastewater-9213E. 22st. Edition,2012.	Pseudomonas aeruginosas- Determinação pela técnica de Membrana filtrante. LQ:1UFC/MI

Legenda:

LQ- Volume líquido

UFC- Unidade formadora de colônia

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Diagnóstico das Condições da Área de Estudo

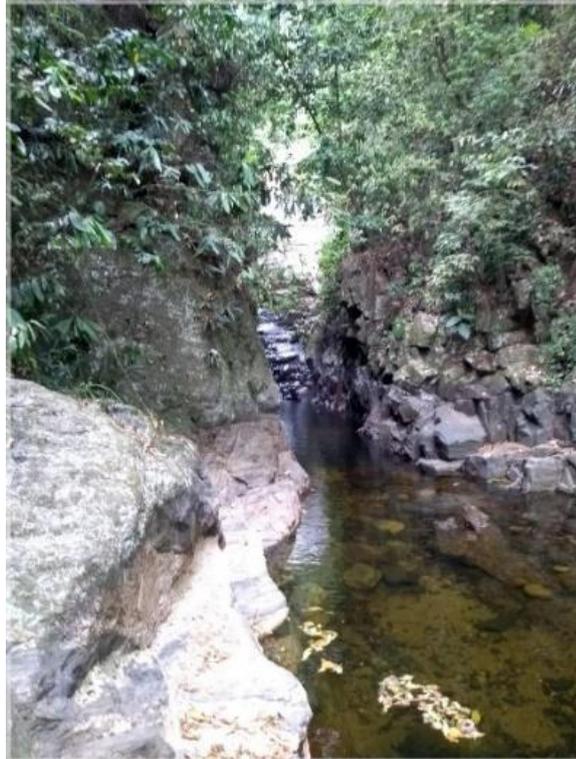
#### 4.1.1 Abastecimento de Água

No mês de setembro de 2018 (Figura 10.a), o reservatório apresentou um volume ideal na estação da primavera e no decorrer do mês de janeiro de 2019, o reservatório apresentou níveis baixos de água, como mostra a figura 10.b, o que ocasiona um não aproveitamento da mesma pela população.



a) Setembro de 2018

**Figura 7** - Reservatório PEPB

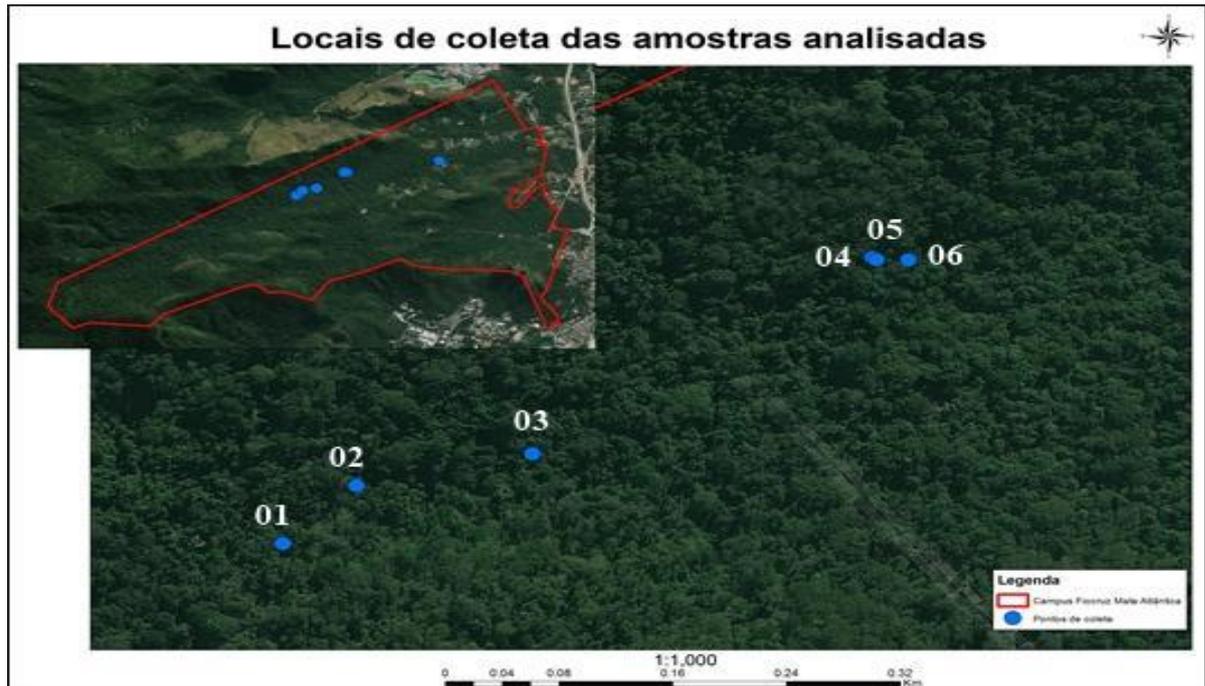


b) Janeiro de 2019.

