



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CAMPUS SERTÃO
ENGENHARIA CIVIL

Jefferson Ferreira Tenório da Silva

**AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE MICROORGANISMOS TERMOTOLERANTES
UTILIZANDO RADIAÇÃO SOLAR**

Delmiro Gouveia/AL
Janeiro/2017



JEFFERSON FERREIRA TENÓRIO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE MICROORGANISMOS TERMOTOLERANTES
UTILIZANDO RADIAÇÃO SOLAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto

Delmiro Gouveia/AL
Janeiro/2017



JEFFERSON FERREIRA TENÓRIO DA SILVA

AValiação da remoção de microorganismos termotolerantes
utilizando radiação solar

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da UFAL em Alagoas, Delmiro Gouveia, em 2017, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto.

S586a Silva, Jefferson Ferreira Tenório da
Avaliação da remoção de microorganismos termotolerantes
utilizando radiação solar / Jefferson Ferreira Tenório da Silva. –
2017.

54f.: il.

Monografia (Engenharia civil) – Universidade Federal de
Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto.

1. Águas Residuárias. 2. Desinfecção.

CDU 628

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Campus Sertão/
UFAL – Delmiro Gouveia

Delmiro Gouveia
Janeiro 2017

Folha de Aprovação

JEFFERSON FERREIRA TENÓRIO DA SILVA

AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE MICROORGANISMOS TERMOTOLERANTES UTILIZANDO RADIAÇÃO SOLAR

Projeto de Conclusão de Curso submetido ao
corpo docente do Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Alagoas – Campus
Sertão e aprovado em 17 de Janeiro de 2017.

Antonio Netto

Profº. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto – UFAL Campus Sertão (Orientador)

Banca Examinadora:

Diogo Carlos Henrique

Me. Diogo Carlos Henrique – UFAL Campus Sertão (Examinador Externo)

Rafaela F. C. de Souza

Profª. Dra. Rafaela F. C. de Souza – UFAL Campus Sertão (Examinador Interno)

Antonio Netto

Profº. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto – UFAL Campus Sertão (Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, criador de todas as coisas, responsável pela minha existência. Por me dar força, saúde e perseverança para suportar essa jornada.

Ao meu Orientador, Professor Doutor Antonio Pedro de Oliveira Netto. Obrigado pelo empenho e paciência em suas orientações. Seu apoio, além da disposição em ajudar em momentos de dificuldades, foi fundamental para a execução desta pesquisa.

Aos meus pais, José e Tertuliana, e minhas irmãs, Jeyzianne e Jessica, que me ajudaram nessa caminhada. Sem a torcida e incentivo eu não teria conseguido.

A minha namorada, Francielly Soares, pela paciência e por estar sempre ao meu lado, pelos cuidados, ternura e força que sempre me passou, me motivando e incentivando a não desistir.

A tia Kelly e a minha avó Sebastiana, aos meus familiares pelo apoio, tenho certeza que vocês sabem o quanto são importantes para mim.

Aos amigos de faculdade pelos momentos de distração, em especial, meus amigos Emerson Loro Score, Felipe Rato, Sergio Popa, Lucas Toy e a todos da República Tcheca.

Aos meus professores. Pois os ensinamentos recebidos durante toda a minha vida me possibilitaram ser quem sou.

RESUMO

A desinfecção solar é uma opção simples para o tratamento de água para consumo em comunidades rurais. Os raios solares são muito eficientes para remoção de patógenos e, também, podem ser utilizados para o tratamento de águas residuárias, principalmente, para regiões que favoreçam esse tipo de tratamento. O objetivo do presente estudo é avaliar a eficiência da desinfecção solar para o tratamento de águas residuárias, através de três reatores solares: garrafa PET transparente, recipiente de vidro transparente, garrafa PET com a metade pintada de preta. O afluente do sistema de desinfecção é oriundo de uma fossa séptica e o experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira etapa do trabalho foram realizadas 3 repetições. Os reatores solares ficavam expostos à radiação solar por três dias consecutivos e as coletas das amostras eram realizadas a cada 5 horas, nos horários das 08h00min, 13h00min e 18h00min. Na segunda etapa também foram realizadas 3 repetições, onde os reatores solares ficavam expostos por 8 horas e as coletas das amostras eram realizadas a cada 2 horas, nos horários das 08h00min, 10h00min, 12h00min, 14h00min e 16h00min. A eficiência do tratamento foi avaliada para os parâmetros de concentração de coliformes fecais (CF), temperatura do efluente, demanda química de oxigênio (DQO) e pH. Durante o tratamento foi possível observar que além das concentrações de coliformes, houve diminuições nas concentrações de DQO. Além disso, os maiores valores de temperatura foram atingidos pelos reatores, respectivamente, garrafa PET com a metade pintada de preta (reator PP), recipiente de vidro transparente (reator VI), garrafa PET transparente (reator PT). O reator PP conseguiu a melhor eficiência na inativação de coliformes, provavelmente por atingir os maiores valores de temperatura. Já o reator VI conseguiu os piores resultados, provavelmente, devido ao seu tipo de material.

Palavras-chaves: desinfecção, coliformes, águas residuárias, pet, temperatura.

ABSTRACT

Solar disinfection is a simple option for the water treatment in rural communities. The sun's rays are very efficient for the removal of pathogens and can also be used for the treatment of wastewater, mainly for regions that favor this type of treatment. The objective of the present study is to evaluate the efficiency of solar disinfection for the treatment of wastewater through three solar reactors: transparent PET bottle, clear glass container, PET bottle with half painted black. The affluent of the disinfection system comes from a septic tank and the experiment was conducted in two stages. In the first stage of the work 3 repetitions were performed. The reactors were exposed to solar radiation for three consecutive days and sample collections were performed every 5 hours, at 8:00 am, 1:00 p.m. and 6:00 p.m. In the second stage, 3 replicates were also carried out, where the solar reactors were exposed for 8 hours and samples were collected every 2 hours, at 8:00 a.m., 10:00 a.m., 12:00 a.m., 2:00 p.m. and 4:00 p.m. The efficiency of the treatment was evaluated for the parameters of fecal coliform concentration, effluent temperature, chemical oxygen demand (COD) and pH. During the treatment it was possible to observe that in addition to the concentrations of coliforms, there were decreases in COD concentrations. In addition, the highest values of temperature were reached by the reactors, respectively, PET bottle with half painted black (PP reactor), transparent glass vessel (VI reactor), transparent PET bottle (PT reactor). The PP reactor achieved the best efficiency in the inactivation of coliforms, probably because it reached the highest temperature values. The VI reactor, on the other hand, achieved the worst results, probably due to its type of material.

Keywords: disinfection, coliforms, wastewater, pet, temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sólidos nos esgotos.	15
Figura 2: Distribuição aproximada dos sólidos do esgoto bruto (em concentração). 16	
Figura 3: Processos de desinfecção de esgotos sanitários.....	21
Figura 4: Divisão do espectro eletromagnético.	25
Figura 5: Reator para desinfecção solar de águas residuárias domésticas.	28
Figura 6: Sistema de desinfecção solar.	29
Figura 7: Local do experimento.	30
Figura 8: Mapa de irradiação solar total diária, média mensal de agosto/2008 de alagoas.....	31
Figura 9: Mapa da radiação solar global diária, média anual.	32
Figura 10: Fossa séptica.	33
Figura 11: Sistema de desinfecção solar.	34
Figura 12: Reatores expostos a radiação solar.	35
Figura 13: Medição do pH.	36
Figura 14: Amostras congeladas.....	37
Figura 15: Medição da temperatura.	37
Figura 16: Concentração de DQO nos três reatores durante a primeira etapa do experimento (TDH = 3 dias).	41
Figura 17: Concentração de DQO nos três reatores durante a segunda etapa do experimento (TDH = 8h).....	42
Figura 18: População remanescente de coliformes durante a primeira etapa do experimento (TDH = 3 dias).	46
Figura 19: População remanescente de coliformes durante a segunda etapa do experimento (TDH = 8h).....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Faixas de eficiências de remoção de organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização.	23
Tabela 2: Características do efluente da fossa séptica.	38
Tabela 3: Características do efluente da fossa séptica.	38
Tabela 4: Características do efluente durante a primeira etapa do processo de desinfecção solar.	39
Tabela 5: Características do efluente durante a segunda etapa do processo de desinfecção solar.	40
Tabela 6: Temperatura do efluente dos três reatores na primeira etapa do experimento (TDH = 3 dias).	44
Tabela 7: Temperatura do efluente dos três reatores na segunda etapa do experimento (TDH = 8h).	44
Tabela 8: População remanescente de coliformes durante a primeira etapa do experimento (TDH = 3 dias).	47
Tabela 9: População remanescente de coliformes durante a segunda etapa do experimento (TDH = 8h).	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO	13
2.1. Objetivo Geral	13
2.2. Objetivos Específicos	13
3. REFERÊNCIAL TEÓRICO	14
3.1. Características dos esgotos domésticos	14
3.1.1. Conceito	14
3.1.2. Parâmetros de qualidade	14
3.1.3. Características Físicas	15
3.1.4. Características Químicas	17
3.1.5. Características biológicas	19
3.1.5.1. Indicadores da Poluição	19
3.2. Desinfecção de esgoto doméstico	21
3.2.1. Desinfecção por métodos naturais	22
3.2.1.1. Lagoas de estabilização	22
3.2.1.2. Disposição no solo	23
3.2.2. Desinfecção por métodos artificiais	23
3.2.2.1. Desinfecção por métodos químicos	23
3.2.2.2. Desinfecção por métodos físicos	24
3.3. Desinfecção Solar	25
3.3.1. Efeitos da radiação UV	25
3.3.2. Considerações para eficiência	26
3.3.3. Experiências práticas	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1. Local do experimento	30
4.2. Radiação solar da região	31
4.3. Origem do afluente	32

4.4.	Sistema de desinfecção solar	33
4.5.	Operação do sistema de desinfecção, coleta e análise de amostras.....	35
4.6.	Determinação da temperatura.....	37
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1.	Características do efluente.....	38
5.2.	Alterações na qualidade do efluente	39
5.3.	Variações na temperatura	43
5.4.	Análise do decaimento dos coliformes	45
6.	CONCLUSÃO.....	51
6.1.	Sugestões para trabalhos futuros	51
7.	REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

Atualmente são mais frequentes as discussões entre as organizações, instituições acadêmicas e científicas e autoridades governamentais a respeito da escassez eminente dos recursos hídricos em nosso planeta. O Brasil, mesmo que apresente uma condição aparentemente confortável em relação a situação de muitos países, principalmente os do oriente médio, não pode ficar afastado dessa questão já que seus recursos hídricos não estão distribuídos de forma homogênea, onde várias regiões brasileiras já sentem os problemas de falta de água e convivem com constantes conflitos por essa razão. Na maior parte das regiões onde a água é escassa, esta possui péssima qualidade para ser utilizada em diversas formas, por causa do lançamento de efluentes de esgotos sanitários e industriais “in natura” nos mananciais (MOREIRA & PATERNIANI, 2005b).

