

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FRANCIELLE DA ROCHA SANTOS

**TRATAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA POR RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA USANDO
ENERGIA FOTOVOLTAICA**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA
2018

FRANCIELLE DA ROCHA SANTOS

**TRATAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA POR RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA USANDO
ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Jr.

CURITIBA
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

S237t Santos, Francielle da Rocha
2018 Tratamento da água da chuva por radiação ultravioleta
usando energia fotovoltaica / Francielle da Rocha
Santos.-- 2018.
81 f.: il.; 30 cm.

Disponível também via World Wide Web.
Texto em português com resumo em inglês.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil, Curitiba, 2018.
Bibliografia: p. 71-82

1. Águas residuais - Purificação. 2. Sistemas de energia
fotovoltaica. 3. Radiação ultravioleta. 4. Águas pluviais.
5. Sustentabilidade. 6. Engenharia civil - Dissertações.
I. Urbanetz Junior, Jair, orient. II. Universidade Tecnológica
Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia
Civil, inst. III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação –
Câmpus Curitiba
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em
Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO N.º 145

TRATAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA POR RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA USANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA

POR

FRANCIELLE DA ROCHA SANTOS

Esta dissertação foi apresentada às 19h00min do dia 16 de março de 2018, como requisito parcial para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**, área de Meio ambiente, linha de pesquisa de Sustentabilidade, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____.

(aprovado / reprovado)

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior
(Orientador - UTFPR)

Prof. Dr. Gustavo Rafael Collere Possetti (FGV)

Prof. Dr^a. Lucila Adriani Coral (UTFPR)

Visto da Coordenação:

Prof. Dr. Alfredo Iarozinski Neto
Coordenador do PPGEC

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa”

AGRADECIMENTOS

Meu maior agradecimento é a Deus, aquele que disse para não se apavorar e nem desanimar, porque Ele estaria comigo por onde eu andasse.

Meus agradecimentos vão para muitas pessoas, pois jamais chegamos à algum lugar sozinho.

Aos meus pais e minhas irmãs que sempre me apoiaram e se fizeram presentes, mesmo morando em outra cidade. E a minha tia, onde morei por 2 meses quando me mudei para Curitiba.

Ao professor e meu orientador Jair Urbanetz Jr., que me escolheu para desenvolver essa pesquisa. Durante esses dois anos um dos ensinamentos que me marcou, cujo o qual vou levar para a vida toda é ser sempre uma pessoa positiva, e assim coisas boas irão acontecer.

A Juliana D'Angela Mariano minha maior parceira durante o mestrado e que me ajudou a ingressar e conseguir a bolsa.

Minha incansável amiga que sempre se faz presente Cíntia Maria Ritter e às meninas que convivi em Curitiba, Luciana Veríssimo Siquerolo, Aldria Belini e Aline Yumi Hattori.

À professora Lucila Adriani Coral, que permitiu a realização das análises no laboratório em que é responsável. E ainda, se encontrava sempre disponível para que eu pudesse tirar dúvidas.

À professora Giselle Maria Maciel de microbiologia que cedeu os reagentes e permitiu que as análises microbiológicas fossem feitas no laboratório em que é a responsável.

Ao professor Gustavo Rafael Collere Possetti que possibilitou a realização da análise na SANEPAR, além de enviar vídeos e textos para enriquecer o trabalho.

Aos mestrandos de engenharia civil e elétrica, Guilherme Moura, Gunther Kaltmaier, Rafael Stedile, Jardel Eugênio e Danilo Gouveia que me ajudaram na instalação do sistema de desinfecção.

E por fim, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

RESUMO

SANTOS, Francielle, Rocha. **Tratamento da água da chuva por radiação ultravioleta usando energia fotovoltaica**. 2018. 81 f. Mestrado em engenharia civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

A escassez, deterioração da qualidade dos mananciais e o aumento da demanda por água tem sido um problema tanto de países em desenvolvimento quanto de países desenvolvidos. Diante desse cenário o uso de fontes alternativas como captação e aproveitamento de água da chuva se mostra como uma solução factível. Em lugares remotos, sem abastecimento de água e energia elétrica o uso de um sistema de captação de água da chuva, com desinfecção ultravioleta e alimentado por um painel fotovoltaico isolado pode ser a solução para o abastecimento de água e energia. Contudo, o foco dessa pesquisa é utilizar esse sistema para desinfecção de água com fins não potáveis, ou seja, vasos sanitários e torneiras externas. Assim, neste trabalho é avaliado a eficiência do sistema fotovoltaico isolado e a qualidade da água da chuva após passar pela lâmpada germicida ultravioleta (UV). Para mensurar a qualidade da água foram feitas 13 análises no Laboratório de Tratamento e Potabilização de Água da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Foram realizadas análises de água da cisterna e após a passagem pelo sistema de desinfecção UV usando vazões diferentes para determinar qual seria mais viável para o sistema. Os parâmetros medidos foram pH, temperatura, cor, turbidez, sólidos totais dissolvidos e coliformes totais e termotolerantes. Esses parâmetros possuem padrões de uso de acordo com a NBR 15.527 de 2007 referente ao aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis. Além dessas análises, uma amostra foi analisada em um laboratório da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) referente a cisterna e a vazão máxima para os parâmetros de coliformes totais e termotolerantes. Os dados de pluviosidade e irradiação solar são coletados para determinar se o sistema alimentado por energia fotovoltaica é viável na cidade de Curitiba. A pesquisa mostrou que a cidade de Curitiba não possui uma estação seca, por isso as chuvas ocorrem ao longo do ano, e assim, o sistema se mantém em funcionamento o ano todo. Os resultados para análise de água demonstraram que o sistema de desinfecção UV é eficiente, e nas vazões média e mínima tiveram melhorias de 100% na qualidade da água para coliformes. Essas mesmas vazões se encontraram dentro dos padrões estabelecido pela NBR 15527 de 2007. O sistema fotovoltaico isolado se mostrou eficaz para a desinfecção UV, pois os índices de irradiação foram factíveis mesmo no período de inverno, quando geralmente a irradiação solar é menor. As vazões máxima e média possuem o volume de água adequado para o uso em uma residência de até quatro pessoas. Entretanto, os valores da vazão mínima não supririam a cota diária para os vasos sanitários. Por fim, concluiu-se que o sistema autossuficiente, isto é, ligado a energia fotovoltaica funcionou de forma positiva durante todas as estações do ano demonstrando que a junção dessas três vertentes pode ser bastante benéfica.

Palavras-chave: desinfecção de água, lâmpada ultravioleta, energia fotovoltaica

ABSTRACT

SANTOS, Francielle, Rocha. **Treatment of rainwater by ultraviolet radiation using photovoltaic energy**. 2018. 81 f. Master in Civil Engineering - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2018.

Scarcity, deterioration in the quality of water sources and increased demand for water have been a problem for both developing and developed countries. Given this scenario, the use of alternative sources such as rainwater harvesting and utilization is a feasible solution. In remote places, without water and electricity supply, the use of a rainwater harvesting system with ultraviolet disinfection and powered by an isolated photovoltaic panel can be the solution for water and energy supply. However, the focus of this research is to use this system for non-potable water disinfection, ie toilets and external taps. Thus, in this work the efficiency of the isolated photovoltaic system and the quality of the rainwater after passing through the ultraviolet (UV) germicidal lamp is evaluated. In order to measure water quality, 13 analyzes were carried out at the Water Treatment and Treatment Laboratory of the Federal Technological University of Paraná (UTFPR). Water analysis of the cistern and after the passage through the UV disinfection system were performed using different flow rates to determine which would be more feasible for the system. The measured parameters were pH, temperature, color, turbidity, total dissolved solids and total and thermotolerant coliforms. These parameters have standards of use in accordance with NBR 15.527 of 2007 regarding the use of rainwater for non-potable purposes. In addition to these analyzes, a sample was analyzed in a laboratory of the Sanitation Company of Paraná (SANEPAR) referring to cistern and the maximum flow for the parameters of total and thermotolerant coliforms. Rainfall and solar irradiation data are collected to determine if the system powered by photovoltaic energy is viable in the city of Curitiba. The research showed that the city of Curitiba does not have a dry season, so the rains occur throughout the year, and thus, the system remains in operation throughout the year. The results for water analysis demonstrated that the UV disinfection system is efficient, and at the mean and minimum flows had 100% improvements in water quality for coliforms. These same flows were within the standards established by NBR 15527 of 2007. The isolated photovoltaic system proved to be effective for UV disinfection, since the irradiation rates were feasible even in the winter period, when solar irradiation is generally lower. The maximum and average flow rates have the volume of water suitable for use in a residence of up to four people. However, the values of the minimum flow would not supply the daily quota for the toilets. Finally, it was concluded that the self-sufficient system, that is, connected to photovoltaic energy, operated in a positive way during all the seasons of the year demonstrating that the junction of these three slopes can be very beneficial.