**Figura 8 - Reservatório PEPB**

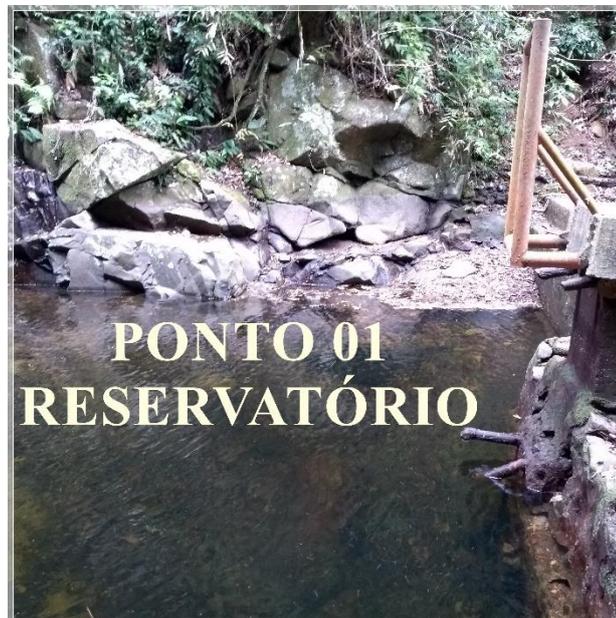
#### **4.1.2 Mapeamento dos Pontos de Captação de Água**

Dos pontos 01 ao 05, foram realizadas cinco coletas de amostras de cada ponto no caminho do reservatório. O ponto 01 é a amostra do reservatório, e os pontos 02, 03, 04, 05 foram recolhidas desconectando o cano de distribuição de água para outras comunidades locais, não somente o Fincão.



**Figura 9:** Mapeamento dos Pontos de Coleta.

Fonte: Google Earth



**Figura 10** - ponto de amostragem 01. (reservatório)



**Figura 11** - ponto de amostragem 02. (tubulação de distribuição de água)



**Figura 12** - ponto de amostragem 03. (tubulação de distribuição de água)



**Figura 13** - ponto de amostragem 04. (tubulação de distribuição de água)



**Figura 14** - ponto de amostragem 05. (tubulação de distribuição de água)

#### 4.1.3 Diagnóstico das Condições da Área de Estudo

O poço da propriedade de estudo foi encontrado com abertura, ilustrado na Figura 15, o que proporciona a entrada de pequenos animais como insetos, formigas, lacraias, gerando um grande ponto de contaminação e a formação de biofilme.

Medidas preventivas de segurança quanto a contaminação deve ser tomadas, como uma tela ou uma tampa na entrada do poço.



**Figura 15** - Ponto de Coleta do Quintal da agricultora familiar- Diagnóstico.

#### **4.1.4 Ponto de Coleta da Propriedade onde foi instalado o SODIS**

Foi realizada a marcação com GPS (Figura 10 – ponto 06) na propriedade de estudo da agricultora familiar que apresenta um poço como fonte de consumo doméstico que abastece oito famílias. No ponto 06 foram coletadas cinco amostras.

#### **4.2 Aspecto Qualitativo das Amostras do Território**

##### **Avaliação do território foi realizada por amostragem de água**

Os valores encontrados de turbidez nas amostras dos seis pontos onde, cinco pontos da tubulação de distribuição presente no caminho para o reservatório do Parque Estadual da Pedra Branca e um ponto na propriedade de instalação do sistema SODIS, registrados na Tabela 1, estão dentro do estabelecido pela CONAMA 84/2014, onde o valor máximo permitido de água para consumo humano com 5,0 UNT. Os valores de turbidez variaram entre 0,04 e 1,21 mínimos e máximos respectivamente na data de 21/09/2018 e já na data 22/01/2019 os valores se apresentaram no intervalo de 0,13 e 1,18 mínimo e máximo respectivamente.

É importante destacar, que o valor de turbidez sem estar associado a outros parâmetros, não traduz a realidade da qualidade da água, visto que, este parâmetro traduz as características ópticas do fluido em questão, mas traz grande interferência no processo de desinfecção solar com os seus valores acima de 30UNT.

**Tabela 1** - Resultados de Turbidez das amostras dos dias 21 de setembro de 2018 e 22 de janeiro de 2019 da avaliação do território.