Para minimizar ou sanar esses impactos é necessário um tratamento com tecnologia simples e com preço acessível objetivando melhorar a qualidade dessas águas residuárias. Assim pode ser feito o lançamento em corpos hídricos de forma correta seguindo os padrões de qualidade estabelecidos, essa água residuária com o tratamento apropriado também pode ser reutilizada de diversas formas, como por exemplo, para agricultura, nesse caso o esgoto deve passar pelo processo de desinfecção para alcançar os padrões de qualidade necessários no âmbito microbiológico, para não provocar doenças na população.

A desinfecção é uma parte indispensável no tratamento dos esgotos domésticos já que nesses esgotos são encontradas bactérias, vírus e parasitas que podem contaminar os seres humanos causando-lhes doenças. Assim, a desinfecção tem o objetivo de inativar de forma seletiva os organismos que podem prejudicar a saúde humana, seguindo os padrões de qualidade para diversas situações (GONÇALVES *et al.*, 2003).

Apesar disso, a maior parte dos métodos de desinfecção são processos caros, de difícil aplicação em pequenas comunidades, com pouca infraestrutura para suportar o sistema. Para a utilização de águas residuárias na agricultura sem riscos sanitários em comunidades de baixa renda é necessária a utilização de um sistema de desinfecção eficiente, com baixo custo de instalação, de fácil utilização e com poucos gastos de manutenção. Uma opção de desinfecção que possui essas

características é a desinfecção solar (SODIS: *solar disinfection*), podendo ser realizadas de diversas maneiras. Mas, em geral é um sistema que possui um recipiente que possibilita a exposição da água à radiação solar, esse recipiente pode ser de diversos materiais como garrafas PET, garrafas de vidro, reatores, bolsas de plástico, etc (QUELUZ, 2013).

A tecnologia SODIS vem sendo divulgada em vários países em desenvolvimento, esse método de tratamento é utilizado na desinfecção de água para o consumo por mais de 2 milhões de pessoas em 33 países, estudos realizados revelam que a incidência de diarreia nos usuários da SODIS caiu de forma expressiva. Os custos para a implantação da SODIS são muito baixos comparados com os benefícios que a tecnologia trás, a relação custo-benefício alcançada chega a 1:49, para cada dólar gasto com a SODIS é possível economizar 49 no setor da saúde (MEIERHOFER e LANDOLT, 2009).

Esse processo que vem sendo estudado por ser uma tecnologia que consegue fazer a purificação da água e do esgoto com baixo custo, que utiliza a radiação solar para a destruição dos microorganismos patogênicos, é uma tecnologia que não gera efeitos residuais prejudiciais aos seres humanos. Portanto, devem ser realizados estudos para aumentar a eficiência desse tipo de tratamento.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Desenvolver estudo relacionado a desinfecção solar, utilizando um sistema com três reatores para avaliar a eficiência em cada reator para remoção de coliformes.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a influência do sinergismo entre a temperatura e a radiação solar no processo de desinfecção solar.
- Avaliar a eficiência de diferentes materiais (PET e VIDRO) como reatores solares.
- Avaliar a eficiência da desinfecção solar para Delmiro Gouveia.

3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1. Características dos esgotos domésticos

3.1.1. Conceito

Segundo Jordão e Pessôa (2005), a palavra esgoto era comumente utilizada para definir tanto os despejos do uso da água, como a tubulação por qual esse líquido fluía. Atualmente o termo é mais usado para denominar somente o efluente, este que por sua vez pode ter várias origens, como doméstico, industrial, de infiltração, de utilidades públicas e agrícolas.

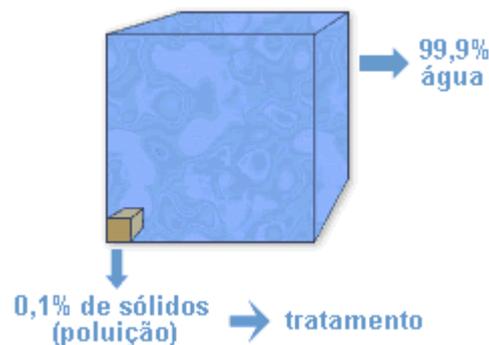
Esgoto sanitário é o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária. O esgoto doméstico é despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas (NBR 9648).

Para Jordão e Pessôa (2005) esgotos domiciliares originam-se de residências, edifícios comerciais ou quaisquer edificações que possuam instalações sanitárias, áreas molhadas ou qualquer dispositivo que utilize água para fins domésticos. Esgoto domiciliar é composto principalmente por dejetos humanos, água de banho, águas de lavagem, resto de comida, sabão e detergentes.

3.1.2. Parâmetros de qualidade

Segundo Von Sperling (2005) cerca de 99,9% do esgoto doméstico é água, o restante é formado de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, e uma parcela de microrganismos. Desta forma, por causa desse 0,1% é necessário tratar o esgoto (Figura 1).

Figura 1: Sólidos nos esgotos.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Para Von Sperling (2005) a característica do esgoto depende do uso por qual a água foi utilizada, o uso e as formas com que a água é empregada provém do clima, da classe social e econômica, e costumes da população. Normalmente são utilizados parâmetros indiretos para traduzir o caráter ou potencial poluidor do esgoto estudado, podendo definir a qualidade do mesmo. Esses parâmetros são classificados em três categorias: parâmetros físicos, químicos e biológicos.

3.1.3. Características Físicas

Funasa (2015), destaca que as principais características físicas ligadas aos esgotos domésticos são: Teor de matéria sólida, temperatura, odor e turbidez.

a) Teor de matéria sólida: Os poluentes da água, com exclusão dos gases dissolvidos, criam a carga de sólidos, sendo definido como a massa que continua como resíduo após a evaporação de 103 °C. Por causa desse pequeno percentual, próximo a 0,1% de sólidos, que ocorre a poluição das águas, por isso é necessário o tratamento do esgoto.

De acordo com Von Sperling (2005) os sólidos são classificados: pelo tamanho, sedimentação e características químicas.

- Classificação do tamanho

A amostra é passada em um papel filtro com dimensões 0,45 a 2 μm , os sólidos interrompidos são classificados como sólidos suspensos e os sólidos que passaram são os sólidos dissolvidos.

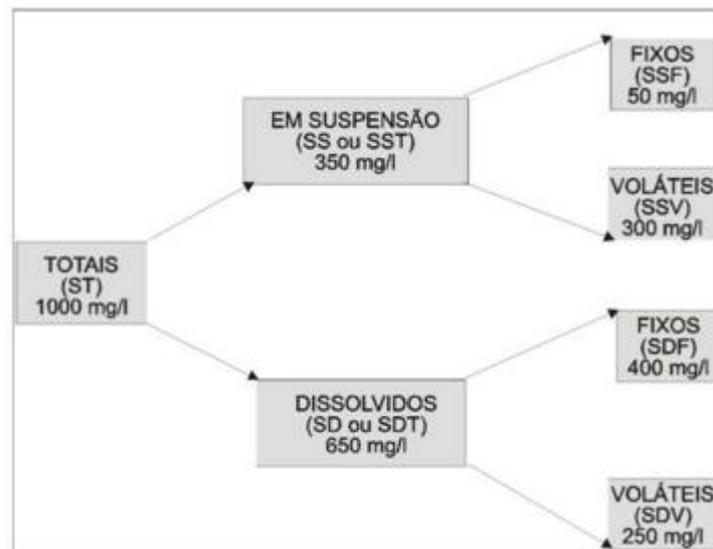
- Classificação pela sedimentabilidade

Após período de uma hora os sólidos que decantaram são classificados como sólidos sedimentáveis e os que não conseguirem são considerados sólidos não sedimentáveis, sendo medido no Cone Imhoff e sua unidade é mL/L.

- Classificação pelas características químicas

Os sólidos são submetidos a uma temperatura de (500 +/- 50°C), onde a parcela orgânica é oxidada, sobrando apenas a parcela inerte. Os sólidos voláteis equivalem as matérias orgânicas e os sólidos não voláteis (fixos) são as matérias inorgânicas. Na (Figura 2) mostra a classificação dos sólidos presentes no esgoto bruto.

Figura 2: Distribuição aproximada dos sólidos do esgoto bruto (em concentração).



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Para Funasa (2015):

- b) Temperatura:** comparando com a das águas de abastecimento o esgoto possui uma temperatura um pouco mais elevada, sendo também superior a do ar, menos nos meses mais quentes do ano. Com o aumento da temperatura a velocidade de decomposição também é aumentada.
- c) Odor:** Sendo formado pelos gases do processo de decomposição, o esgoto novo é aceitável, diferentemente do esgoto velho sendo, insuportável, por causa do gás sulfídrico.

d) Cor e turbidez: Esses fatores mostram instantaneamente o estado de decomposição, a cor cinza junto da turbidez são características do esgoto novo, já a cor cinza escuro ou preto é específica do esgoto velho.

3.1.4. Características Químicas

Segundo Jordão e Pessoa (2005) as características químicas podem ser divididas em dois grupos: matérias orgânicas e inorgânicas.

Matéria orgânica: aproximadamente 70% dos sólidos no esgoto são de matéria orgânica, frequentemente são combinações de carbono, hidrogênio e alguns nitrogênio. As matérias orgânicas do esgoto são formadas essencialmente por:

- Proteínas (40 a 60%)
- Carboidratos (25 a 50%)
- Gorduras e Óleos (10%)
- Uréia, surfatantes, fenóis, pesticidas (particular de despejos industriais), etc.

As proteínas são o principal integrante do organismo animal, sendo encontradas em plantas, são fornecedoras do enxofre que produz gás sulfídrico nos esgotos.

A produção dos ácidos orgânicos é feita pelo consumo de carboidratos realizados pelas bactérias, esses ácidos são mais encontrados em esgotos velhos. Sendo mais encontrados nos açúcares, amido, celulose e fibra de madeira.

A gordura a todo momento é encontrada no esgoto doméstico sendo derivado de manteiga, carne, óleos vegetais e outros, podem provocar entupimento e diminuição da seção útil das canalizações. Por causar inúmeros problemas se faz necessário limitar o teor de gordura nos efluentes, tem uma concentração media de 100 mg/l variando de 50 a 150 mg/l nos esgotos domésticos.

Matéria inorgânica: é composta basicamente de areia e substancias minerais dissolvidas, a areia normalmente oriunda das águas de lavagem e águas do subsolo apresentam-se nas galerias de forma inadequada infiltrando-se através dos espaços entre as canalizações.

Outros fatores também fazem parte das características químicas, tais como, a DBO, o nitrogênio e o fósforo, a Funasa (2015) define estes itens da seguinte maneira:

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A maneira mais usada para verificar de forma indireta a quantidade de matéria orgânica no esgoto, é medido a quantidade de oxigênio necessário para estabilizar a matéria orgânica de uma amostra com quantidade padronizada. Para determinar a DBO padrão é utilizado bactérias aeróbias por um período de 5 dias em uma temperatura de 20°C. Quanto maior a DBO maior a poluição orgânica, sendo reduzida através do procedimento aeróbio até a completa estabilização da matéria orgânica, por um período de 20 dias na temperatura de 20°C é possível estabilizar 99% da matéria orgânica dissolvida no esgoto doméstico. A DBO sofre modificações nos seus valores dependendo da região e da característica do esgoto, tendo valores médios entre 200 a 400 mg/L para os esgotos domésticos brutos, o que significa a quantidade de oxigênio em mg para a estabilização da matéria orgânica presente em um litro de esgoto.