Key words: water disinfection, ultraviolet lamp, photovoltaic energy

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Média de chuvas no Estado do Paraná..... | 24 |
| Figura 2 – Sistema de captação de água da chuva | 25 |
| Figura 3 – Uma maneira de captação pluvial na Alemanha | 26 |
| Figura 4 – Locais com regulamentação para captação de..... | 29 |
| Figura 5 – Faixa necessária para eliminação dos microrganismos | 32 |
| Figura 6 – Diagrama Esquemático | 33 |
| Figura 7 – Quadro de vantagens e desvantagens da radiação ultravioleta..... | 34 |
| Figura 8 – Partes que constituem o módulo fotovoltaico | 35 |
| Figura 9 – Sistema Fotovoltaico Isolado para atender cargas CC | 36 |
| Figura 10 – Composição do painel fotovoltaico..... | 37 |
| Figura 11 – Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná | 40 |
| Figura 12 – Sistema de desinfecção de água usando um módulo fotovoltaico | 42 |
| Figura 13 – Escritório Verde da UTFPR..... | 44 |
| Figura 14 – Cisterna do EV | 45 |
| Figura 15 – Válvula de controle da vazão e bomba fotovoltaica | 46 |
| Figura 16 – Sistema de desinfecção ultravioleta | 46 |
| Figura 17 – Sistema de desinfecção de água da chuva alimentado por módulos fotovoltaicos | 47 |
| Figura 18 – Equipamentos de análise: turbidímetro, espectrofotômetro e pHmetro..... | 50 |
| Figura 19 – Gráfico da curva de cor | 50 |
| Figura 20 – Gráfico dos dados mensais de pluviometria em Curitiba no ano de 2017.. | 52 |
| Figura 21 – Interface do programa Google Earth | 53 |
| Figura 22 – Portal do INMET | 54 |
| Figura 23 – Tela Inicial do Software Radasol | 55 |
| Figura 24 – Gráfico do Radasol de irradiação solar diária..... | 55 |
| Figura 25 – Etapas da pesquisa..... | 56 |
| Figura 26 – Gráfico dos dados pluviométricos de Curitiba no ano de 2016 e 2017 | 57 |
| Figura 27 – Dados de irradiação solar sobre o painel do SFVI (kWh/m ² .dia)..... | 59 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Parâmetros de qualidade de água pluvial para fins não potáveis..... | 21 |
| Tabela 2 – Parâmetros de análise de água da chuva | 48 |
| Tabela 3 – Irradiação diária média no plano horizontal - INMET (kwh/m ² .dia) | 58 |
| Tabela 4 – Energia disponibilizada diariamente pelo SFVI (Wh/dia) | 60 |
| Tabela 5 – Estimativa da quantidade de horas de funcionamento do sistema de desinfecção | 61 |
| Tabela 6 – Estimativa da quantidade diária de água passível de desinfecção (l) | 61 |
| Tabela 7 – Valores de pluviometria por dia (l) | 62 |
| Tabela 8 – Média entre as análises de água realizada no laboratório da UTFPR..... | 64 |
| Tabela 9– Análise de coliformes totais e termotolerantes | 65 |
| Tabela 10 – Comparação entre a NBR 15.527/2007 de qualidade da água da chuva e a média da água de chuva analisada nesta pesquisa. | 67 |
| Tabela 11 – Demanda de água diária para uma família padrão..... | 68 |

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional das Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ASA – Articulação do Semiárido Brasileiro

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

EV – Escritório Verde

EVA – acetato-vinilo de etileno

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

MPPT – Modulação de largura de pulso e rastreamento de ponto máximo

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

P1MC – Programa 1 milhão de cisternas

PWM – Modulação de largura de pulso

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

SFVI – Sistema Fotovoltaico Isolado

UFPR – Universidade Federal do Paraná

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

UV – Ultravioleta

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 Delimitação do tema..... | 15 |
| 1.2 Objetivos | 16 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 16 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 16 |
| 1.3 Justificativa..... | 16 |
| 1.4 Estrutura..... | 17 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA | 19 |
| 2.1 Disponibilidade hídrica | 19 |
| 2.2 Qualidade da água da chuva..... | 20 |
| 2.3 Aproveitamento de água da chuva | 21 |
| 2.4 Pluviometria no Estado do Paraná | 23 |
| 2.5 Sistema de coleta de água da chuva | 25 |
| 2.6 Leis, Decretos e Normas para captação de água da chuva | 27 |
| 2.7 Parâmetros de qualidade da água | 30 |
| 2.8 Radiação ultravioleta | 31 |
| 2.9 Energia fotovoltaica | 34 |
| 2.9.1 Sistema Fotovoltaico Isolado..... | 36 |
| 2.9.1.1 Painel Fotovoltaico | 37 |
| 2.9.1.2 Controlador de Carga | 38 |
| 2.9.1.3 Bateria | 38 |
| 2.10 Irradiação solar no Estado do Paraná | 39 |
| 2.11 Estado da Arte..... | 41 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 44 |
| 3.1 Escritório Verde | 44 |
| 3.2 Sistema de coleta da água da chuva do Escritório Verde | 45 |
| 3.3 Parâmetros qualitativos de análise..... | 48 |
| 3.3.1 Métodos de Análise | 49 |
| 3.4 Dados de pluviometria e irradiação solar | 51 |
| 3.4.1 Dados de pluviometria..... | 52 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4.2 Dados de irradiação | 52 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 57 |
| 4.1 Dados de pluviosidade em Curitiba | 57 |
| 4.2 Dados de irradiação solar sobre o painel do sistema fotovoltaico isolado | 58 |
| 4.3 Energia elétrica disponível no sistema fotovoltaico isolado e volume de água desinfectada | 60 |
| 4.4 Parâmetros analisados..... | 64 |
| 4.5 Economia gerada pelo sistema em uma residência familiar padrão | 67 |
| 5 CONCLUSÕES | 69 |
| 6 RECOMENDAÇÕES..... | 70 |
| REFERÊNCIAS..... | 71 |

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso primordial para a vida do planeta, sendo necessária em todos os setores da economia. Nos últimos anos, a demanda de água vem aumentando devido ao crescimento populacional, poluição dos recursos hídricos e a urbanização. O crescimento e consequente expansão urbana nas últimas décadas, vem causando grandes alterações no ciclo hidrológico natural e gerando a ocorrência de situações ameaçadoras do desenvolvimento equilibrado e estável do habitat humano (BERTOLO, 2006).

Estima-se que em 2025, cerca de 1,8 bilhões de pessoas terão escassez de água, enquanto dois terços da população sofrerão estresse hídrico (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU, 2014). Até 2030, o mundo está projetado para enfrentar um déficit global de água de 40% (ONU, 2015).

A gestão insustentável dos recursos hídricos gera danos na economia e na sociedade. A escassez promove impactos negativos no desenvolvimento da população, das cidades, tornando o principal fator no progresso de uma sociedade (HASHIM *et al.*, 2013).

Nas últimas décadas, pesquisadores estudam técnicas mais ecológicas para a preservação da água na área urbana, buscando alternativas para reduzir o consumo de água potável destinada a fins adversos ao consumo humano, a fim de diminuir a pressão sobre os recursos hídricos disponíveis.

Um primeiro passo para um consumo mais sustentável de água seria incluir a variabilidade climática atual e futura na gestão relacionada à água para auxiliar a adaptação aos impactos das mudanças climáticas a longo prazo (BATES *et al.*, 2008). Em segundo lugar, é importante avaliar novas tecnologias e soluções para a conservação da água de uma perspectiva ambiental, econômica e social (VARGAS-PARRA *et al.*, 2012).

Além da escassez de água, a população mundial possui outras adversidades como a falta de saneamento básico, principalmente em países em desenvolvimento, como o Brasil. O uso de água sem tratamento gera doenças que afetam a população, como viroses, hepatite e cóleras.

Uma técnica recentemente difundida nos últimos anos em áreas urbanas é a captação de água da chuva, que pode diminuir e, em alguns casos, resolver problemas relacionados a escassez de água. Além disso, a coleta de água da chuva é uma estratégia com vários benefícios, podendo servir para lidar com as inundações das vias urbanas (FLETCHER *et al.*, 2008).