Resultados de Turbidez (NTU) data dia 21/09/2018 da avaliação do território.					
	1°	2°	3°	4°	5°
01 (reservatório)	0,11	0,13	0,06	0,06	0,08
02 (tubulação)	0,04	0,87	0,20	0,09	0,20
03 (tubulação)	0,64	0,78	0,07	0,19	0,87
04 (tubulação)	0,93	1,14	1,21	0,78	0,46
05 (tubulação)	0,54	0,08	0,29	1,05	0,60
06 (poço)	0,73	0,34	0,73	0,49	1,68

Resultados de Turbidez (NTU) data dia 22/01/2019 da avaliação do território.					
	1°	2°	3°	4°	5°
01 (reservatório)	0,43	0,18	0,32	0,54	0,24
02 (tubulação)	0,51	0,28	0,46	0,13	0,15
03 (tubulação)	0,46	0,63	0,20	0,24	0,93
04 (tubulação)	0,25	0,86	0,34	0,91	0,39
05 (tubulação)	0,38	0,17	0,85	0,65	1,18
06 (poço)	0,92	0,54	0,53	0,38	0,47

**Tabela 2** - Resultados de Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) das amostras dos dias 21 de setembro de 2018 e 22 de janeiro de 2019 da avaliação do território.

Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) data: 21/09/2018 da avaliação do território.					
Ponto das Amostras	1°	2°	3°	4°	5°
01 (reservatório)	93,99	89,11	89,61	89,20	90,73
02 (tubulação)	87,48	85,60	83,54	86,69	89,31
03 (tubulação)	89,79	89,76	87,11	87,35	88,17
04 (tubulação)	86,40	90,42	86,74	85,40	87,96
05 (tubulação)	86,76	84,60	83,96	85,71	89,28
06 (poço)	89,91	92,18	91,53	90,11	92,39

**Tabela 2** - Resultados de Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) das amostras dos dias 21 de setembro de 2018 e 22 de janeiro de 2019 da avaliação do território.

Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) data: 22/01/2019 da avaliação do território.					
Ponto das Amostras	1°	2°	3°	4°	5°
01 (reservatório)	93,19	97,54	97,45	96,75	96,44
02 (tubulação)	92,29	93,00	93,74	94,18	94,58
03 (tubulação)	93,73	93,82	94,23	94,55	94,30
04 (tubulação)	94,89	95,07	95,43	96,13	95,77
05 (tubulação)	93,20	94,45	94,60	94,95	96,28
06 (poço)	84,29	91,08	92,48	91,45	90,82

Os valores encontrados de condutividade, registrados na Tabela 2, nas amostras dos seis pontos onde, cinco pontos da tubulação de distribuição presente no caminho para o reservatório do Parque Estadual da Pedra Branca e um ponto na propriedade de instalação do sistema SODIS. Os valores de condutividade variaram entre 83,54 \_ 93,99 mínimos e máximos respectivamente na data de 21/09/2018 e já na data 22/01/2019 os valores se apresentaram no intervalo de 84,29 e 97,54 mínimo e máximo respectivamente.

Quanto à sazonalidade, os resultados de amostragem territorial apontam valores de turbidez e condutividade que condiz com a variação de volume do reservatório devido a estação do ano, e permanecem dentro dos limites aceitáveis.

#### 4.2.1 Resultado microbiológico do território

Com relação aos parâmetros bacteriológicos foi verificada a presença da bactéria *E. coli* em todos os seis pontos, sendo cinco pontos da tubulação de distribuição no caminho do reservatório do Parque Estadual da Pedra Branca e um ponto na propriedade de instalação do SODIS. De acordo com a Portaria do MS N° 2914/11, em água não canalizada usada comunitariamente e sem tratamento, quando não há disponibilidade de água de melhor qualidade, devem apresentar ausência de coliformes totais em 100mL, estando, portanto, em desacordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde. Estes resultados podem evidenciar riscos à saúde das famílias, porque a presença de microrganismos patogênicos graves está associada à contaminação fecal da água, que se torna, nesse caso, um veículo de transmissão de doenças.

**Tabela 3** – Resultados Microbiológicos dos dias 21/09/2018 e 22/01/2019 da avaliação do território.

	Presença / Ausência de <i>E coli</i>	Presença / Ausência de <i>E coli</i>
Pontos das amostras	Data: 21/08/2018	Data: 22/04/2019
01(reservatório)	Presença	Presença
02 (tubulação)	Presença	Presença
03 (tubulação)	Presença	Presença
04 (tubulação)	Presença	Presença
05 (tubulação)	Presença	Presença
06 (poço)	Presença	Presença

#### 4.3 Aspectos Qualitativos das amostras do Sistema Desinfecção Solar (SODIS)

**Tabela 4** - Resultados de turbidez do filtro do sistema SODIS

Turbidez (NTU) data dia 25/04/2019 da avaliação do filtro do SODIS.					
Ponto da mostra	1°	2°	3°	4°	5°
Entrada	0,63	0,46	0,32	0,72	0,57
Saída	0,13	0,11	0,08	0,08	0,07

Foram coletadas amostras na entrada e na saída do filtro que antecede o sistema SODIS. Os resultados registrados na Tabela 4 foram 0,32 e 0,72 mínimo e máximo respectivamente na entrada e 0,07 e 0,13 mínimo e máximo respectivamente na saída do filtro. A turbidez medida antes do processo de exposição solar foi inferior a 1 NTU, valor este considerado baixo, onde os valores inferiores a 30 NTU são ideais para aplicação do SODIS.