Nitrogênio

Os testes de nitrogênio são empregados para a caracterização dos esgotos e tem indicativos da manutenção da atividade biológica nos procedimentos de tratamento e no controle desses esgotos. O nitrogênio pode ser encontrado na forma de ureia e proteína no esgoto fresco, sendo transformado em amônia, nitritos e nitratos sequencialmente pela ação das bactérias. A presença do nitrogênio no curso d'água pode mostrar qual o estágio de poluição.

Fósforo

O fósforo é um alimento crucial para o aumento dos micro-organismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, sendo mais encontrado na forma de ortofosfato nos esgotos domésticos, mas também pode ser encontrado na

forma de polifosfato e fósforo orgânico. O excesso do fósforo nos corpos d'água produz um grande acúmulo de algas e o fenômeno de eutrofização.

3.1.5. Características biológicas

Segundo a Funasa (2015) as principais características biológicas das águas residuais são ligadas as classes de micro-organismos encontradas nessas águas, as mais importantes são: as bactérias, fungos, vírus, algas e protozoários. As bactérias são cruciais para decomposição e estabilização da matéria orgânica nas estações de tratamento e também na natureza, servindo de alimento para os protozoários e equilibram diferentes formas de organismos presentes.

3.1.5.1. Indicadores da Poluição

De acordo com Jordão e Pessôa (2005) a poluição nos corpos d'água pode ser identificada pela presença de alguns organismos. Para analisar a quantidade da poluição fecal e necessário utilizar indicativos de bactérias de origem fecal, por sempre se apresentarem no intestino humano e em outros animais de sangue quente, são encontradas em grande quantidade na excreção humana (100 bilhões de coliformes totais/hab.dia, por exemplo) por esse motivo servem de referência para medir a quantidade da poluição. As doenças de vinculação hídrica podem ser causadas pelo excremento de algum indivíduo doente portador de um organismo patogênico, existe inúmeros organismos patogênicos no esgoto, esses que possuem indicadores específicos como:

- Coliformes totais (CT);
- Coliformes fecais (CF);
- Escherichia coli (EC);
- Estreptococos fecais (EsF);
- Enterococos fecais (EnF).

Jordão e Pessôa (2005) também define os principais tipos de agentes patogênicos entre eles estão presentes: Coliformes Totais, Coliformes Fecais, Helmintos, Protozoários e Cianobactérias.

Coliformes Totais

A existência das bactérias desse grupo não representa a contribuição humana ou animal para a poluição do esgoto, além de estarem presentes em suas excreções, essas bactérias podem crescer na vegetação e no solo sendo carregadas por águas de lavagem. Foram desenvolvidos testes específicos para medir os coliformes totais, sendo medido por uma estimativa estatística conhecida por Número Mais Provável de coliformes (NPM/100 ml), no esgoto bruto pode ser encontrado valores próximos de 10^6 a 10^9 NMP/100ml de coliformes totais, ou 10^9 a 10^{12} org/hab.dia.

Coliformes fecais

Subgrupo dos coliformes totais, sendo tolerante a grandes temperaturas, é somente de origem fecal. No esgoto bruto pode ser encontrado valores próximos de 10^5 a 10^8 NMP/100ml de coliformes fecais, ou 10^8 a 10^{11} org/hab.dia.

Helmintos

São parasitas dos quais seus ovos são detectados nas águas residuárias, vulgarmente chamados de "lombrigas", suas larvas se fixam no intestino, e seus ovos são eliminados nas fezes dando origem aos embriões que contaminam os alimentos, solo e água. Teor típico de helmintos: $<10^6$ ovos/hab.dia; $<10^3$ ovos/100ml.

Protozoários

São parasitas dos quais seus cistos podem ser encontrados nas fezes humanas, causam enfermidades como, giardíase, cryptosporidia, e amebíase, provocando diarreias, cólicas, perda de peso, sendo mais frequentes em países pobres sem saneamento.

Cianobactérias

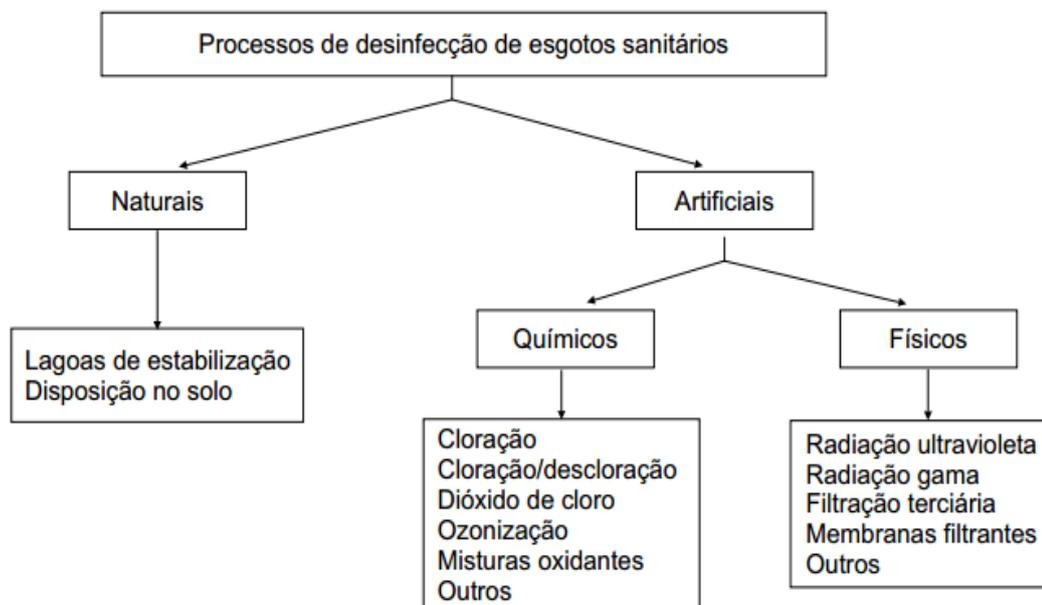
Bactérias que estão causando uma preocupação no Brasil, sendo conhecida como algas produzem algumas toxinas que causam irritação na pele e odor e gosto a água, afetam também o intestino e o fígado, o crescimento dessas algas tóxicas ocorre geralmente em represas e reservatórios de acumulação.

3.2. Desinfecção de esgoto doméstico

Segundo o Gonçalves *et al.* (2003), são encontrados nos esgotos, bactérias, vírus e parasitas que podem contaminar os seres humanos causando doenças. Logo, a desinfecção tem o objetivo de inativar de forma seletiva os organismos que podem prejudicar a saúde humana, seguindo os padrões de qualidade para diversas situações. Existem processos artificiais e naturais que podem ser combinados ou usados isoladamente. Os artificiais utilizam agentes físicos e químicos para inativar os organismos alvos.

O esquema relacionado aos processos está explícito na (Figura 3).

Figura 3: Processos de desinfecção de esgotos sanitários.



Fonte: Gonçalves *et al.* (2003).

Para Von Sperling (2005), alguns processos são eficientes sendo possíveis remoções de coliformes de 99,99% ou mais, apresentando também elevadas remoções de organismos patogênicos sendo igual ou superior à remoção de coliformes, sendo variável em relação ao mecanismo de remoção e da resistência de cada espécie.

3.2.1. Desinfecção por métodos naturais

3.2.1.1. Lagoas de estabilização

Segundo Mara (2004), lagoas de estabilização são grandes bacias rasas arrodadas por taludes, onde por processo natural o esgoto bruto é tratado por métodos que utilizam algas e bactérias. Esses procedimentos têm uma oxidação bastante lenta, e por esse motivo há necessidade de uma retenção hidráulica mais longa do que outros tratamentos, sendo bastante eficiente para países que apresentem temperaturas favoráveis, ou seja, para regiões de clima quente. Existem três tipos de lagoas de estabilização: lagoas anaeróbias e facultativas, que realizam remoção da DBO, algumas bactérias fecais (especialmente *Vibrio cholerae*) e também são responsáveis pela remoção da maior parcela de ovos helmintos; já as lagoas de maturação tem como objetivo principal a remoção de patógenos.

Para Gonçalves *et al.* (2003), as lagoas de maturação tem a profundidade reduzida, facilitando a penetração de luz solar, aumentando a atividade fotossintética, a produção de oxigênio dissolvido, consumo de CO₂(Dióxido de Carbono), conseqüentemente, a elevação do pH.

Bactérias e vírus são inativados, preponderantemente, pela exposição prolongada à irradiação solar (raios UV), sendo letal a conjugação dos seguintes fatores (Gonçalves *et al.*, 2003 *apud* Curtis *etal.*, 1992; van Haandel e Lettinga, 1994; van Buuren *et al.*, 1995):

- Radiação solar (radiação ultravioleta)
- Elevado pH (pH > 8,5)
- Elevada concentração de OD

A Tabela 1 demonstra os tipos de lagoas e suas respectivas eficiências quanto à remoção de organismos patogênicos.

Tabela 1: Faixas de eficiências de remoção de organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização.

Parâmetros	Eficiência Típica de Remoção (% ou unidades log removidas)*				
	Lagoa Facultativa	Lagoa Anaeróbia - Facultativa	Lagoa Facultativa - Maturação	Lagoa Anaeróbia - Facultativa - Maturação	Reator UASB – Lagoa de Polimento
Coliformes	1 – 2 log	1 – 2 log	3 – 6 log	3 – 6 log	3 – 6 log
Bactérias patogênicas	1 – 2 log	1 – 2 log	3 – 6 log	3 – 6 log	3 – 6 log
Vírus	≤1 log	≈1 log	2 – 4 log	2 – 4 log	2 – 4 log
Cistos de protozoários	≈ 100%	≈ 100%	100%	100%	100%
Ovos de helmintos	≈ 100%	≈ 100%	100%	100%	100%
*1 log = 90%; 2 log = 99%; 3 log = 99,9%, 6 log = 99,9999%.					

Fonte: Gonçalves *et al.* (2003).

3.2.1.2. Disposição no solo

Segundo Gonçalves *et al.* (2003), a disposição de efluentes no solo faz a remoção de organismos patogênicos por processos naturais, podendo ser complemento de outros tratamentos, produz pequena ou mesmo inexistente modificação nos processos ambientais. Faz a remoção parcial ou total dos patógenos, pode reduzir custos e evitar a formação de subprodutos indesejáveis.

Para Von Sperling (2005), a capacidade do solo em absorver os compostos orgânicos complexos depende de suas características e condições climáticas, onde vários mecanismos atuam na remoção dos poluentes no solo tais como: sedimentação, desidratação, oxidação, predação entre outros.