A captação de água da chuva nas edificações é a fonte de água alternativa mais limpa disponível, exigindo pouco tratamento antes de ser adequada para uma grande variedade de usos (APOSTOLIDIS; HUTTON, 2006). As alternativas de reuso de água e aproveitamento de água da chuva, sem dúvida, promovem a minimização da carga ambiental sobre os mananciais.

Outro problema no Brasil é a distribuição destoante dos seus recursos hídricos. O relatório dos recursos hídricos (2014) apontou a distribuição dos recursos hídricos superficiais no território brasileiro: enquanto nas bacias junto ao Oceano Atlântico, que concentram 45,5% da população total, está disponível apenas 2,7% dos recursos hídricos do país, na região Norte, onde vivem apenas cerca de 5% da população brasileira, estes recursos são abundantes a aproximadamente 81%.

Diante desse cenário de má distribuição dos recursos hídricos, falta de água e de saneamento básico no Brasil, o uso de técnicas de aproveitamento de águas pluviais faz-se necessária para a conservação da água potável, indispensável para o consumo humano. Através de sistemas de captação da água da chuva, é possível reduzir o consumo de água potável para consumo humano, como, por exemplo, nos vasos sanitários, irrigação de jardins, torneiras externas, lavanderia, e ainda minimizar enchentes e alagamentos.

Para que a água da chuva seja utilizada, é necessária a aplicação de tratamentos adequados, mesmo que seu uso seja para fins não potáveis, visando uma melhoria em sua qualidade, a fim de garantir segurança a quem utilizá-la. A desinfecção da água usando lâmpada ultravioleta (UV) é um método simples, com baixo custo, e que age de acordo com a origem da água, podendo obter uma qualidade nociva à saúde humana, contando ainda com a vantagem de evitar a utilização de produtos químicos em sua purificação.

A irradiação por UV inibe a proliferação dos microrganismos, uma vez que os raios causam uma ruptura no DNA, matando-os ou inviabilizando sua reprodução, e ainda, a água ficará isenta de odor residual e gosto.

A distribuição geográfica de cidades e vilas sem água tratada e normalmente sem eletricidade faz do uso da conversão solar fotovoltaica uma opção apropriada para sistemas de desinfecção UV, pois são confiáveis, têm vida útil superior a trinta anos e sua fonte de energia é abundante ao redor do globo (RÜTHER, 2004).

A combinação de captação de água da chuva, lâmpadas UV e energia fotovoltaica é justificada pela construção de um sistema autossuficiente, sustentável, com pouca manutenção e favorecimento a lugares isolados e comunidades de baixa renda. Contudo, o número de pesquisas envolvendo desinfecção de água usando lâmpada UV é numerosa, porém trabalhos que utilizem as três vertentes captação de água pluvial, lâmpada UV e energia fotovoltaica ainda é pouco disseminado.

Com o objetivo de minimizar as adversidades de escassez da água e melhorar sua qualidade, optou-se por realizar uma pesquisa no Escritório Verde – EV da UTFPR dentro dos critérios de sustentabilidade, para avaliar a eficiência do tratamento de água da chuva através da radiação ultravioleta, ligada a um sistema de energia fotovoltaica.

1.1 Delimitação do tema

O tema se restringe a um sistema de desinfecção de água da chuva, através de uma lâmpada germicida ultravioleta, alimentada por um sistema fotovoltaico isolado, instalado em uma edificação sustentável.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência da desinfecção da água da chuva com auxílio de um protótipo composto por uma lâmpada germicida ultravioleta alimentada por um sistema fotovoltaico isolado.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as características físico-química e microbiológica da água de chuva coletada antes e após a passagem pelo mesmo;
- Analisar os índices de pluviosidade em Curitiba, visando identificar o volume de água possível de ser desinfectado;
- Analisar os índices de irradiação em Curitiba vinculado ao dimensionamento do sistema fotovoltaico isolado;
- Analisar a influência da qualidade da água na escolha da vazão de tratamento;
- Relacionar o volume de água desinfectada com a energia elétrica produzida pelo sistema fotovoltaico isolado instalado no escritório verde da UTFPR.

1.3 Justificativa

A problemática com a escassez de água é preocupante em diversas regiões do país, desse modo, faz-se necessário o uso racional desse recurso pela população como um todo. A água da chuva, após tratamento adequado, pode ser uma boa alternativa para

minimizar essa adversidade. A água tratada é fundamental para uma boa qualidade de vida, entretanto, seu acesso ainda é limitado.

Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), 60% da mortalidade infantil no mundo está relacionada às doenças causadas por água contaminada. Além disso, há inúmeras cidades sem água e sem energia elétrica, causando um impacto na vida de centenas de pessoas.

A instalação de sistemas para captação e armazenamento de água da chuva nas edificações é uma técnica eficaz para diminuir o consumo de água potável, em lugares dispensáveis ao consumo humano, como vasos sanitários, irrigação de jardins, torneiras externas, lavanderia, e, ainda, minimiza enchentes e alagamentos. Entretanto, para uso, essa água deve passar por um tratamento adequado e a utilização de lâmpadas ultravioleta é viável devido ao seu baixo custo, simplicidade e pouca manutenção, além de apresentar níveis elevados de eficiência na remoção de microrganismos presentes na água.

Em regiões mais remotas do país, a falta de energia elétrica é outro fator agravante, porém, o uso de energia solar pode ser a solução factível, funcionando como uma fonte de energia renovável, silenciosa e de baixo custo. Os módulos fotovoltaicos são dispositivos semicondutores que convertem a luz solar em corrente contínua (CC) através do efeito fotovoltaico (GREEN, 1998).

Este trabalho além de analisar o desempenho do sistema de desinfecção UV em relação a redução dos coliformes totais e termotolerantes, também avalia a energia produzida pelo sistema fotovoltaico isolado instalado no Escritório Verde de Curitiba e assim, foi possível determinar se o sistema é viável para uma edificação.

A combinação da água da chuva, lâmpada ultravioleta e sistema fotovoltaico proporciona a construção de uma edificação mais sustentável, além de possibilitar o acesso em áreas remotas, onde não há energia elétrica e água potável.

1.4 Estrutura

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos que compreendem:

- Capítulo 1: Introdução: descreve as considerações iniciais do trabalho, abordando a delimitação do tema, objetivos (geral e específico) e a justificativa.
- Capítulo 2: Revisão da literatura. Dividida em: água da chuva, radiação ultravioleta e energia fotovoltaica;
- Capítulo 3: Materiais e métodos. Incluem os métodos de abordagem, procedimentos, coleta dos dados e parâmetros analisados;
- Capítulo 4: Resultados e discussões. São os resultados das análises da água da chuva e da energia produzida pelo sistema fotovoltaico isolado, além disso está descrito a quantidade de litros de água desinfetada diariamente pelo sistema;
- Capítulo 5: Conclusões. Considerações finais, potenciais contribuições desta pesquisa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Disponibilidade hídrica

Nas últimas décadas, a ONU tem realizado trienalmente o Fórum Mundial da Água, onde os temas são os direitos humanos versus a água, tendo a crise no abastecimento de água doce sua principal pauta. Em uma visão global o Brasil possui grande oferta de água, porém sua distribuição é heterogênea, concentrando a maior disponibilidade na região norte e a menor no nordeste do país.

Passam pelo território brasileiro em média cerca de 260.000 m³/s de água, dos quais 205.000 m³/s estão localizados na bacia do rio Amazonas, disponibilizando para o restante do território 55.000 m³/s de vazão média, além disso, o regime fluvial sofre variações ao longo do ano, pois está diretamente relacionado as precipitações (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA, 2016).

Devido a extensão do Brasil, suas regiões são bastante distintas no que se refere a precipitações, existindo uma sazonalidade bem marcada com estações secas e chuvosas bem definidas, com anos mais secos e outros mais úmidos, fazendo-se necessário dispor de reservatórios de água para os períodos de seca.

O relatório da ANA (2016) traz os problemas gerados no semiárido brasileiro, onde na maioria dos rios só é possível garantir uma oferta contínua de água com o uso de açudes/reservatórios, já que esses rios naturalmente secam durante os meses de estiagem, mas em outras regiões, os reservatórios são utilizados para aumentar a garantia de atendimento a demandas contínuas, como por exemplo o abastecimento humano. Entretanto, o volume desses reservatórios está atrelado aos índices de pluviosidade nos períodos úmidos.