**Tabela 5** - Resultados de condutividade do filtro do sistema SODIS

Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) data: 25/04/2019 da avaliação do filtro do SODIS.					
Ponta da amostra	1°	2°	3°	4°	5°
Entrada	99,03	97,87	98,03	97,72	97,57
Saída	97,24	98,21	97,18	90,03	97,00

Os resultados observados na Tabela 5 foram 97,57 e 99,03 mínimo e máximo respectivamente na entrada do filtro e os valores 90,03 e 98,21 mínimo e máximo na saída do filtro.

**Quadro 3** - Coleta de dados do INMET do dia 25/04/2019.

Data	Horário h	Temp. max. °C	Radiação Wh/m <sup>2</sup>
25/04/2019	08	22,7	-0000,72
25/04/2019	09	22,4	0000,58
25/04/2019	10	22,7	0088,47
25/04/2019	11	26,7	0657,80
25/04/2019	12	28,0	1461,00
25/04/2019	13	29,6	1779,00
25/04/2019	14	29,8	2387,00
25/04/2019	15	30,0	2771,00
25/04/2019	16	29,8	2696,00

Os dados que constam no Quadro 3, foram extraídos da Estação Meteorológica A636-Estação 83743 INMET, coletados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A radiação solar aumentou significativamente a partir das 10:00h, apresentando decaimento a partir das 16:00h. O processo realizado no dia 25 de abril de 2019, apresentou valores mínimos de 88.47 Wh/m<sup>2</sup> e valores máximos de 2696 Wh/m<sup>2</sup>. A temperatura máxima ambiente atingiu os 30°C nesta data, junto com a manta metálica de revestimento da plataforma contribuiu para o aumento da temperatura da água chegar acima dos 50°C.

**Tabela 6** – Resultados Microbiológicos do sistema SODIS do dia 25/04/2019.

Horário de amostragem	Quantidade	Resultado Presença / ausência de <i>E. Coli</i>
Data: 25/04/2019		
08:00 Entrada do SODIS	3	Presença em todas amostras
12:00 Saída do SODIS	3	Presença em todas amostras
14:00 Saída do SODIS	3	Presença em uma amostra
16:00 Saída do SODIS	3	Ausência em todas as amostras

Constatou se pelo Tabela 7, a eficiência do tratamento de água pelo sistema SODIS em série de uso doméstico em relação à qualidade da água sem tratamento. Os resultados obtidos através de três amostras de água realizadas em cada um dos quatro horários de coleta, onde a total eliminação de microrganismos de baixa tolerância térmica ocorreu após oito horas de exposição solar.

## 5. CONCLUSÕES

O método SODIS é uma metodologia cuja finalidade é de eliminar microrganismos de baixa tolerância térmica comprovada e adequada a comunidades que não sejam atendidas pelo abastecimento por água potável.

A aplicabilidade do sistema SODIS foi realizada na área de estudo sem requer habilidades e conhecimento específico pela comunidade. É necessário somente alguns minutos para executá-lo, essa característica garante a harmonia da prática do método com as demais atividades que a pessoa ou a família precisam fazer diariamente. Os recursos necessários para de fácil acesso e de baixo, mesmo à comunidades carentes.

O território teve o seu diagnóstico descrito e foi evidenciado a necessidade de um tratamento de água para consumo doméstico. Foi observado a falta da rede de distribuição e abastecimento de água e de esgotamento sanitário. A contaminação presente na água do reservatório do PEPB/RJ, no poço do local de estudo juntamente com as condições precárias nos cuidados com o uso da água e sua preservação ambiental foram fatores importantes neste diagnóstico.

Os pontos de captação de água foram mapeados, identificados por pontos em GPS e fotografados. Pontos estes utilizados pelos moradores das comunidades locais onde ocorreu as amostras de água para reconhecimento da qualidade da água neste território.

Os resultados qualitativos obtidos por amostragem da água do território não foram satisfatórios no aspecto microbiológico, identificado a necessidade de buscar soluções alternativas no tratamento da água consumida na região estudada.