3.2.2. Desinfecção por métodos artificiais

3.2.2.1. Desinfecção por métodos químicos

Segundo Daniel (2001), todos os métodos químicos que são aplicados na desinfecção têm o papel de controlar doenças de veiculação hídrica e inativar os

organismos patogênicos. Existem 3 grupos de mecanismos na desinfecção dos organismos patogênicos por agentes químicos.

- Danificação da parede celular, do núcleo ou do citoplasma. A desinfecção irá atuar sobre as estruturas celulares, impossibilitando suas funções elementares.
- Deformação de compostos envolvidos no catabolismo, modificando e prejudicando a energia da célula.
- Deformação no sistema de crescimento e síntese celular, modificando suas funções, como a síntese de proteínas, coenzimas e ácidos nucléicos.

Cloração

Para Von Sperling (2005), o cloro é o desinfetante mais utilizado para o tratamento de águas e esgotos, e sua aplicação pode ser feita de várias formas como cloro gasoso, hipoclorito de sódio e outros compostos de cloro na forma sólida e líquida.

Após o contato com as bactérias presentes nas águas residuárias, o cloro provoca vários eventos relacionados à atividade da membrana celular, como deformação na impermeabilidade, e modificação dos ácidos nucléicos, causando mutações. Essas modificações nos ácidos nucléicos e na envoltória protéica faz com que ocorra a inativação dos vírus, não sendo muito eficiente contra os protozoários, por causa do seu tamanho, assim para removê-los necessita de um processo auxiliar (GONÇALVES *et al.*, 2003 *apud* WEF, 1996).

Segundo Jordão e Pessôa (2005), há pouco tempo vem se tomando cuidado com os efeitos da cloração sobre a matéria orgânica existente no esgoto, pois pode produzir compostos organoclorados e trihalometanos, e a eventuais decorrências carcinogênicas.

3.2.2.2. Desinfecção por métodos físicos

Para Gonçalves *et al.* (2003), em meio a todos os processos físicos, os que se destacam são radiação ultravioleta, radiação gama e filtração por membrana. Diferentemente da radiação ultravioleta, a radiação gama atravessa uma grande profundidade ao meio líquido, mesmo com a existência de sólidos e turbidez. O

cobalto 60 é a fonte da radiação gama, o seu custo é alto comparado aos métodos mais comuns de desinfecção, mesmo que seja promissor ao se pensar nos seus valores de inativação, como 5 a 6 unidades log de inativação de coliformes fecais em 5 minutos.

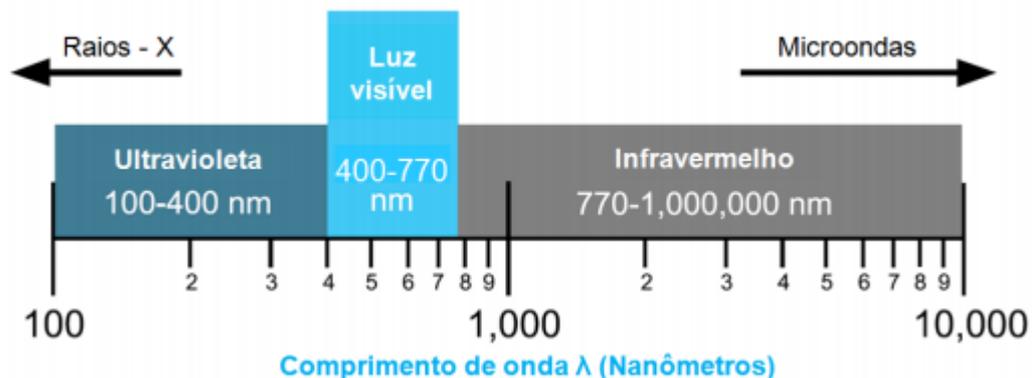
Segundo Gonçalves *et al.* (2003), a filtração por membrana pode ser definida de modo geral como processo que faz a divisão utilizando membranas semipermeáveis que faz a separação em duas porções: uma parte com material retido com as espécies que foram deixadas para trás e outra com material passante. Em relação a desinfecção, a membrana servirá de barreira impedindo a passagem de vírus, bactérias e organismos patogênicos maiores.

3.3. Desinfecção Solar

3.3.1. Efeitos da radiação UV

Para EAWAG/SANDEC (2002), a radiação solar pode ser dividida em três escalas em relação ao seu comprimento de onda: radiação UV, luz visível e radiação infravermelho (Figura 4). Sendo imperceptível ao homem, a radiação UV é bastante ofensiva que pode causar danos graves aos olhos e a pele podendo destruir células vivas. Felizmente, a maior parte da luz UV-C e UV-B na gama de 200 a 320nm é absorvida pela camada de ozônio (O₃) e, somente a radiação UV-A na gama de comprimento de onda 320nm-400nm consegue atingir a superfície em quantidades significativas.

Figura 4: Divisão do espectro eletromagnético.



Fonte: Adaptado de RYER, 1998.

A desinfecção por radiação UV acontece devido a absorção da radiação pelas proteínas e pelos ácidos nucleicos DNA e RNA, as proteínas presentes nas membranas celulares absorvem altas quantidades de UV provocando a quebra dessas membranas, por conseguinte, à morte celular. Entretanto, se ocorre a absorção de pequenas porções pelo DNA pode somente interromper os agentes patogênicos de se reproduzirem, prevenindo a contaminação do meio (DANIEL,2001).

Sendo incapazes de se reproduzirem e formar colônias os agentes patogênicos são considerados inativos. Portanto, a exposição à radiação ultravioleta, pode provocar a inativação dos microrganismos. Porém, várias células, incluindo as bacterianas, possuem ferramentas de reparo de DNA, onde consertam os efeitos causados por agentes externos, como a radiação UV e compostos organoclorados, podendo acontecer o recrescimento bacteriano mesmo depois de todo processo de desinfecção nos sistemas de tratamento de esgoto (SANTOS, 2010 *apud* ALVES 2015).

Segundo Gonçalves *et al.* (2003), os principais mecanismos que permitem a recuperação dos microrganismos que sofreram a radiação UV são: fotorreativação, onde é obtida a recuperação pela ação de enzimas na presença de radiação de comprimento de onda de 300 a 500nm; o outro mecanismo acontece na ausência de luz, onde é feita a substituição da parte que foi danificada. A fotorreativação diminui a efetividade do processo de desinfecção UV, a amplitude da fotorreativação depende da dose de radiação UV que foi aplicada no processo de desinfecção. Quanto maior for a quantidade de radiação aplicada, menores serão os impactos causados pela fotorreativação.

3.3.2. Considerações para eficiência

Diversos elementos podem afetar no desempenho do processo de desinfecção ultravioleta, a DBO quando constituída de uma grande porção de matéria húmica, pode provocar uma redução na eficiência da desinfecção, já que por sua vez as substâncias húmicas absorvem grandes quantidades de radiação, os SST também absorvem a radiação UV impedindo a penetração dos raios, assim protegendo os agentes patogênicos, o pH e a dureza afetam a solubilidade de metais assim também podendo absorver os raios ultravioletas (USEPA, 1999).

De acordo com Daniel (2001), a turbidez e a espessura da lâmina de água modificam consideravelmente na efetividade da inativação dos microrganismos. Quando é aumentado a profundidade e a turbidez provoca um decréscimo da eficiência do processo de desinfecção, se fixar um tempo de exposição. Quanto maior for a turbidez maior deve ser o tempo de exposição para conseguir uma efetiva desinfecção.

O estudo de Malato *et al.* (2009) considera que as temperaturas de até de 40°C não provocam diferença nas velocidades da desinfecção dos agentes patogênicos, mas a partir de temperaturas superiores a 45°C acontece um sinergismo entre o aquecimento térmico e a radiação UV acelerando e melhorando a desinfecção solar.

As variações sazonais e diárias modificam a intensidade da radiação solar, onde essa diferença sazonal varia de acordo com a latitude, sendo o principal responsável pelo clima de cada região. Essas alterações sazonais são importantes, pois têm grande influência sobre a desinfecção solar, sendo avaliadas antes da implementação da SODIS. Além disto, a intensidade da radiação solar está submetida a variações diárias, como condições de nebulosidade diminuindo a radiação disponível (EAWAG/SANDEC, 2002).

A inativação dos seres patogênicos pela radiação UV, depende da resistência que cada espécie possui para esse tipo de desinfecção, as bactérias e os vírus são muito vulneráveis a radiação UV, diferente dos protozoários e os ovos de helmintos já que possuem proteções naturais. Portanto, esses microrganismos devem ser retirados nas etapas anteriores ao processo de desinfecção UV, o que geralmente ocorre pelos processos de sedimentação e filtração (GONÇALVES *et al.*, 2003).

3.3.3. Experiências práticas

O estudo de Paterniani e Silva (2005) avaliou a eficiência da desinfecção solar de águas para o consumo e a reativação bacteriana após esse processo, onde foram utilizadas garrafas PET transparentes com a metade pintada de preto, suas variáveis foram: tempos de exposição de 1, 2, 4 e 6 e a utilização de um concentrador de raios solares. Os resultados encontrados mostram que as garrafas que não utilizaram o concentrador conseguiram inativar cerca de 99,56% de coliformes totais com o tempo de exposição de 6 horas, os autores também

constatarem que a utilização do concentrador solar reduziu o tempo de exposição ao sol de 6 para 4 horas, e também se utilizar o concentrador por um período de 6 horas a água pode atingir temperaturas de 70 °C impedindo o recrescimento bacteriano, além disso foi observado que a presença de nuvens diminui a incidência solar, assim como a eficiência da SODIS.

O estudo de Sánchez-Román *et al.* (2007) avaliaram a viabilidade do uso da radiação solar para desinfecção de águas residuais domésticas tratadas (ARDT), onde desenvolveram um reator solar (Figura 5) com formato quadrado de 1,5 metros de lado e 0,4 metros de profundidade, utilizaram o tempo de exposição de 8 horas, retirando amostras a cada 2 horas, os resultados mostraram que a SODIS pode ser empregada para desinfecção de águas residuárias domésticas para reuso na agricultura, sendo recomendado a utilização do reator na altura de até 0,20 metros.

Figura 5: Reator para desinfecção solar de águas residuárias domésticas.



Fonte: Sánchez-Román et al., 2007.

De acordo com Queluz (2013) o sistema de Sánchez-Román *et al.* (2007) possui uma limitação em relação a forma estrutural do seu reator, por suas paredes formarem um ângulo de 90° com o fundo do reator, essa característica pode provocar sombras diminuindo a exposição do esgoto afetando a eficiência do processo de desinfecção solar. Por causa disso, Queluz (2013) desenvolveu reatores (Figura 6) com as paredes inclinadas para impedir a formação das sombras

e também utilizou diferentes colorações: preta, branca e concreto, para melhorar a eficiência do tratamento por causa do sinergismo entre a radiação UV e a temperatura. Os reatores possuíam lâminas de água residuária com 10 cm, onde ficavam expostas por 3 dias, durante o processo foi observada a melhoria nos padrões de DQO e SST nos reatores, e para as condições climáticas do município de Botucatu/SP o tempo necessário para a desinfecção solar das águas residuais domésticas de $1,29 \times 10^6$ NMP 100 mL^{-1} até 1.000 NMP 100 mL^{-1} pode variar de 2,82 a 7,19 dias.