No ano de 2014 o Estado mais populoso do Brasil, São Paulo, enfrentou problemas hídricos, tendo como agravante a falta de precipitação. Outros Estados do Nordeste também tiveram períodos intensos de seca que se estenderam até o ano de 2015, contudo, a região Sul do país teve elevados índices pluviométricos, demonstrando que

nas diversas regiões do país há uma singularidade tanto no regime pluvial quanto no fluvial.

2.2 Qualidade da água da chuva

A qualidade da água depende da inter-relação entre o homem e o uso do solo, ocasionando em alterações em lagos e rios. Isso ocorre em função do uso de fertilizantes e agrotóxicos na agricultura, esgoto doméstico e resíduos industriais lançados nos mananciais.

Os sistemas de captação de água da chuva contribuem para uma gestão mais sustentável além de possuir uma qualidade de água mais elevada se comparada aos mananciais.

Diversos trabalhos discutem formas diferentes para captação da água, porém demonstraram que o clima influencia o resultado. Além disso, os materiais de cobertura que serão captados, com destaque para os líquens que afetam de maneira negativa na qualidade da água (LEE *et al.*, 2012); a poluição atmosférica e a presença de animais também são agravantes na qualidade da água.

Ahmed *et al.* (2012) descrevem sobre os indicadores de zoonose encontrados nas amostras de água da chuva, supostamente devido a animais com acesso ao telhado. Esses indicadores são as bactérias do grupo termotolerante e as totais. Dentro do grupo das termotolerantes está a *Escherichia coli*, usada frequentemente para avaliar a qualidade da água e indicar a contaminação por fezes.

Todos esses fatores demonstram a necessidade da limpeza adequada dos telhados e calhas, além de um tratamento adequado da água, por isso, deve-se seguir as normas da NBR 15527 (2007) que dispõe sobre o aproveitamento da água pluvial para fins não potáveis. Os parâmetros de qualidade da água da chuva para fins não potáveis disposto pela NBR 15527 (2007) são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de qualidade de água pluvial para fins não potáveis

| Parâmetro | Análise | Valor |
|----------------------------|-----------|---|
| Coliformes Totais | Semestral | Ausência em 100 mL |
| Coliformes termotolerantes | Semestral | Ausência em 100 mL |
| Cloro residual | Mensal | 0,5mg/L a 5,0mg/L |
| Turbidez | Mensal | < 2,0 UNT Para usos menos restritivos < 5,0 UNT |
| Cor aparente | Mensal | < 15 H |
| pH | Mensal | 6,0 a 8,0 no caso de aço Galvanizado |

Nota: para uso em lavanderias deve ser feita análise de *Cryptosporidium parvum* anualmente

Fonte: NBR 15527 (ABNT, 2007).

Quanto à elaboração do projeto de sistema de coleta de água da chuva, este deve seguir as normas técnicas, ABNT NBR 5.626 (Instalação predial de água fria) e NBR 10.844 (Instalações prediais de águas pluviais). Deve constar ainda o alcance do projeto, a população que utiliza a água de chuva e a determinação da demanda, e também estudos das séries históricas e sintéticas da precipitação da região (VELOSO; MENDES, 2013).

2.3 Aproveitamento de água da chuva

A água é um recurso essencial para a biota, entretanto a escassez dos recursos hídricos pode prejudicar a vida na Terra. A ascensão da população mundial e suas mudanças na maneira de vida geram grandes demandas de água para abastecer a agricultura, a indústria e as cidades (UMAPATHI *et al.*, 2013). De acordo com a ONU (2006) se essa convergência continuar, no ano de 2050 mais de 45% da população mundial estará vivendo em países que não poderão garantir a cota diária mínima de 50 litros de água por pessoa.

Grande parte da água doce disponível está poluída, levando a problemas na saúde humana e dos ecossistemas. Essa poluição hídrica aliada à falta de saneamento básico,

tanto em países desenvolvidos, quanto em países em desenvolvimento, gera inúmeras adversidades.

A Organização Mundial da Saúde estima que 25 milhões de pessoas no mundo morrem, por ano, em virtude de doenças transmitidas pela água, como cólera, hepatites e viroses. Isso se deve ao fato de apenas 30% da população mundial ter água tratada, enquanto que 70% utilizam soluções de abastecimentos alternativos, facilitando assim a contaminação (CARVALHO, *et al.*, 2009).

Com a redução dos recursos hídricos de superfície nos últimos dez anos e uma população em crescimento contínuo, é preciso fazer mais para garantir o abastecimento de água e assegurar uma gestão sustentável, em longo prazo, dos recursos hídricos (MUTHUKUMARAN *et al.*, 2011).

A captação de água da chuva tem um valor significativo no planejamento urbano, porque reduz a quantidade de esgotos urbanos, reduz a demanda de abastecimento de água e diminui o custo de manutenção para o ambiente urbano (WU; CHAU, 2006).

Alguns estudos recentes destacam os benefícios da água da chuva para a crise da água potável, principalmente nos países em desenvolvimento, tendo significativos benefícios econômicos, sociais e ambientais (LEE *et al.*, 2010).

O aproveitamento de água da chuva é uma prática bastante difundida em muitos países, principalmente em países onde a água doce não é suficiente ou possui uma qualidade insatisfatória para uso humano, ou ainda, quando os consumidores desejam contribuir para a sustentabilidade (NADDEO *et al.*, 2013) em especial em zonas áridas ou remotas, tendo em vista, que muitos desses lugares não possuem redes de distribuição, ou não possuem tecnologia viável (SAZAKLI *et al.*, 2007).

Os estudos relatados por Montoya *et al.* (2015) no México; Li *et al.* (2010) na Irlanda; Ryan *et al.* (2009) na Austrália; Furamai (2008) em Tóquio e Ghisi e Ferreira (2007) no Brasil, demonstram que a coleta de água pluvial representa reduções significativas no uso da água potável.

Portanto, a água da chuva passa a ser uma potencial fonte alternativa de abastecimento de água para beber, cozinhar e lavar louças em alguns países (WILBERS *et al.*, 2013; AMIN e HAN, 2011), além de usos não-potáveis em descargas de banheiro, lavagem de veículos e irrigação (ASSAYED *et al.*, 2013).

Em 2011, o governo da Malásia decretou que todos os edifícios e construções com mais de 100 m² deveriam instalar sistemas de captação de água da chuva (LEE *et al.*, 2016). Outros países como Sri Lanka, Jordânia e Bélgica implantaram o mesmo sistema para construções com telhados acima de 100 m². Esses projetos têm como objetivo diminuir o uso da água potável nos vasos sanitários, jardinagem e lavagem. Muitas regiões da Austrália coletam água da chuva de telhado, tanto para fins potáveis e não potáveis (LIM; JIANG, 2013).

Nos últimos anos, inúmeros países iniciaram apoio e estão implementando essas práticas para enfrentar o aumento das pressões da demanda de água associadas às mudanças climáticas, ambientais e sociais. Entretanto, sistemas de captação da água da chuva são pouco utilizados, principalmente em países em desenvolvimento, apesar dos pontos positivos apresentados nas pesquisas. Um dos fatores condicionantes pode ser a falta de conhecimento desse sistema e seus benefícios.

2.4 Pluviometria no Estado do Paraná

O clima da América do Sul sustenta alterações relacionadas a efeitos antropogênicos, como vem sendo discutido nos últimos relatórios do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), relatando aumento significativo da temperatura média global, possivelmente modificando a pluviosidade.

O regime pluviométrico do Brasil sofre influências remotas dos Oceanos Atlântico e Pacífico (FIRPO 2012). Nesse padrão de baixa frequência, têm-se os fenômenos El Niño e La Niña que são caracterizados, respectivamente, pelo aquecimento e resfriamento anômalo das águas do Oceano Pacífico Equatorial central e leste (CERA; FERRAZ, 2015).