A técnica SODIS é um recurso que pode ser utilizado em situações de emergência, diminuindo os riscos associados a aquisição de doenças por água contaminada

Os resultados obtidos com a utilização do sistema SODIS em série, através de três amostras de água realizadas em cada um dos quatro horários de coleta, onde a total eliminação de microrganismos de baixa tolerância térmica ocorreu após oito horas de exposição solar foi favorável. Os resultados desta pesquisa indicaram que a redução de bactérias *E. coli*, bio indicadora, foi significativa em águas de poço. No caso específico da região sudeste do país na comunidade do Fincão dentro da Colônia Juliano de Moreira no bairro da Taquara na cidade do Rio de Janeiro. O método SODIS é uma tecnologia acessível e sustentável, capaz de gerar resultados positivos à sociedade

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ACRA, A.; RAFFOUL, Z.; KARAHAGOPIAN, Y. **Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solution - Guidelines for households application in developing countries**. Department of Environmental Health. Beirut. American University of Beirut. 1984. Disponível em: <<http://almashriq.hiof.no/lebanon/600/610/614/solar-water/unesco/>> Acesso em 28.nov.2015.

AMARAL, L.A.; NUNES, A.P.; CASTANIA, J.; LORENZON, C.S.; BARROS, L.S.S.; NADER FILHO, A. Uso da radiação solar na desinfecção da água de poços rasos. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.73, n.1, p. 45-50. 2006. Disponível em: <[http://200.144.6.109/docs/arq/V73\\_1/amaral.PDF](http://200.144.6.109/docs/arq/V73_1/amaral.PDF)>. Acesso em: 20 jun. 2012.

APELLA, M.C; ARAUJO, P.Z. Microbiología de água. Conceptos básicos. In: Posibilidades para la provisión de água segura usando nuevas tecnologías. Puerto Iguazú, **Misiones**, Argentina, 2005. p.33-50. Disponível em: <<http://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/curso.php>>. Acesso em 21 ago.2015

ARAÚJO, C. **Jacarepaguá de Antigamente**. Belo Horizonte: Carol Borges; 1995.

BATISTA, C. H. **Estudo do processo de desinfecção de água via energia solar utilizando um reator experimental**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) Universidade Tiradentes, Aracaju.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. Vitória: UFES, 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

BERNEY, M.; WEILENMANN, H.U.; SIMONETTI, A., EGLI, T. Efficacy of solar disinfection of *Escherichia coli*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhimurium* and *Vibrio cholera*, **Journal of Applied Microbiology**, v. 101, n. 4, p. 828-36, 2006.

BOSSHARD, F.; BUCHELI, M.; MEUR, Y.; EGLI, T. The respiratory chain is the cell's Achilles' heel during UVA inactivation in *Escherichia Coli*. **Microbiology**, v. 156, n. 7, p. 2006-2015, 2010.

BOTTO, M. P.; MOTA, F. S. B. Avaliação da eficiência de inativação de coliformes termotolerantes no processo em batelada de desinfecção solar, SODIS, sobre diferentes superfícies de exposição. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 13, 2008. Belém. **Anais eletrônicos**. Belém: SILUBESA, 2008.

BOTTO, M.P. **Avaliação do processo de desinfecção solar (SODIS) e de sua viabilidade social no Estado do Ceará**. Fortaleza: UFC. 2006.196 f. Mestrado (Dissertação em Engenharia hidráulica e ambiental) - Universidade Federal do Ceará, 2006.

BOTTO, P. M.; MOTA, B. S. F.; CEBALLOS, O. S. B. Efeito da oxigenação por agitação manual da água na eficiência de inativação de coliformes termotolerantes utilizando luz solar para desinfecção em batelada. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n 3, p. 347-352, 2009.

BOYLE, M.; SICHEL, C.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; ARIAS-QUIROZ, G. B.; IRIARTE-PUÑA, M.; MERCADO, A.; UBOMBA-JASWA, E.; MCGUIGAN K. G. Bactericidal effect of solar water disinfection under real sunlight conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 74, n. 10, p. 2997-3001, 2008.

BRANDÃO, C.C.S.; Monteiro, P.C.G.; FONSECA, B.M.; ARANTES, C. Avaliação da Desinfecção Solar na Região Centro-Oeste do Brasil Usando Diferentes Organismos Indicadores de Contaminação. In: Congreso Interamericano De Ingenieria Sanitaria Y Ambiental, 27.,2000. Porto Alegre. **Anais eletrônicos**. Porto Alegre: AIDIS, 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília, 2011.

BUSS, D.F.; BAPTISTA, D.F.; NESSIMIAN, J.L. Bases conceituais para aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 19:465-473, 2003.