Figura 6: Sistema de desinfecção solar.



Fonte: Queluz, 2013.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi analisada a eficiência da desinfecção de águas residuárias utilizando-se três reatores de desinfecção solar. Foram avaliados os parâmetros de pH, temperatura do meio líquido, irradiação solar, demanda química de oxigênio (DQO) e coliformes termotolerantes. O experimento foi realizado de 01/08/2016 a 25/08/2016.

4.1. Local do experimento

O sistema de desinfecção solar foi instalado próximo ao campus da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus Sertão, Delmiro Gouveia/AL, nas coordenadas geográficas 9°21'02.4" Sul e 37°59'18.9" Oeste (Figura 7).

Segundo Climate – Data (2016) o clima da região é definido como BSh (Köppen e Geiger): Clima Semiárido quente, sendo caracterizado por escassez de chuva, baixa nebulosidade, forte insolação e temperaturas médias elevadas, a temperatura média anual em Delmiro Gouveia é 25.4°C, e tem uma pluviosidade média anual de 511 mm.

Figura 7: Local do experimento.

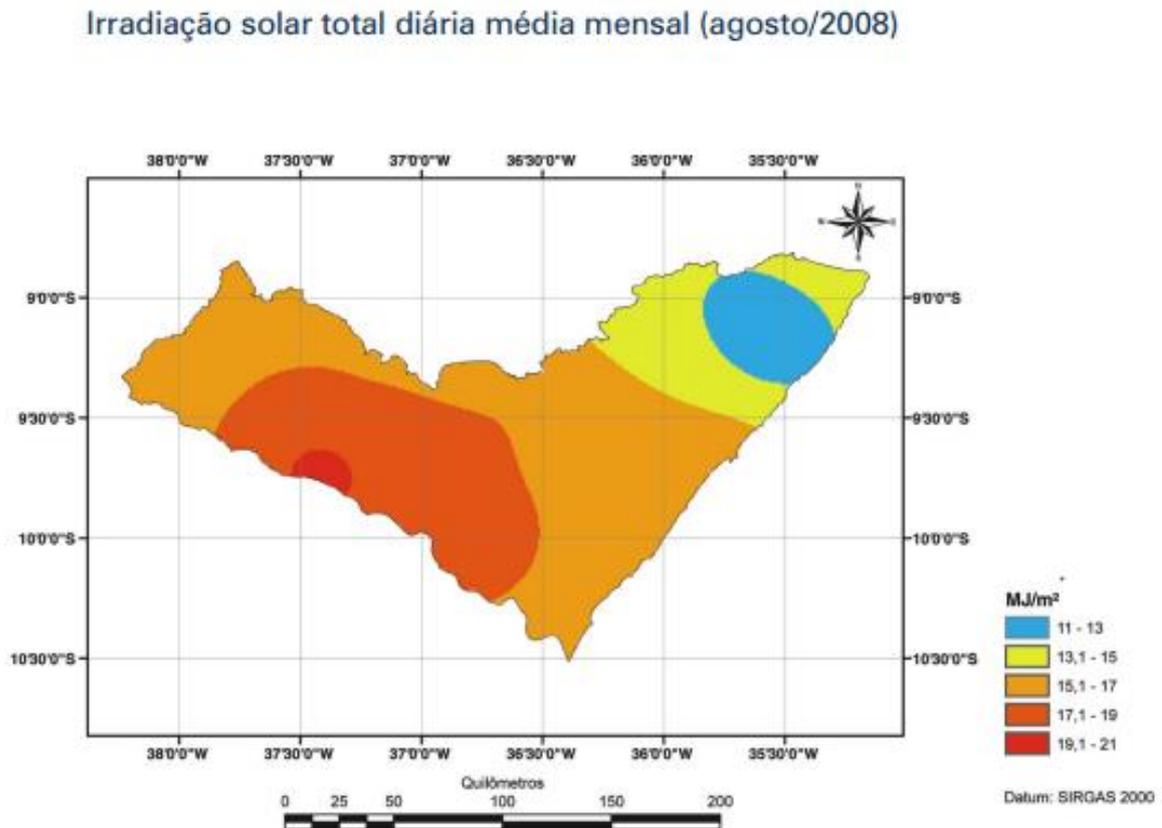


Fonte: Google Maps.

4.2. Radiação solar da região

O projeto de Tiba *et al.* (2008) desenvolveu um atlas solarimétrico do estado de alagoas onde descreve dados sobre a irradiação solar em cada mês dos anos de 2007-2008. A Figura 8, demonstra que a região Delmiro Gouveia possui os valores de irradiação solar entre $15,1 - 17 \text{ MJ}/\text{m}^2$ para o mês de agosto de 2008.

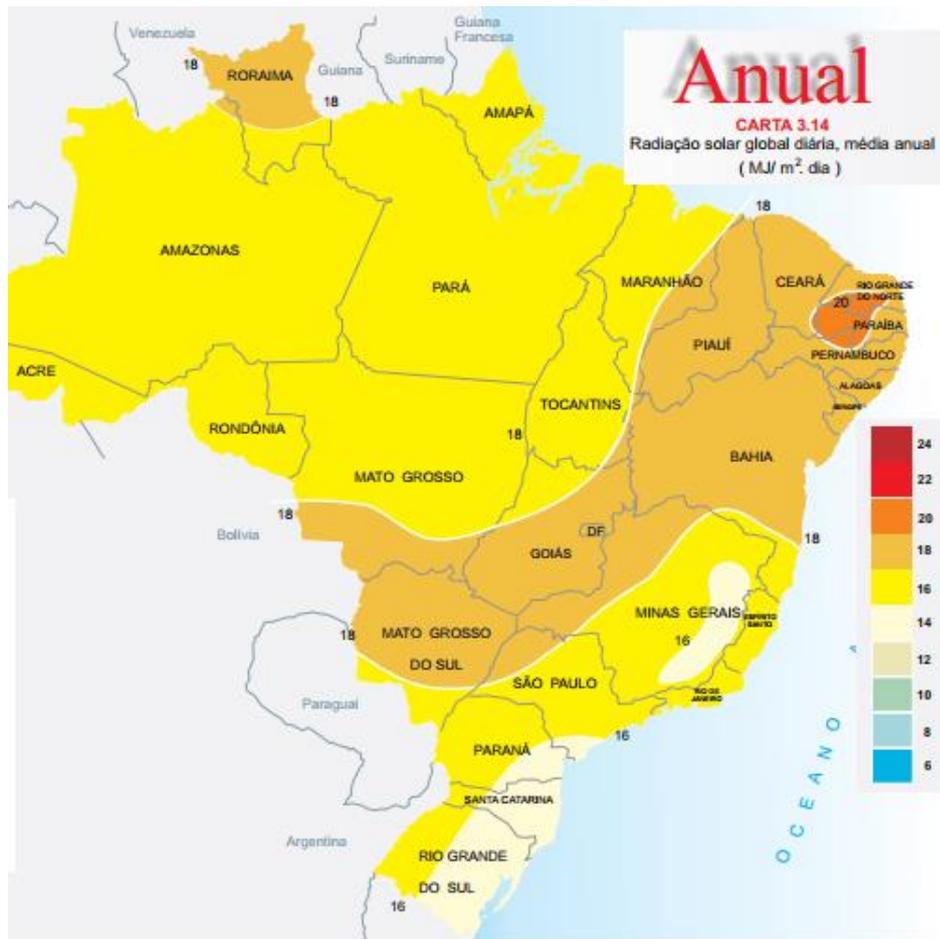
Figura 8: Mapa de irradiação solar total diária, média mensal de agosto/2008 de alagoas.



Fonte: tiba et al., 2008.

Segundo Tiba *et al.* (2000) o atlas solarimétrico do Brasil mostrado (Figura 9), evidencia que alagoas possui uma radiação solar global diária de $18 \text{ MJ}/\text{m}^2.\text{dia}$.

Figura 9: Mapa da radiação solar global diária, média anual.



Fonte: Adaptado de Tiba et al., 2000.

4.3. Origem do afluente

O afluente que foi utilizado no processo de desinfecção solar era oriundo da saída da fossa séptica (Figura 10) que trata os resíduos líquidos da Universidade (UFAL), onde o esgoto recebia o tratamento primário, necessário para melhorar a eficiência do processo de desinfecção, o esgoto era coletado por uma bomba hidráulica manual sendo depositado em um recipiente fechado, depois era levado até o local do experimento onde seriam preenchidos os reatores solares.

Figura 10: Fossa séptica.



Fonte: Autor (2016).

4.4. Sistema de desinfecção solar

A área selecionada para exposição dos reatores à radiação solar localizou-se no campus sertão da UFAL. A escolha do local levou em consideração o fato de ser uma área plana, sem vegetação de grande porte ou edificações próximas que criassem sombras, com a vantagem de ser próxima ao laboratório de saneamento ambiental, onde foram realizadas medições do pH e armazenamento (congelamento) das amostras.

O sistema de desinfecção solar desenvolvido mostrado na (Figura 11) é formado por três reatores solares: garrafa PET transparente, recipiente de vidro transparente, garrafa PET com a metade pintada de preto. Todos os reatores ficaram sobre uma chapa metálica com objetivo de aumentar as temperaturas oriundas da incidência solar.

Figura 11: Sistema de desinfecção solar.



Fonte: Autor (2016).

Para a avaliação da eficiência da desinfecção solar, foram utilizados reatores de PET e de VIDRO (Figura 12) e para ser feita uma análise do sinergismo entre a temperatura e a desinfecção solar foi realizado um acabamento diferenciado em um dos reatores de garrafa PET.

Com o objetivo de padronizar a metodologia, foram utilizadas garrafas PET da mesma marca, sempre novas sem arranhões e limpas para não provocarem alterações nos resultados.

- Reator 1: Garrafa PET transparente, volume de 2 litros, não recebeu nenhum tipo de acabamento.
- Reator 2: recipiente de vidro transparente, volume 3 litros, não recebeu nenhum tipo de acabamento, utilizado para verificar a eficiência da desinfecção solar entre os materiais (VIDRO e PET).
- Reator 3: Garrafa PET pintada com tinta na cor preta na metade da seção inferior, volume de 2 litros, esse reator recebeu esse acabamento com o intuito de aumentar a retenção de calor, em consequência elevar a temperatura da água residuária que está sendo tratada.

Figura 12: Reatores expostos a radiação solar.



Fonte: Autor (2016).