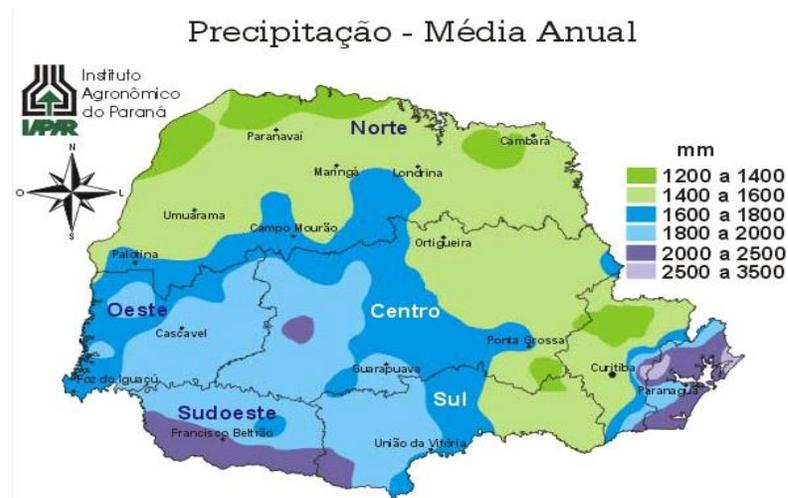
Segundo Mo e White (1985), as irregularidades de chuva no Sul do Brasil estão associadas a ondas que se propagam em grupos, sendo de vários tamanhos provenientes dos trópicos que se estendem desde o Pacífico Tropical até a América do Sul.

De acordo com Cardoso (2005), as irregularidades de temperatura da superfície do mar do Pacífico Sul, na região da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS), podem afetar diretamente os regimes de precipitação no Sul do Brasil, independente dos trens de ondas que derivam dos trópicos.

São cinco massas de ar que atuam no Brasil, a massa Equatorial Continental, a massa Equatorial Atlântica, a massa Tropical Continental, a massa Tropical Atlântica e a massa Polar Atlântica. A Frente Polar Atlântica é o principal sistema produtor de chuva no Paraná, e quando não é, está associado a dinâmica e a configurações de linhas de instabilidade e chuvas convectivas (NASCIMENTO JUNIOR; SANTÁNNA NETO, 2016).

Na Figura 1 estão distribuídas ao longo do ano as médias de precipitação no Estado do Paraná, de acordo com o Instituto Agrônômico do Paraná.

Figura 1– Média de chuvas no Estado do Paraná



Fonte: IAPAR, 2017.

Pode-se observar uma diferença no volume de precipitação das chuvas nas regiões do Estado do Paraná, variando de 1200 a 3500 mm, tendo seus menores índices nas regiões Norte, Noroeste, Nordeste e Sudeste, com valores entre 1200 a 1600 mm anuais e os maiores está concentrado em uma pequena parcela do litoral.

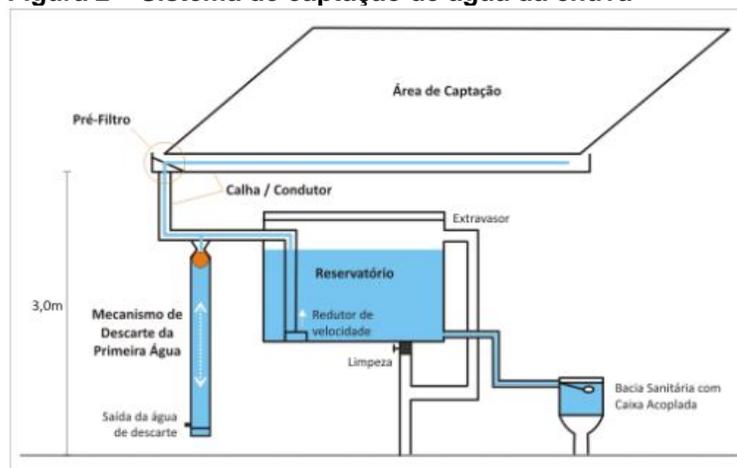
O verão é a estação mais chuvosa em todo Estado do Paraná. Na região de Curitiba a distribuição de chuva ocorre o ano todo, e, assim, não há a presença de uma estação seca.

2.5 Sistema de coleta de água da chuva

Os sistemas de coleta de água da chuva, geralmente, são compostos por área de captação, filtro de descarte da primeira água e reservatório. Caso haja contato direto do usuário com a água, faz-se necessário uma etapa de desinfecção.

A captação da água da chuva é feita através do telhado, que a conduz para as calhas e segue para o filtro de descarte para retirada de sólidos maiores. Esse filtro é indispensável em áreas urbanas devido à poluição depositada nos telhados, fazendo com que os primeiros milímetros de chuva que lavam o telhado sejam excluídos, antes de chegar ao reservatório. Do reservatório a água segue para o sistema de distribuição. No trabalho de Santos *et al.* (2010) o filtro de descarte funciona manualmente, devendo abrir a válvula de descarte após o evento de chuva, como está ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Sistema de captação de água da chuva



Fonte: SANTOS *et al.*, 2010.

Entretanto, existe diversas formas de coletar águas pluviais e alguns fazem uso de reservatórios subterrâneos e filtros sofisticados, demandando o uso de energia elétrica, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Uma maneira de captação pluvial na Alemanha



Fonte: SILVA, 2015.

A captação de água da chuva é primordial em muitos países, devido à escassez da água relacionada a contaminação e aumento da demanda causado pelo crescimento populacional.

Uma pesquisa realizada nos Estados Unidos, demonstrou que a captação de água da chuva é mais usada para fins de irrigação, porém 25% dos sistemas de coleta utilizam água da chuva para fins potáveis e dentre esses, 70% utilizam a lâmpada ultravioleta como tratamento primário (THOMAS *et al.*, 2014).

De acordo com o trabalho de Shaheed *et al.* (2017), na Malásia a precipitação de águas pluviais ocorre ao longo do ano, tendo a captação de água da chuva um recurso favorável. Os autores demonstram que após passar por algum tratamento, pode ser utilizada para fins potáveis, tendo em vista, que a água da chuva possui baixa contaminação, sendo seu principal patógeno o grupo dos coliformes. Outros países como

a Austrália, alguns do continente Asiático e Africano também utilizam a água tratada da chuva para fins potáveis.

Entretanto, países como a Itália, Alemanha, Espanha e Brasil, utilizam a água da chuva para reduzir o uso da água potável em vasos sanitários e torneiras externas.

2.6 Leis, Decretos e Normas para captação de água da chuva

As Leis relacionadas a aproveitamento de água foram pouco difundidas no âmbito nacional. O primeiro registro foi um Decreto Federal de nº 24.643 de 1934, mas conhecido como Código das Águas, que serviu como instrumento para outras legislações envolvendo a reutilização da água pluvial. Em seu artigo 103 ficava descrito que “As águas pluviais pertencem ao dono do prédio onde caírem diretamente, podendo o mesmo dispor delas a vontade, salvo existindo direito em sentido contrário” (BRASIL, 1934, p.103).

Seguindo essa mesma vertente, a NBR 10.844 de 1987 referente a instalações prediais de águas pluviais fixa exigências para o sistema de drenagem da água pluvial, visando apenas evitar enchentes e alagamentos. No item 4.2.3 relata que “A instalação predial de águas pluviais se destina exclusivamente ao recolhimento e condução das águas pluviais, não se admitindo quaisquer interligações com outras instalações prediais” (ABNT, 1987, p. 3).

A cidade de São Paulo foi a pioneira em 2002, com Lei Municipal nº 13.276, tornando obrigatória a construção de cisternas para pavimentos maiores que 500 m², com o objetivo de evitar enchentes (SÃO PAULO, 2002).

No ano de 2003, a cidade de Curitiba aprovou a Lei Municipal nº 10.785, referente à conservação e uso racional da água, tendo como uma de suas ações, utilizar a água da chuva para os fins de lavagem de roupas, veículos, vidros, calçadas e pisos, e regar jardins e hortas (CURITIBA, 2003). Em 2007, a Assembleia Legislativa do Estado do Paraná criou o projeto de Lei nº 015/2007 com as mesmas finalidades da Lei nº 10.785, porém no plano Estadual.

Em 2004 o Estado do Rio de Janeiro criou a Lei nº 4393, onde as empresas de construção civil deveriam construir cisternas em empreendimentos residenciais que abriguem mais de cinquenta famílias ou nos de empreendimentos comerciais com mais de 50 m² de área construída (RIO DE JANEIRO, 2004). O Estado do Rio de Janeiro vai além e em 2016 implanta a Lei nº 7307, para estádios esportivos, demandando a utilização de energia solar e captação de água da chuva (RIO DE JANEIRO, 2016).

O Estado de São Paulo tornou obrigatório a implantação de um sistema de captação de água da chuva a partir de 2 de janeiro de 2007, para coberturas superiores a 500 m², com a Lei Estadual nº 12.526, para prevenção de enchentes (SÃO PAULO, 2007).