CARVAJAL, R.A.R. **Desinfecção solar da água: avaliação da técnica “SODIS” aplicada a águas de chuva, poço e manancial superficial, nas condições climáticas de verão na região de Porto Alegre, RS**. Porto Alegre: UFRS, 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

CAVALCANTE, F.L. **Avaliação da eficiência de filtros anaeróbios na remoção de coliformes fecais e ovos de helmintos**. Natal: UFRN. 2007. 91f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental; Meio Ambiente; Recursos Hídricos e Hidráulica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

CAVALCANTI, M. P. **Tratamento de esgoto doméstico em reator híbrido de fibra de vidro tipo UASB e filtro anaeróbio para comunidades de pequeno porte**. Recife, 2006. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

DOBROWSKY, P.H.; CARSTENS, M.; DE VILLIERS, J.; CLOETE, T.E.; KHAN, W. Efficiency of a closed-coupled solar pasteurization system in treating roof harvested rainwater. **Sci Total Environ**. 2015; 536: 206–14.

DEDINI, D. **Avaliação de um sistema de fluxo contínuo de desinfecção de água por radiação solar, cloração e radiação ultravioleta**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

DEJUNG, S.; FUENTES, I.; ALMANZA, G.; JARRO, R.; NAVARRO, L.; ARIAS, G.; URQUIETA, E.; TORRICO, A.; FENANDEZ, W.; IRIARTE, M.; BIRRER, C.; STAHEL, W.A.; WEGELIN, M. Effect of solar water disinfection (SODIS) on model microorganisms under improved and field SODIS conditions. **Journal of Water Supply: Research & Technology- AQUA**, v. 56, n. 4, p. 245-256, 2007.

DESSIE, A.; ALEMAYEHU, E.; MEKONEN, S.; LEGESSE, W.; KLOOS, H.; AMBELU, A. Solar disinfection: no approach for low-cost household water treatment technology in Southwestern Ethiopia. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v.12, n.1, p.25, 2014.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. DI B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e Técnicas de Tratamento dos Resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água**. 1ª edição, São Carlos: LDiBe Editora, 2012. v. 1. 540 p.

FÉLIX, L.F. **Desinfecção solar de água para comunidades de baixa renda**. 2010. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, 2010. UFRN.

FIOCRUZ. **Colônia Juliano Moreira: Infra-estrutura Urbana - Diagnóstico**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ; 2004.

FISHER, M. B., REMUCAL, C.K.; NELSON, K.L.; VOELKER, B. Speeding up solar disinfection (SODIS): effect of hydrogen peroxide, temperature, pH and copper plus ascorbate on the photoinactivation of *E. coli*. **Journal of Water And Health**, v. 6, n. 1, p.35-51, 2008.

FONTÁN-SAINZ, M.; GÓMEZ-COUSO, H.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; ARES-MAZÁS, E. Evaluation of the solar water disinfection process (SODIS) against *Cryptosporidium parvum* using a 25-L static solar reactor fitted with a compound parabolic collector (CPC). **The American Journal Of Tropical Medicine And Hygiene**, v. 86, n. 2, p. 223-228, 2012.

GIANNAKIS, S.; DARAKAS, E.; ESCALAS-CAÑELLAS, A.; PULGARIN, C. The antagonistic and synergistic effects of temperature during solar disinfection of synthetic secondary effluent. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 280, p. 14-26, 2014a.

GÓMEZ-COUSO, H.; FONTÁN-SAINZ, M.; MCGUIGAN, K.G.; ARES-MAZÁS, E. Effect of the radiation intensity, water turbidity and exposure time on the survival of *Cryptosporidium* during simulated solar disinfection of drinking water. **Acta Tropica**, v. 112, n. 1, p. 43-48, 2009a.

GÓMEZ-COUSO, H.; FONTÁN-SAINZ, M.; SICHEL, C.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; ARES-MAZÁS, E. Efficacy of the solar water disinfection method in turbid waters experimentally contaminated with *Cryptosporidium parvum* oocysts under real field conditions. **Tropical Medicine & International Health**, v. 14, n. 6, p. 620-627, 2009b.

HEASELGRAVE, W., KILVINGTON, S. The efficacy of simulated solar disinfection (SODIS) against *Ascaris*, *Giardia*, *Acanthamoeba*, *Naegleria*, *Entamoeba* and *Cryptosporidium*. **Acta tropica**, v. 119, n. 2, p. 138-143, 2011.

HINDIYEH, M.; LOBO, M. A. A.; LIMA, D. M. B. de. Investigating the efficiency of solar energy system for drinking water disinfection. **Desalination**, v. 259, n.1, p 208–215, 2010.

HIRTLE, L.E. **Exploring Pretreatments for the Solar Water Disinfection (SODIS) Process**. 2008.168 f Masters Thesis. Department of Civil Engineering, University of Waterloo, Ontario, Canada.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010. 219p.