4.5. Operação do sistema de desinfecção, coleta e análise de amostras

O experimento foi realizado em duas etapas, com modificações em relação ao tempo de exposição e a coleta de dados:

1. **Tempo de exposição lento** - na primeira etapa do trabalho foi utilizado um tempo de exposição prolongado. O afluente, após passar pelo tratamento primário na fossa séptica era colocado nos reatores solares onde ficavam expostos a radiação solar por três dias consecutivos. Foi escolhido esse tempo para avaliar o comportamento da população de coliformes submetida a elevadas doses de radiação solar. No primeiro dia, os reatores eram preenchidos com a água residuária e as coletas das amostras eram realizadas nos horários de 08:00, 13:00 e 18:00 horas. Esses horários de coleta de amostras se repetiram nos dois dias subsequentes. Este procedimento, em batelada, foi repetido três vezes em cada reator solar.
2. **Tempo de exposição rápido** - na segunda etapa foi utilizado um tempo de exposição curto para avaliar o comportamento inicial da população de coliformes, assim podendo observar a curva de inativação. O afluente, após

passar pela fossa séptica era colocado nos reatores solares onde ficavam expostos a radiação solar por um período de 8 horas. Os reatores eram preenchidos as 08:00 da manhã, e as amostras eram coletadas nos horários de 08:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 horas. Este procedimento, em batelada, foi repetido três vezes em cada reator solar.

As amostras foram coletadas conforme os horários predefinidos, a cada coleta era retirada uma alíquota (100ml) de cada reator, onde eram levadas até o laboratório de saneamento ambiental no próprio Campus Sertão para ser feita a análise do pH mostrado na (Figura 13), logo após esse processo as amostras eram congeladas (Figura 14) para evitar o recrescimento da população de coliformes, posteriormente, sendo levadas para o Laboratório de Saneamento no Centro de Tecnologia da UFAL em Maceió -AL para serem feitas as análises de coliformes e da demanda química de oxigênio (DQO).

Figura 13: Medição do pH.



Fonte: Autor (2016).

Figura 14: Amostras congeladas.



Fonte: Autor (2016).

4.6. Determinação da temperatura

A cada coleta das amostras ocorria a aferição da temperatura. Foi utilizado o termômetro (Figura 15) marcaAlla Brasil (modelo digital, referência: 910.14 CHP) com leituras na faixa de -50 a $+70^{\circ}\text{C}$ e precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Figura 15: Medição da temperatura.



Fonte: Autor (2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como foi descrito na seção Material e Métodos o experimento foi realizado em duas etapas em relação ao tempo de detenção da água residuária, onde foram realizadas 3 repetições de coleta de dados para o tempo de detenção de 3 dias, e 3 repetições para o tempo de detenção de 8 horas. Ambas as baterias foram realizadas com sucesso e foi possível observar que a primeira e a última semanas apresentaram clima nublado e mesmo assim não atrapalhou na obtenção dos resultados.

5.1. Características do afluente

Serão apresentados os padrões avaliados das águas residuárias antes do processo de desinfecção. Na tabela 2 são mostrados os valores do efluente da fossa séptica na primeira etapa do experimento e na tabela 3 referente a segunda etapa.

Tabela 2: Características do efluente da fossa séptica.

Características do efluente da fossa séptica				
Parâmetro	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Coliformes (NMP/100mL)	$7,33 \times 10^6$	$8,52 \times 10^6$	$6,20 \times 10^6$	$1,16 \times 10^6$
DQO (mg/L)	394,67	565,00	301,00	147,76
Temperatura (°C)	25,90	26,50	25,30	0,85
pH	8,99	9,09	8,84	0,13

Tabela 3: Características do efluente da fossa séptica.

Características do efluente da fossa séptica				
Parâmetro	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Coliformes (NMP/100mL)	$5,71 \times 10^6$	$8,20 \times 10^6$	$4,11 \times 10^6$	$2,18 \times 10^6$
DQO (mg/L)	415,00	496,00	300,00	102,33
Temperatura (°C)	25,77	26,10	25,50	0,31
pH	9,15	9,19	9,11	0,04

Jordão e Pessôa (2005), apresenta valores para as características físico-químicas típicas de esgotos sanitários predominantemente domésticos e também quantifica os microrganismos presentes nessas águas residuárias, os valores para esgotos de concentração média para DQO e Coliformes fecais, são respectivamente, 500mg/l e $10^6 - 10^7$ (NMP/100 ml). Portanto, podemos classificar o afluente do sistema de desinfecção como esgoto de concentração média.

5.2. Alterações na qualidade do efluente

Sánchez-Román *et al.* (2007) e Queluz (2013) observaram alterações nos padrões físico-químicos de seus efluentes durante o processo de desinfecção, de modo correspondente o presente trabalho apresentou alterações. Nas Tabelas 4 e 5 estão expostos os valores dos três reatores durante a desinfecção solar.

Tabela 4: Características do efluente durante a primeira etapa do processo de desinfecção solar.

Parâmetro	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
REATOR PT				
DQO (mg/L)	167,41	565,00	90,00	99,92
Temperatura(°C)	35,75	46,00	25,30	6,94
pH	8,75	9,37	8,33	0,27
REATOR PP				
DQO (mg/L)	164,15	565,00	85,00	100,58
Temperatura(°C)	38,77	52,90	25,30	8,75
pH	8,70	9,14	8,10	0,32
REATOR VIDRO				
DQO (mg/L)	170,11	565,00	92,00	99,19
Temperatura(°C)	36,43	46,80	25,30	7,13
pH	8,87	9,40	8,54	0,19

Tabela 5: Características do efluente durante a segunda etapa do processo de desinfecção solar.

Parâmetro	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
REATOR PT				
DQO (mg/L)	256,27	496,00	141,00	99,85
Temperatura(°C)	35,79	45,30	25,50	6,32
pH	8,92	9,19	8,73	0,15
REATOR PP				
DQO (mg/L)	242,40	496,00	129,00	107,02
Temperatura(°C)	38,52	50,40	25,50	7,92
pH	8,91	9,19	8,72	0,15
REATOR VIDRO				
DQO (mg/L)	266,80	496,00	147,00	95,28
Temperatura(°C)	35,97	45,70	25,50	6,52
pH	8,96	9,19	8,80	0,12

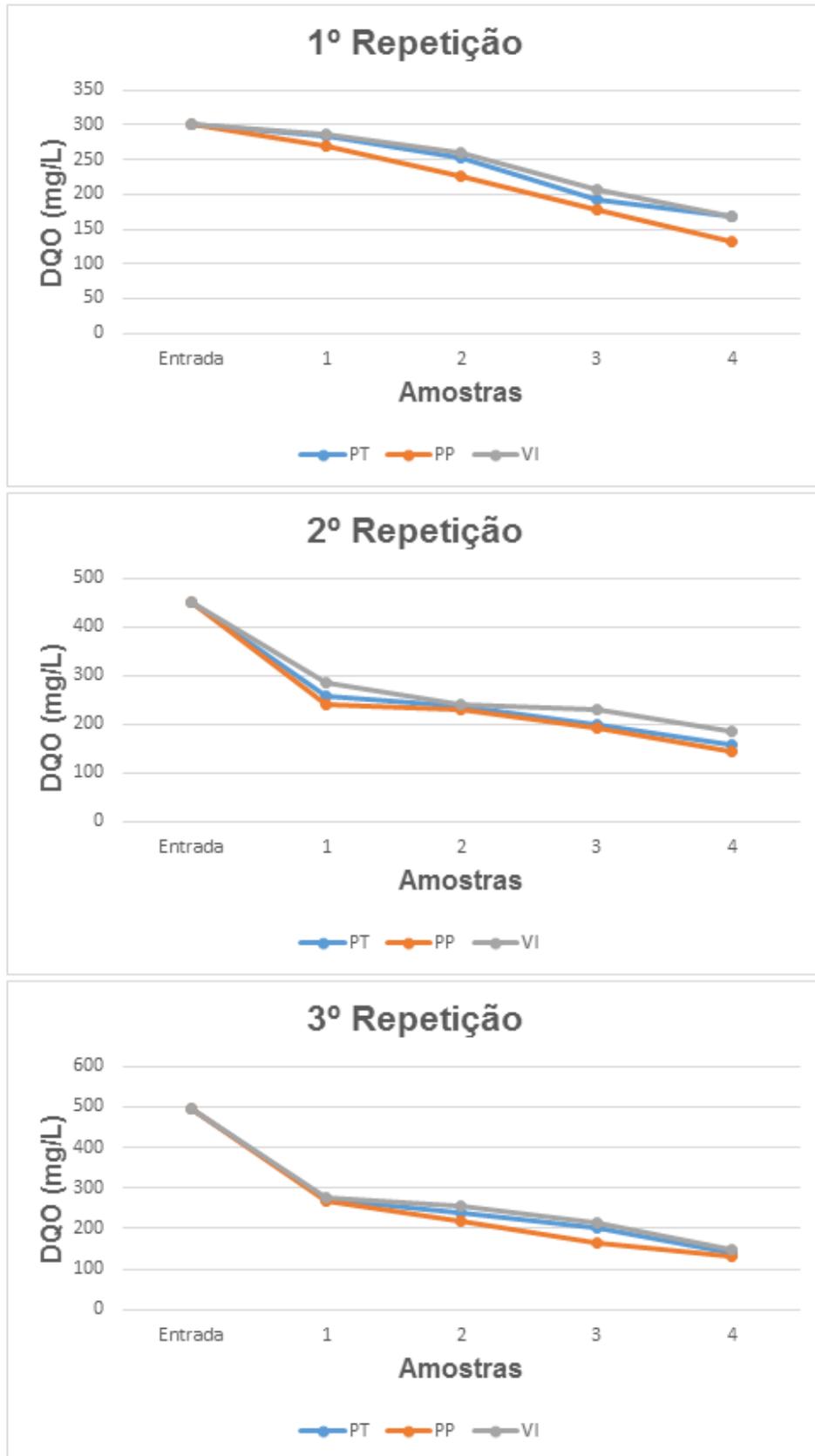
De acordo com Von Sperling *et al.* (2003) as lagoas de estabilização são utilizadas em processos de tratamento de esgotos, especialmente na remoção de matéria orgânica. Todavia, se forem realizadas algumas mudanças na geometria, podem ser alcançados elevados índices na remoção de nutrientes e patógenos.

No decorrer de todo o experimento, foi verificada a diminuição de matéria orgânica nos três reatores, pode ser observado nas Figuras 16 e 17. Para Von Sperling *et al.* (2003) nas lagoas, ocorre a estabilização da matéria orgânica devido a sedimentação de uma parcela particulada e pela decomposição pela ação de bactérias facultativas. Considerando os reatores como lagoas de maturação em pequenas escalas, admite-se que os processos que são utilizados nas lagoas em relação a remoção de matéria orgânica, podem justificar as mudanças nos padrões de qualidade das águas residuárias em tratamento nos três reatores.

Figura 16: Concentração de DQO nos três reatores durante a primeira etapa do experimento (TDH = 3 dias).



Figura 17: Concentração de DQO nos três reatores durante a segunda etapa do experimento (TDH = 8h).



De modo similar aos resultados obtidos neste trabalho, Queluz (2013) também relatou melhorias nos padrões de qualidade do efluente durante a desinfecção solar, onde o autor justifica a diminuição na concentração de DQO, pela sedimentação do material particulado até o momento da estabilização da concentração de SST. Segundo o mesmo autor após a estabilização da concentração de SST a concentração de DQO ainda continua a diminuir constantemente. Provavelmente, esse evento possa ocorrer por causa das ações das bactérias facultativas, de acordo com Von Sperling *et al.* (2003).