No final do mesmo ano foi lançado a NBR 15527 para aproveitamento de água da chuva em coberturas de áreas urbanas para fins não potáveis. Essa norma traz uma obrigatoriedade na implantação de sistemas de captação de água pluvial para coberturas superiores a 500 m². Essa água pode ser utilizada após tratamento adequado para fins não potáveis com a finalidade de preservar a água potável como, por exemplo, nos vasos sanitários, irrigação de jardins, lavagem de calçadas, veículos e uso industrial (ABNT NBR 15527, 2007).

Desde então houve projetos de Lei que entraram no âmbito de discussão na câmara sobre a crise hídrica no Estado de São Paulo. Dentre esses projetos está o PL039 de 2010 que estabelece um sistema de desconto do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) para construções que aderirem à coleta de água da chuva e um sistema de reuso da água.

No Estado de Santa Catarina existem Leis municipais para algumas cidades. Na cidade de Florianópolis foi aprovada em 2013 uma Lei para captação de água da chuva e reuso obrigatório, em edificações superiores a 200 m². No ano seguinte, um Decreto determina a isenção ou desconto do IPTU para construções de uso sustentável que possuam valor histórico e/ou cultural.

Na região nordeste do país criou-se “O Programa Um Milhão de Cisternas” (P1MC) proposto em 2003 pela Articulação Semiárido Brasileiro (ASA), com o objetivo principal de melhorar a vida das famílias que vivem nas regiões semiáridas do país. Esse programa foi implantado em 10 Estados do Brasil que compõem as regiões secas, como Minas Gerais, Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte,

Ceará, Piauí e Maranhão. Até o primeiro semestre de 2017 foram construídas aproximadamente 600 mil cisternas (ASA, 2017).

O Estado do Amazonas, Goiás, cidades de Minas Gerais e da Paraíba contam com Leis de captação de água com fins não potáveis.

Dentre os 26 Estados e o Distrito Federal, somente sete apresentam legislação estadual para a captação de águas pluviais, e dezesseis estados possuem legislações municipais como ilustrados na Figura 4.

Figura 4 – Locais com regulamentação para captação de água da chuva no Brasil



Fonte: Pacheco *et al.*, 2017

O Congresso Nacional dispõe de um projeto de Lei nº 1750 de 2015, para a construção de sistemas de captação e armazenamento de água da chuva nas edificações residenciais, comerciais e industriais, com área construída acima de 200 m². Para as edificações já existentes, haverá um prazo de três anos para se adequarem. Essa Lei poderá unificar a legislação em uma esfera nacional.

2.7 Parâmetros de qualidade da água

As análises dos parâmetros de qualidade da água são essenciais para determinar suas propriedades e determinar a eficiência do tratamento usando lâmpadas ultravioletas. Nesse trabalho foram analisados os coliformes totais e termotolerantes, sólidos totais suspensos, pH, temperatura, cor e turbidez.

Os coliformes totais são indicadores de contaminação microbiológica, encontrados no intestino de diversas espécies de animais. Quando são encubados entre 35 e 37 °C é possível detectar sua presença após 24/48 horas. Entretanto, os coliformes termotolerantes suportam temperaturas acima de 40 °C. Dentro desse grupo de bactérias, encontra-se a *Escherichia coli*, presentes em alimentos contaminados que após serem ingeridos resultam na inflamação gastrointestinal, encontradas especificamente em animais de sangue quente, sendo detectada após 24 horas. Esses parâmetros determinam o nível de contaminação da água.

Outro parâmetro importante é a turbidez, que está associada aos sólidos em suspensão, ambos podem dispersar e absorver a luz solar, o que influencia diretamente na qualidade da água. Os valores da turbidez são mensurados por um aparelho denominado turbidímetro, com medidas expressas em NTU (unidade nefelométrica). Já os sólidos totais suspensos são quantificados através de uma fibra de vidro de 47 mm que retêm toda parte sólida presente na água.

As medições de pH (potencial Hidrogeniônico) determinam se a água estará apta para o uso humano, pois quantifica a presença de hidrogênio na água, variando de 0 a 14, com valores de pH < 7,0 indicando a intensidade de acidez; 7,0 para neutralidade e > 7,0 para alcalinidade. De acordo com a NBR 15527 de 2007 os valores de pH para o uso de água da chuva devem concentrar-se na faixa de 6 a 8.

E por fim, é possível determinar a cor, um parâmetro que determina a presença de materiais dissolvidos e colóides na água (BRANCO, 1991), devendo seguir os padrões da NBR 15527 de 2007, para uso de águas não potáveis, ficando com valores abaixo de 15 uH.

2.8 Radiação ultravioleta

O uso da radiação ultravioleta é um método bastante estudado por pesquisadores no mundo todo. Ao contrário de alguns agentes químicos a lâmpada ultravioleta não afeta as características da água. O cloro (Cl_2) é o agente químico mais usado na desinfecção de água potável, entretanto não é eficaz contra alguns protozoários como o *Cryptosporidium* e a giárdia, ambos transmitidos por água contaminada. E ainda, possui inconvenientes consideráveis em termos de transporte, manuseio e armazenamento de produtos químicos perigosos e corrosivos.

Diversos pesquisadores estudam outras formas de tratamento, buscando consolidar tecnologias e parâmetros que viabilizem o uso da radiação ultravioleta (UV), na tentativa de adequar e otimizar, para atender a população, tanto no âmbito industrial como no de saúde pública (WISBECK *et al.*, 2011), tendo em vista, que a radiação ultravioleta gera pouco ou nenhum subproduto.

A radiação ultravioleta, ao contrário de outros desinfetantes que têm ação química, atua por meio físico, atingindo principalmente os ácidos nucléicos dos microrganismos (DANIEL, 2001); matando ou inativando bactérias, vírus e outros organismos primitivos (KOWALSKI, 2009).

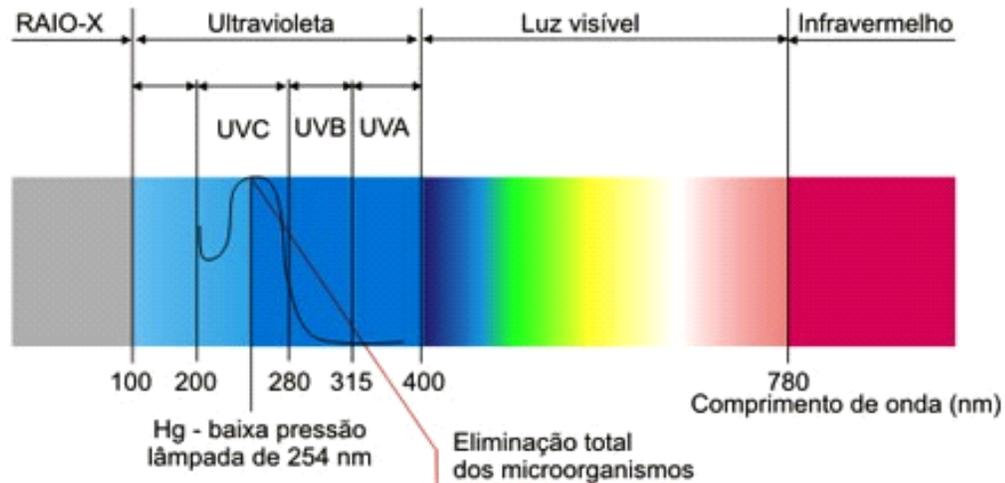
A tecnologia de desinfecção UV é de crescente interesse na indústria da água, uma vez que foi demonstrado que a radiação UV é superior ao cloro na eliminação dos microrganismos, sendo muito eficaz contra cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia*, dois microrganismos patogênicos de grande importância para a segurança da água potável (HIJNEN, *et al.*, 2006).

Atualmente, existem mais de 7000 instalações de desinfecção UV no mundo (MULLER, 2011). Entretanto, as lâmpadas ultravioletas são frágeis e possuem na sua composição mercúrio tóxico, um componente perigoso para o meio ambiente e exige o descarte adequado (CHEVREMONT *et al.*, 2013; CLOSE *et al.*, 2006).

A radiação ultravioleta abrange uma pequena parte do espectro eletromagnético, como mostrado na Figura 5, envolvendo o uso de radiação eletromagnética a partir do espectro de 100-400 nanômetros, e é classificada como UV-A nas faixas entre 320-400 nm, UV-B entre 280-320 nm e UV-C entre 200-280 nm. O intervalo de comprimento de

onda compreendido entre 240-285 nm é considerado a faixa germicida ótima para inativação de microrganismos (KEYSER *et al.*, 2008; BASTOS, 2007). Dentre estes microrganismos pode-se destacar os vírus, fungos, bactérias, protozoários, leveduras, ovos nematóides e algas.