KEHOE, S.C.; JOYCE, T.M.; IBRAHIM, P.; GILLESPIE, J.B.; SHAHAR, R.A.; MCGUIGAN, K.G. Effect of agitation, turbidity, aluminium foil reflectors and container volume on the inactivation efficiency of batch-process solar disinfectors. **Water Research**, 2001, v. 35, n. 4, p. 1061-1065.

LOBO, M. A. A.; LIMA, D. M. B. DE; SOUZA, C. M. N.; NASCIMENTO, W. A.; ARAÚJO, L. C. C.; SANTOS, N. B. DOS. Avaliação econômica de tecnologias sociais aplicadas à promoção de saúde: abastecimento de água por sistema SODIS em comunidades ribeirinhas da Amazônia. **Cien Saude Colet** 2013; 18, 7:2119-2127.

MALATO, S.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; MALDONADO, M.I.; BLANCO, J.; GERNJAK, W. Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: The pilot plants of the Plataforma Solar de Almeria. **Materials Science in Semiconductor Processing**, v. 42, p. 15-23, 2016.

MÄUSEZAHN, D.; CHRISTEN, A.; PACHECO, G.D.; TELLEZ, F.A.; IRIARTE, M.; ZAPATA, M.E.; CEVALLOS, M.; HATTENDORF, J.; CATTANEO, M.D.; ARNOLD, B.; SMITH, T.A.; COLFORD JR., J.M. Solar drinking water disinfection (SODIS) to reduce childhood diarrhoea in rural Bolivia: a cluster-randomized, controlled trial. **PLoS Medicine**, 6, e1000125, 2009.

METCALF e EDDY. **Wastewater Engineering: treatment and resource recovery**. 5ª edição, Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2013. 2048p.

MCGUIGAN, K.G.; CONROY, R.M.; MOSLER, H.J.; DU PREEZ, M.; UBOMBA-JASWA, E.; FERNANDEZ-IBÁÑEZ, P. Solar water disinfection (SODIS): a review from bench-top to roof-top. **Jornal of hazardous materials**, 2012, v. 235, p. 29-46.

MORGADO, W.F.F. **Desinfecção de águas naturais por radiação solar utilizando os bioindicadores: Escherichia Coli e Clostridium perfringens**. Goiânia: UFG.2008. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Goiás, Programa de PósGraduação Strictu Sensu em Engenharia do Meio Ambiente Goiânia.

NALWANGA, R.; QUILTY, B.; MUYANJA, C.; FERNANDEZ-IBÁÑEZ, P.; MCGUIGAN, K.G. Evaluation of solar disinfection of *E. coli* under Sub-Saharan field

conditions using a 25L borosilicate glass batch reactor fitted with a compound parabolic collector. **Solar Energy**, 2014, v. 100, p. 195-202.

NAVNTOFT, C.; UBOMBA-JASWA, E.; MCGUIGAN, K.G.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P. Effectiveness of solar disinfection using batch reactors with nonimaging aluminium reflectors under real conditions: natural well-water and solar light. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, 2008, v.93, n.3, p.155-161.

OLSEN, R.L.; CHAPPELL, R.W.; LOFTIS, J.C. Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis—literature review and Illinois River watershed case study. **Water research**, 2012, v. 46, n. 9, p. 3110-3122.

PÁDUA, V.L (Coord). **Remoção de Microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro:ABES, 2009. 392 f.

PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (SODIS): avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10. n. 1, p. 9-13, 2005.

PESSOA B. M. **Avaliação do processo de desinfecção solar (SODIS) e de sua viabilidade social no estado do Ceará**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

PETER-VARBANETS, M.; MARGOT, J.; TRABER, J.; PRONK, W. Mechanisms of membrane fouling during ultra-low pressure ultrafiltration. **Journal of Membrane Science**, v. 377, n. 1-2, p. 42-53, 2011.

QUELUZ, J.; ALVES, T.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. Desinfecção Solar: Uma solução de baixo custo para o tratamento de águas residuárias / Solar Disinfection: A Solution Of Low Cost For Waste Water Treatment. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**. 8, 2014.

RODRIGUES, I.; BARBIERI, J.C. A emergência da tecnologia social: revisitando o movimento da tecnologia apropriada como estratégia de desenvolvimento sustentável. **RAP**. 2008 nov-dez;42, 6:1069-1094.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; CLESCERI, L. S. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M. Uso potencial da desinfecção solar de águas residuárias de origem doméstica no brasil. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 2, n. 3, p. 283-294, 2008.

SANTOS, J.G.; GARRIDO, M. M.; CORRÊA, R. A. Desinfecção solar da água: a influência da temperatura da água para segurança no tratamento domiciliar. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. 7., 2009. Caruaru. **Anais eletrônicos**. Caruaru:ABCMAC. 2009.