5.3. Variações na temperatura

De acordo com Malato *et al.* (2009), temperaturas de até de 40 °C não provocam diferença na desinfecção dos agentes patogênicos, mas para temperaturas iguais ou superiores a 45°C acontece um sinergismo entre o aquecimento térmico e a radiação UV acelerando e melhorando a desinfecção solar, mesmo para água com muita turbidez.

O estudo de Paterniani e Silva (2005) que utilizou garrafas PET como reatores para desinfecção solar de água para consumo, observou que as garrafas que atingiram temperaturas de 50°C conseguiram eficiência de 100% no período de 6 horas. E com a ajuda de um concentrador as temperaturas chegaram a 70°C conseguindo a eficiência de 100% em 4 horas.

Sendo assim, o presente trabalho teve o objetivo de utilizar reatores com diferentes materiais e acabamento de pintura com o objetivo de aumentar as temperaturas oriundas da incidência solar a valores superiores a 45°C, de modo consequente, aumenta a eficiência do processo de desinfecção solar.

A utilização de diferentes materiais e acabamento de pintura, acarretou em uma diferença nas temperaturas dos reatores solares, essa alteração pode ser observada nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Temperatura do efluente dos três reatores na primeira etapa do experimento (TDH = 3 dias).

Temperatura do efluente nos três reatores									
	1ª Repetição			2ª Repetição			3ª Repetição		
Amostra	PT	PP	VI	PT	PP	VI	PT	PP	VI
Entrada				25,3	25,3	25,3	26,5	26,5	26,5
1				45,2	49,1	45,7	46	52,9	46,8
2				36,2	37,3	38,1	37,4	40,4	39,5
3				28,8	30,4	28,6	31,8	36,4	31,6
4				44,3	48,3	45	45,4	52,6	46,5
5				33,6	35	35,3	31	32,1	32,7
6	29,1	31,2	28,3	34,2	37	33,3	30,7	35,2	29,8
7	43,5	46,8	44,6	41,5	45,3	41	45,5	52,8	45,3
8	30,8	32,6	32,6	32,3	34	35,5	31,6	33	33,1

Tabela 7: Temperatura do efluente dos três reatores na segunda etapa do experimento (TDH = 8h).

Temperatura do efluente nos três reatores									
	1ª Repetição			2ª Repetição			3ª Repetição		
Amostra	PT	PP	VI	PT	PP	VI	PT	PP	VI
Entrada	25,7	25,7	25,7	25,5	25,5	25,5	26,1	26,1	26,1
1	36,8	40,1	36,5	39,7	42,3	39,4	30,5	32,3	29,8
2	41,2	45,1	41	40,6	43,8	40,8	32,8	35	32,6
3	45,3	50,4	45,7	39,5	43	40,4	37,7	41,7	38,4
4	40,7	45,5	41,5	40,1	44	40,6	34,6	37,3	35,6

A primeira semana apresenta uma lacuna dos valores das temperaturas dos dois primeiros dias, devido a falta do termômetro, só sendo possível sua utilização do terceiro dia em diante. Na maioria das medições foi possível observar que o **Reator PP** conseguiu os maiores valores de temperatura, a diferença entre a média de temperatura do **Reator PP** e o **Reator PT** é de aproximadamente 2,9°C, e a diferença entre a média de temperatura do **Reator PP** e o **Reator VI** é de aproximadamente 2,5°C.

A temperatura máxima ocorreu na terceira semana do experimento onde a temperatura do efluente do **Reator PP** chegou a aproximadamente 52,9°C. Na maioria dos dias as temperaturas máximas de cada reator superaram ou ficaram próximas ao valor de 45°C, sendo temperaturas que favorecem o sinergismo entre o

aquecimento térmico e a radiação UV, acelerando a desinfecção solar como sugerido por Malato et al. (2009).

5.4. Análise do decaimento dos coliformes

O presente trabalho teve o objetivo de utilizar reatores (PET e VIDRO) e acabamento de pintura, para verificar suas eficiências em relação a desinfecção de Coliformes Fecais utilizando a radiação solar.

É apresentado na Figura 18 e na Tabela 8, os valores da população remanescente de Coliformes Fecais referente a primeira etapa do experimento onde é possível observar que o **Reator PP** obteve melhores resultados e o **Reator VI** obteve os piores resultados de desinfecção de coliformes em comparação com os demais. Apesar de pequena, a diferença entre os valores deve ter sido acarretada pela mudança de material, que por ser mais espesso pode dificultar na passagem dos raios solares, e assim reduzir a eficiência do processo. Outra justificativa pode ser pela diferença do volume do recipiente, onde o **Reator VI** possuía 1 litro a mais que os demais reatores.

Figura 18: População remanescente de coliformes durante a primeira etapa do experimento (TDH = 3 dias).

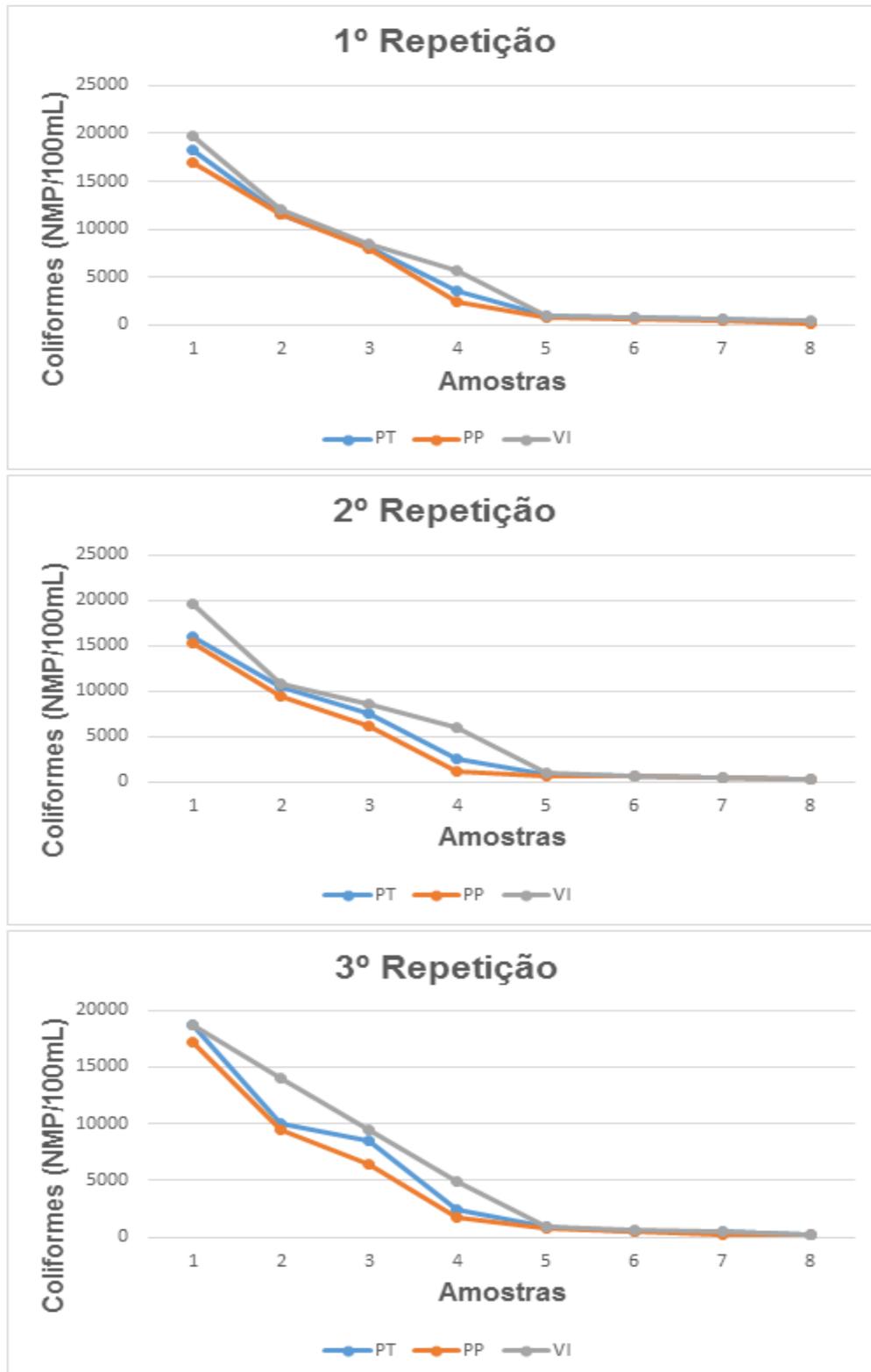


Tabela 8: População remanescente de coliformes durante a primeira etapa do experimento (TDH = 3 dias).

Coliformes (NMP/100mL)					
Amostra	Hora	Dia	PT	PP	VI
Entrada	08:00	02/ago	8523451	8523451	8523451
1	13:00	02/ago	18296	16971	19664
2	18:00	02/ago	11515	11513	12089
3	08:00	03/ago	8222	8031	8549
4	13:00	03/ago	3608	2415	5743
5	18:00	03/ago	897	863	919
6	08:00	04/ago	752	668	832
7	13:00	04/ago	575	501	614
8	18:00	04/ago	310	199	463
Coliformes (NMP/100mL)					
Amostra	Hora	Dia	PT	PP	VI
Entrada	08:00	08/ago	7273679	7273679	7273679
1	13:00	08/ago	16051	15347	19671
2	18:00	08/ago	10386	9378	10746
3	08:00	09/ago	7447	6116	8551
4	13:00	09/ago	2584	1091	5925
5	18:00	09/ago	849	695	927
6	08:00	10/ago	584	557	674
7	13:00	10/ago	486	377	519
8	18:00	10/ago	329	223	369
Coliformes (NMP/100mL)					
Amostra	Hora	Dia	PT	PP	VI
Entrada	08:00	16/ago	6197197	6197197	6197197
1	13:00	16/ago	18710	17232	18711
2	18:00	16/ago	10015	9491	14012
3	08:00	17/ago	8464	6436	9448
4	13:00	17/ago	2460	1727	4905
5	18:00	17/ago	860	748	886
6	08:00	18/ago	574	553	643
7	13:00	18/ago	441	275	487
8	18:00	18/ago	246	221	248

Será apresentado na Figura 19 e na Tabela 9, os valores da população remanescente de Coliformes Fecais referente a segunda etapa do experimento, com menor tempo de detenção e menor tempo entre as coletas das amostras, fica mais perceptível a curva de decaimento dos coliformes, mostrando que durante todo o processo o **reator PP** consegue os melhores valores de desinfecção de coliformes.

Figura 19: População remanescente de coliformes durante a segunda etapa do experimento (TDH = 8h).