Figura 5 – Faixa necessária para eliminação dos microrganismos

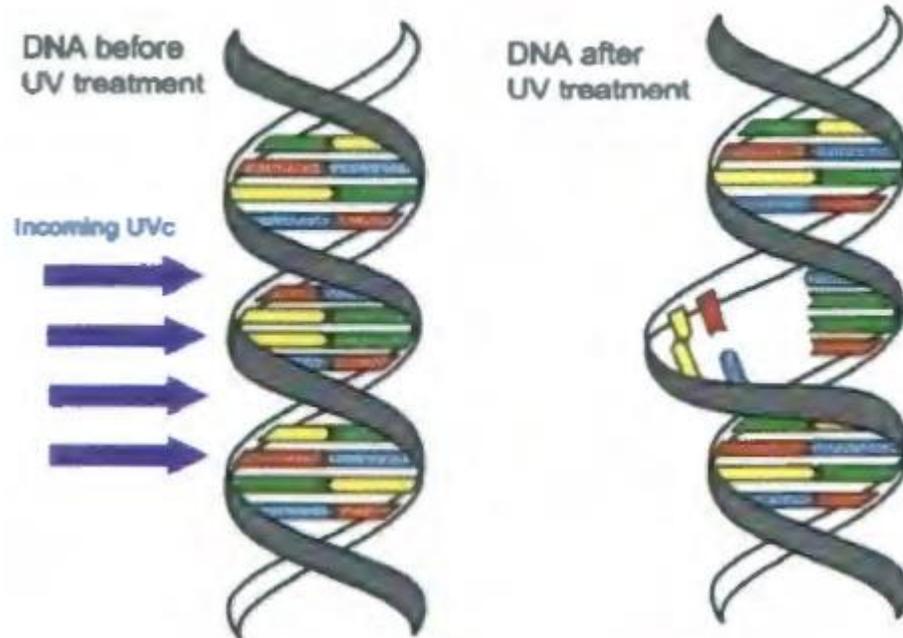


Fonte: Xylem, 2017.

A intensidade da radiação UV é muito instável durante as 100 primeiras horas de uso e normalmente a intensidade de radiação diminui gradualmente em função do tempo de uso (TINÔCO, 2011).

A radiação ultravioleta penetra na membrana celular externa da bactéria ou vírus e passa através do corpo da célula que interrompe seu DNA, evitando a reprodução das células (WEICHENTHAL; SCHWARZ, 2005). A radiação UV não necessariamente mata as bactérias, no entanto, impede que ela se reproduza; o patógeno não pode se multiplicar mais e eventualmente morre. A dissociação do DNA pode ser observada na Figura 6.

Figura 6 – Diagrama Esquemático



Fonte: DARO UV SYSTEMS, 2018.

A dose de exposição ao UV aplicado à água é que vai determinar o grau de desinfecção. Essa dose que a água recebe é a quantidade de intensidade da luz e o tempo de contato com a radiação UV (DARO UV SYSTEMS, 2018). A dose letal depende da qualidade físico-química da água, como por exemplo, turbidez (<5 UT), sólidos suspensos (<10 mg.l⁻¹), concentração de ferro (<0,3 mg.l⁻¹) e dureza (<120 mg.l⁻¹) (WEISBECK *et al.*, 2011).

O comprimento de onda mais comum em que as lâmpadas UV são projetadas para emitir é de 253.7 nm (DARO UV SYSTEMS, 2018). Esse valor é o mais adequado para eliminar os microrganismos presentes na água.

Segundo Bastos (2007) existem vantagens e desvantagens na aplicação da radiação ultravioleta como mostrado na Figura 7:

Figura 7 – Quadro de vantagens e desvantagens da radiação ultravioleta

| Vantagens | Desvantagens |
|---|--|
| A desinfecção UV é efetiva na inativação de muitos vírus, esporos e cistos; | Baixas dosagens podem não ser efetivas na inativação de alguns vírus, esporos e cistos; |
| A desinfecção UV é um processo físico, o que elimina a necessidade de geração, manuseio, transporte ou estocagem de produtos químicos tóxicos/perigosos/corrosivos; | Os microrganismos podem, às vezes, reparar e reverter os efeitos destrutivos do UV através de mecanismo de reativação ou fotoreativação, ou ainda, na ausência de luz, conhecido como recuperação no escuro; |
| Não geram efeitos residuais prejudiciais a humanos ou vida aquática; | Necessidade de programa preventivo para controle da formação de biofilmes nos tubos de quartzo (reator de contato); |
| A desinfecção UV é facilmente controlada pelos operadores; | Turbidez e sólidos suspensos totais na água pode prejudicar a eficiência da inativação. |
| A desinfecção tem um tempo de contato menor quando comparada a outros desinfetantes (aproximadamente 20 a 30 segundos com lâmpadas de baixa pressão); | |
| O equipamento de desinfecção UV requer menos espaço que outros métodos. | |

A radiação UV está ganhando uma aplicação crescente à medida que o custo desse processo diminui devido a uma maior comercialização, qualidade e competitividade.

2.9 Energia fotovoltaica

O efeito fotovoltaico foi observado, pela primeira vez, por um jovem físico francês Alexandre Edmond Becquerel em 1839, através de eletrodos de platina expostos à luz. Entretanto, a primeira célula solar, composta de silício (Si), foi divulgada no início de 1954.

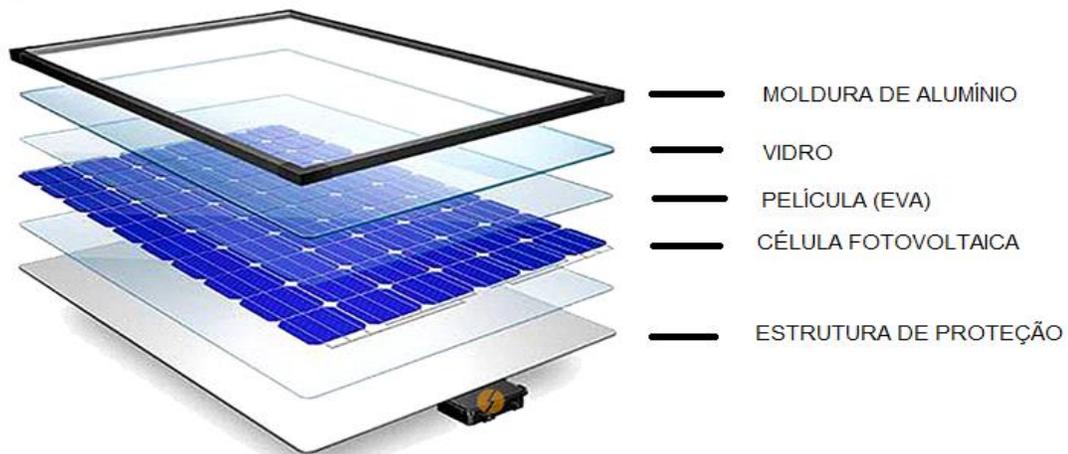
A geração da energia inicia-se com a radiação direta e a radiação difusa que atinge uma área de forma horizontal compondo a radiação solar. A radiação direta corresponde aos raios de sol que chegam diretamente na superfície e a radiação difusa corresponde aos raios de sol que chegam indiretamente à superfície devido à poeira, nuvens ou outros possíveis objetos (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A irradiância é uma grandeza para quantificar a radiação solar, expressada em W/m^2 (Potência por área) (VILLALVA; GAZOLI, 2012). A célula fotovoltaica, a partir desse princípio, converte a luz em energia elétrica (PATEL, 2006).

Os módulos fotovoltaicos estão compostos por células fotovoltaicas conectadas em série e paralelo e o painel fotovoltaico se define como a conexão em série e paralelo de vários módulos com a função de gerar a corrente e tensão requerida pela carga (PATEL, 2006).

Esses módulos são constituídos por um vidro temperado, uma película de encapsulamento (EVA – acetato de vinil-etila), células fotovoltaicas, backsheet (fundo protetor) constituído de uma estrutura metálica e uma moldura de alumínio, ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Partes que constituem o módulo fotovoltaico



Fonte: Portal Solar, 2017.