SCHUCH, A.P.; SILVA, G. R.; LIMA-BESSA, K.M.; SCHUCH, N.J.; MENCK, C.F. Development of a DNA-dosimeter system for monitoring the effects of solar-ultraviolet radiation. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 8, n. 1, p. 111120, 2009.

SCHUCH, A.P. **Avaliação da ação genotóxica induzida pela radiação ultravioleta solar na molécula de DNA**. São Paulo: ICB-USP. 2009.150f. Tese. (Doutorado em Biotecnologia). Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo; São Paulo.

SICHEL, C.; BLANCO, J.; MALATO, S.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P. Effects of experimental conditions on *E. coli* survival during solar photocatalytic water disinfection. **Journal of Photochemistry and photobiology A: Chemistry**, 2007, v. 189, n. 2, p. 239-246.

SILVA, J. P. **Avaliação da qualidade da água superficial utilizada no sistema de abastecimento público do município de Belém (PA)**. Belém: UFPA. 2010.120f. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Belém.

SILVEIRA, C. B. (Org.). **Almanaque saúde e cidade**: edição Jacarepaguá – 2013. Organizado por Carmen Beatriz Silveira, Ana Beatriz Melo S. Oliveira e Claudia Muniz Moreira Magnani. – Rio de Janeiro: FioCruz/Programa de desenvolvimento do Campus Fiocruz da Mata atlântica, 2013. 36 p.: il.; graf.; mapas + encarte.

THEITLER, D.J.; NASSER, A.; GERCHMAN, Y.; KRIBUS, A.; MAMANE, H. Synergistic effect of heat and solar UV on DNA damage and water disinfection of *E. coli* and bacteriophage MS2. **Journal of Water Health**, 2012, v.10, pp. 605– 618.

TIMOTHY, F., MATTHEW, S., CACHRO, V., MUÑOZ, A. The effect of increasing grain size in biosand water filters in combination with ultraviolet disinfection. **Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development**, 2014, v.4; 2, 206-213.

TINÔCO, J. D. **Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica**. São Carlos: EESC-USP. 2011. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos.

TOSA, K.; HIRATA, T. Photorreactivations of enterohemorrhagic *Escherichia Coli* following UV disinfection. *Water Research*, 1999, v. 33, n. 2, p. 361-366.

UBOMBA-JASWA, E.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; NAVNTOFT, C.; POLO-LÓPEZ, M.I. Investigating the microbial inactivation efficiency of a 25 L batch solar disinfection (SODIS) reactor enhanced with a compound parabolic collector (CPC) for household use. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, 2010, v. 85, n. 8, p. 1028-1037.

UBOMBA-JASWA, E.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; NAVNTOFT, C.; POLO-LÓPEZ, M.I. Solar disinfection of drinking water (SODIS): an investigation of the effect of UV-A dose on inactivation efficiency. **Photochemical & Photobiological Sciences**, 2009, v. 8, n. 5, p. 587-595.

VELOSO, B.S. **Influência da temperatura e da turbidez na inativação de coliformes colifagos no processo de desinfecção solar**. Rio de Janeiro: EQ-UFRJ. 2010. 88 f Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro.

VIALLE, C.; SABLAYROLLES, C.; LOVERA, M.; JACOB, S.; HUAU, M.C.; MONTREJAUD-VIGNOLES, M. Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. **Water Research**, 2011, v. 45, n. 12, p. 3765-3775.

VICTORIA, I. M. B. **Medição da radiação solar global e difusa utilizando piranômetro com sensores fotoelétricos**. 2008. 85f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Pelotas, 2008.

VIVAR, M. Solar disinfection of natural river water with low microbiological content (10–103CFU.100mL<sup>-1</sup>) and evaluation of the thermal contribution to water purification. **Solar Energy**, 2017, v. 141, p. 1-10.

WORLD HEALTH ORGANIZATION **Guidelines for drinking-water quality**. World Health Organization. Geneva. 4 ed. 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO. **Evaluating household water treatment options: health-based targets and microbiological performance specification**. Geneva:WHO, 2011.

WILSON, S.A. **Impact of Water Quality on Solar Disinfection (SODIS): Investigating a Natural Coagulant Pretreatment on the Photoinactivation of Escherichia Coli**. 2010.168f. Doctoral dissertation. Department of Civil Engineering, University of Toronto.2010.

WRIGHT, H. B.; CAIRNS, W. L. Desinfección de água por medio de Luz Ultravioleta. [on line]. In: Simposio Regional sobre calidad del água. **Desinfección efectiva**. Lima: CEPIS,1998.

USEPA– U. S. Environmental Protection Agency. **Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule**. EPA 815-R06-007. United States, 2006.

RUIZ, B. A. **Implementação do método SODIS (solar water disinfection) em duas comunidades do semi-árido paraibano: aceitabilidade e aspectos socioeconômicos**. 2006.Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.