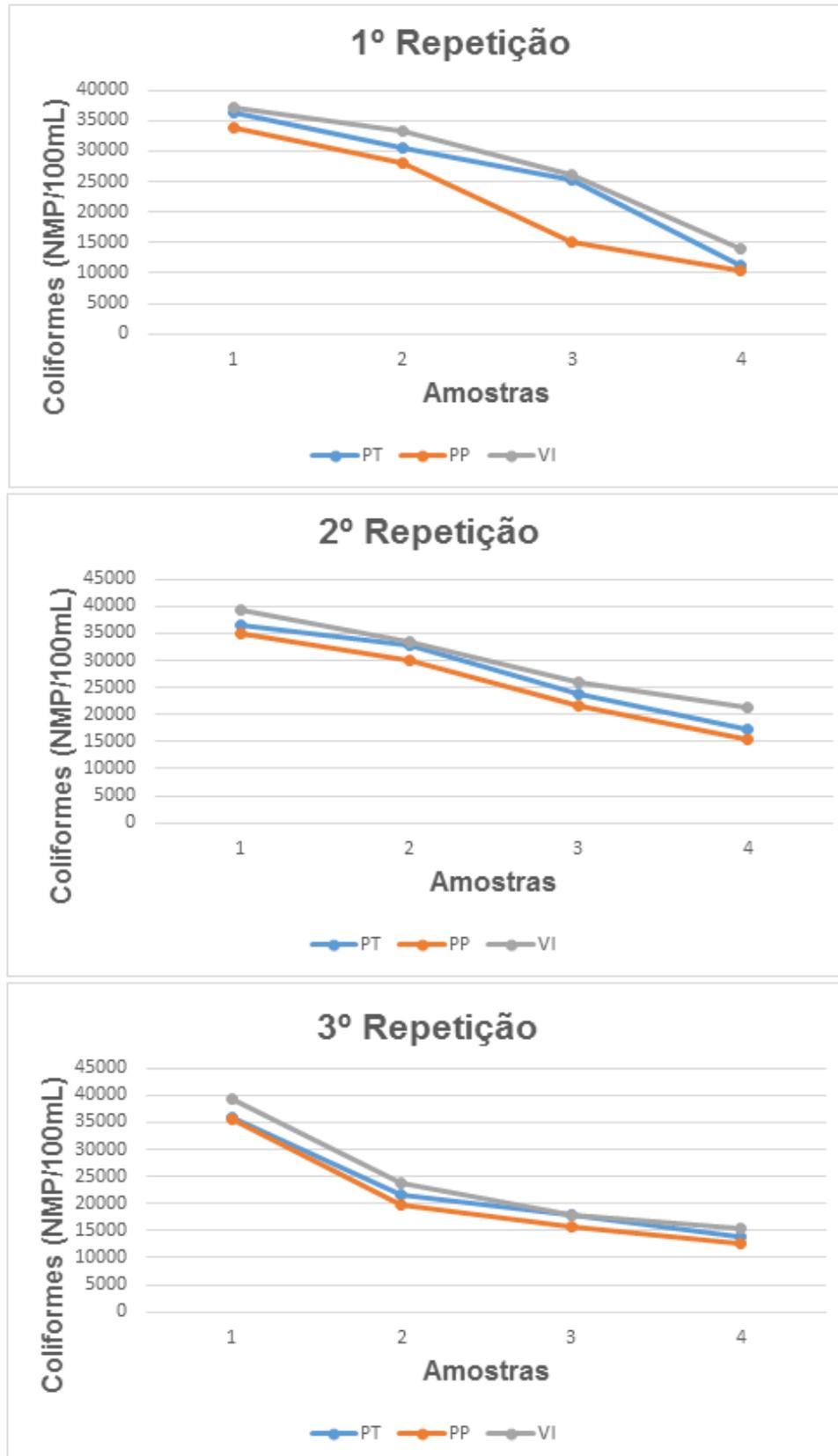


Tabela 9: População remanescente de coliformes durante a segunda etapa do experimento (TDH = 8h).

Coliformes (NMP/100mL)					
Amostra	Hora	Dia	PT	PP	VI
Entrada	08:00	23/ago	4116401	4116401	4116401
1	10:00	23/ago	36326	33865	37276
2	12:00	23/ago	30563	28141	33424
3	14:00	23/ago	25234	14953	26095
4	16:00	23/ago	11335	10486	14060
Coliformes (NMP/100mL)					
Amostra	Hora	Dia	PT	PP	VI
Entrada	08:00	24/ago	8199631	8199631	8199631
1	10:00	24/ago	36561	35094	39410
2	12:00	24/ago	32867	29950	33332
3	14:00	24/ago	23919	21664	25915
4	16:00	24/ago	17378	15271	21215
Coliformes (NMP/100mL)					
Amostra	Hora	Dia	PT	PP	VI
Entrada	08:00	25/ago	4830475	4830475	4830475
1	10:00	25/ago	35786	35457	39392
2	12:00	25/ago	21488	19738	23773
3	14:00	25/ago	17788	15677	17853
4	16:00	25/ago	13819	12533	15351

No período de realização da segunda etapa do experimento o tempo estava nublado, o que influenciou em seus resultados, onde houve uma diminuição da eficiência da desinfecção se comparados com os padrões da primeira etapa. Os resultados mostram que é necessário um tempo maior que 8 horas de radiação solar para alcançar valores adequados para reuso. Também fica evidente, através dos gráficos e tabelas, que o **reator PP** conseguiu a maior eficiência entre os reatores, em relação a desinfecção de coliformes, possivelmente, por alcançar temperaturas superiores aos demais reatores.

A partir da análise dos resultados gerados, admitisse que para condições semelhantes durante o experimento, é necessário um tempo de detenção das águas residuárias de aproximadamente dois dias para alcançar valores ≤ 1000 Coliformes Fecais (NMP/100mL) que para a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006), pode ser utilizada para reuso na agricultura de forma Irrestrita (irrigação de culturas consumidas cruas, campos de esporte, parques).

Ressalta-se que tal conclusão restringe-se ao parâmetro de coliformes, e que a decisão em reutilizar a água residuária, tratada por desinfecção solar, deve ser tomada a partir da análise de outros parâmetros apontados na literatura.

6. CONCLUSÃO

- Após o tratamento houveram melhorias nas características físico-químicas do efluente;
- O sinergismo entre a temperatura e a radiação solar influencia de forma positiva na desinfecção solar;
- O acabamento de pintura no reator de garrafa PET, aumentou a temperatura da água residuária presente e consequentemente aumentou a eficiência do reator;
- Para os parâmetros estudados no presente trabalho, a temperatura se mostrou bastante importante para a desinfecção solar;
- O sistema desenvolvido foi eficiente para o tratamento das águas residuárias, referente ao parâmetro de coliformes fecais;
- Para as mesmas condições a qual foi realizado o presente trabalho, é necessário um tempo de tratamento, para redução dos coliformes dentro dos padrões de descarte, de 2 dias, para o município de Delmiro Gouveia.

6.1. Sugestões para trabalhos futuros

- Avaliar o desempenho da desinfecção em unidades de tratamento em escala piloto;
- Realizar o monitoramento da radiação solar de forma contínua para poder correlacionar com o desempenho de remoção de patógenos.

7. REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.648:**Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DE ALAGOAS: Setembro de 2007 a Agosto de 2008, Eletrobrás, v. 1, 2009, 64p.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL:**Banco de dados solarimétricos** /coordenador Chiguera Tiba et al.- Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.111 p. : il., tab., mapas.

CORAUCCI FILHO, B.; ANDRADE NETO, C. O.; KATO, M. T.; CARTAXO, M. F. S.; FIGUEIREDO, R. F.; STEFANUTTI, R.; SILVA, V. P. Disposição no solo. In: GONÇALVES, R. F. (Coordenador); **Desinfecção de efluentes sanitários**. PROSAB 3 Rio de Janeiro, 337-387, 2003.

DANIEL, L. A. (Coordenador). Desinfecção com agentes físicos. **Métodos alternativos de desinfecção da água**. PROSAB 2 São Carlos, p. 45-68, 2001.

DANIEL, L. A. (Coordenador). Desinfecção com agentes químicos. **Métodos alternativos de desinfecção da água**. PROSAB 2 São Carlos, p. 27-44, 2001.

DE LUCA, S. J.; MONTEGGIA, L. O. Outros processos de desinfecção. In: GONÇALVES, R. F. (Coordenador); **Desinfecção de efluentes sanitários**. PROSAB 3 Rio de Janeiro, p. 389-410, 2003.

Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/location/42941/>>. Acessado em: 25/08/2016

Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Universidade+Federal+de+Alagoas,+Campus+Sert%C3%A3o/@9.3563472,37.9980375,15z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x829e278d9a333861!8m2!3d-9.3503694!4d-37.9877186>>. Acessado em: 15/09/2016.

EAWAG/SANDEC. **SODIS Solar Water Disinfection**: A guide for the application of SODIS. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute For Environmental Science And Technology, 2002.

FUNASA– FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. Ministério da Saúde. Brasília, 2015.

GONÇALVES, R. F. et al. Desinfecção por radiação ultravioleta. In: Rede Cooperativa de Pesquisas, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas**: Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia. Rio de Janeiro: Abes, 2003b. p. 209-275.

GONÇALVES, R. F.; JORDÃO, E. P.; SOBRINHO, P. A. Introdução. In: GONÇALVES, R. F. (Coordenador); **Desinfecção de efluentes sanitários**. PROSAB 3 Rio de Janeiro, p. 1-26, 2003b.

J. G. T. QUELUZ. **Estudo da eficiência da desinfecção solar de águas residuárias domésticas em reatores de diferentes colorações**. Botucatu, 2013.

JORDÃO, E. P. e PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 4. ed. 2005.

MALATO, S. *et al.* Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends. **Catalysis Today**, v. 147, n. 1, p.1-59, 2009.

MARA, D. D. **Domestic wastewater treatment in developing countries**. Londres: Earthscan., 2004.

MEIERHOFER, R.; LANDOLT, G. Factors supporting the sustained use of solar water disinfection: Experiences from a global promotion and dissemination programme. **Desalination**, v. 248, n. 1, p.144-151, 2009.

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.** Eng. sanit. ambient. Vol.10, 2005.

RYER, A. D. **Light measurement handbook.** Newburyport: International Light Inc, 1997. 64 p. (Technical Publications).

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. *et al.* Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural reuse. **Transactions Of The Asabe**, v. 50, n. 1, p.65-71, 2007.

TIBA, C; FRAINDENRAICH, N.; GROSSI, H.; LYRA, F. **Atlas solarimétrico para localidades brasileira.** Editora Universitária, UFPE, Recife. 2001.

T. R. ALVES. **Eficiência de um sistema de desinfecção solar de águas residuárias domésticas com adição de diferentes doses de peróxido de hidrogênio.** Botucatu, 2015.

USEPA – U. S. Environmental Protection Agency. **Wastewater technology factsheet: ultraviolet disinfection.** Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 1999.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte, UFMG. 3 ed. 2005.

VON SPERLING, M.; JORDÃO, E. P.; KATO, M. T.; SOBRINHO, P. A.; BASTOS, R. K. X.; PIVELLI, R. Lagoas de estabilização. In: GONÇALVES, R. F. (Coordenador); **Desinfecção de efluentes sanitários.** PROSAB 3 Rio de Janeiro, p. 277-336, 2003.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for the Safe Use of Wastewater Excreta and Greywater.** v.2. França. 2006.