Os sistemas FV podem ser do tipo isolado ou conectado à rede elétrica, se distinguindo através do uso de acumuladores de energia, sendo o primeiro o escopo deste trabalho. Nos centros urbanos, esses sistemas podem ser instalados em áreas existentes, como nos telhados, fachadas e coberturas.

As cidades brasileiras apresentam um excelente potencial para a aplicação da energia solar FV, não apenas pelas suas características construtivas, mas também pelo perfil de consumo energético do brasileiro e pelos níveis de irradiação solar do país

(RUTHER, 2011); com a vantagem de ser renovável e não produzir gases de efeito estufa.

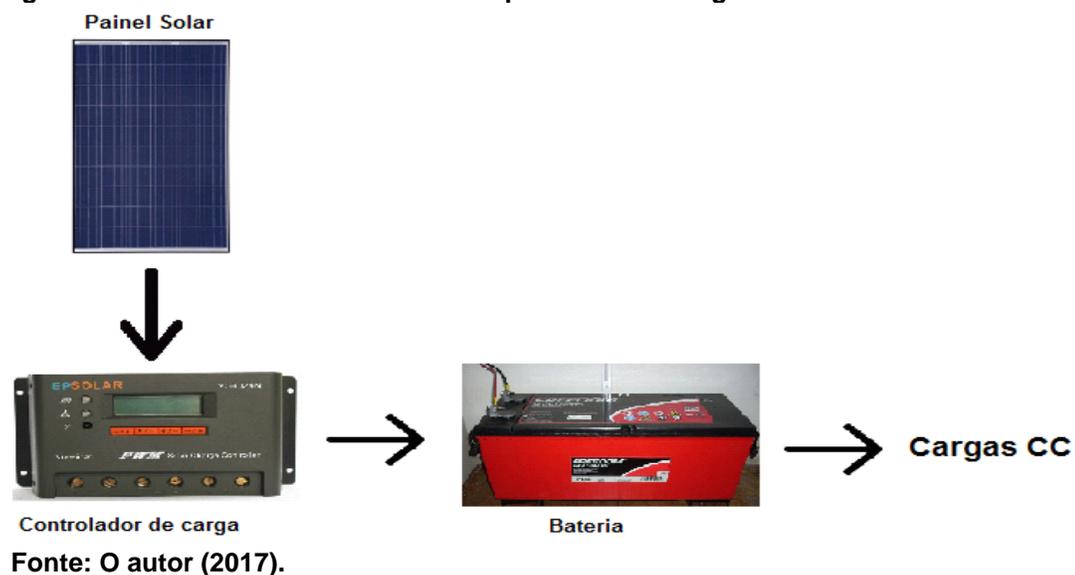
2.9.1 Sistema Fotovoltaico Isolado

O Sistema Fotovoltaico Isolado (SFVI) normalmente é instalado em lugares sem acesso à rede elétrica, e a energia solar é armazenada nas baterias.

Esse sistema possui três configurações distintas: atendimento usando Corrente Contínua (CC) bastante utilizada em países em desenvolvimento, contudo, possui limitações no uso de eletrodomésticos; atendimento usando Corrente Alternada (CA) tem uma melhor qualidade e eficiência que a Corrente Contínua; atendimento misto CC/CA, usando a Corrente Contínua para iluminação e a Corrente Alternada para eletrodomésticos.

O SFVI que será utilizado nesse protótipo alimenta somente cargas em CC, portanto ele será composto por um painel fotovoltaico, controlador de carga e banco de baterias, demonstrado na Figura 9.

Figura 9 – Sistema Fotovoltaico Isolado para atender cargas CC

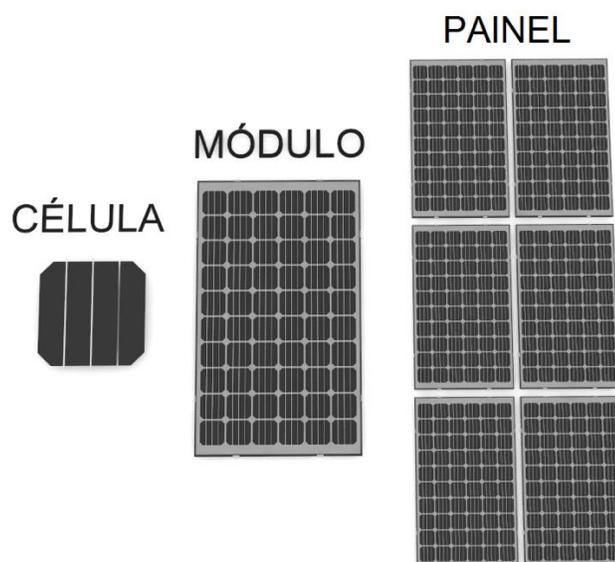


2.9.1.1 Painel Fotovoltaico

Painel fotovoltaico é um conjunto de módulos compostos por células interligadas eletricamente em série ou paralelo. O ligamento em série geralmente é usado para atingir maiores tensões.

Entretanto, Gregory (2015) explica que um módulo não é suficiente para energizar circuitos elétricos de edificações residenciais ou comerciais, e por esse motivo, os módulos são agrupados de forma que podem fornecer maiores tensões e corrente sendo este arranjo denominado de painel fotovoltaico (Figura 10).

Figura 10 – Composição do painel fotovoltaico



Fonte: a autora.

Esses agrupamentos podem ser em série ou paralelo, tendo em vista, que uma formação resulta em altas tensões e a outra em altas correntes.

2.9.1.2 Controlador de Carga

O controlador de carga evita a sobrecarga ou descarga das baterias, permitindo que toda a energia proveniente do painel solar seja armazenada com eficiência. Esses controladores possuem normalmente seis terminais elétricos para conectar os terminais positivos e negativos do painel fotovoltaico, do banco de baterias e do inversor (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A capacidade da corrente dos controladores pode variar de 10 A a 60 A, sendo os mais comercializados os convencionais, que possuem modulação de largura de pulso (PWM) e os com modulação de largura de pulso e rastreamento de ponto máximo (MPPT) (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Os controladores convencionais têm a função de evitar um sobrecarregamento ou descarregamento da bateria. O controlador eletrônico com PWM ajuda a aumentar a vida útil da bateria, pois um sistema de controle exato da corrente, por isso são equipamentos mais sofisticados. O controlador eletrônico com PWM e MPPT é ainda mais sofisticado, permitindo um ganho de energia ainda maior que os demais equipamentos. Entretanto, são os mais caros no mercado.

2.9.1.3 Bateria

As baterias têm a função de armazenar a energia proveniente do painel fotovoltaico e assim, transmitir energia à noite e em dias nublados.

As baterias são recarregadas em corrente contínua, sendo esta energia proveniente de uma fonte externa. Esta bateria converte a energia elétrica em energia química no modo de carregamento e a energia química em energia elétrica quando está sendo descarregada, uma parte da energia é liberada na forma de calor. A eficiência da conversão de energia nestes processos está entre 70% e 80% (PATEL, 2006).

2.10 Irradiação solar no Estado do Paraná

A energia solar se intensificou no Brasil na década de 70, decorrente da crise do petróleo, havendo um incentivo por parte do governo, que em 1977 criou o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e cerca de 20 estações da Rede Solarimétrica, sendo duas delas no estado do Paraná: uma em Curitiba e outra em Foz do Iguaçu. No ano seguinte foi fundado a Associação Brasileira de Energia Solar (ABENS), no Estado da Paraíba. No começo as pesquisas nessa área estavam concentradas em Universidades e centros de pesquisas, entretanto, em 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), lançou uma resolução permitindo a conexão de energia solar a rede elétrica de distribuição, dando início ao uso da energia fotovoltaica no Brasil.

A energia fotovoltaica é proveniente da radiação solar, tendo as nuvens como seu principal fator de modulação. O espalhamento da radiação solar por nuvens depende de sua espessura óptica, da distribuição de tamanhos das gotículas, do conteúdo e do estado físico da água (PALTRIDGE; PLATT, 1976).

A radiação solar que chega a Terra é decomposta em três formas diferentes: radiação direta, difusa e albedo. A radiação direta é a energia solar que atinge diretamente a superfície em análise, em linha reta; a radiação difusa é indireta, devido ao processo de espalhamento da luz solar na atmosfera e a radiação albedo é a energia solar refletida por materiais e superfícies de volta ao espaço, proporcional tanto a radiação direta quanto ao tipo de material e superfície. Em termos gerais, o albedo é a relação entre a energia refletida e a energia recebida por uma determinada superfície.

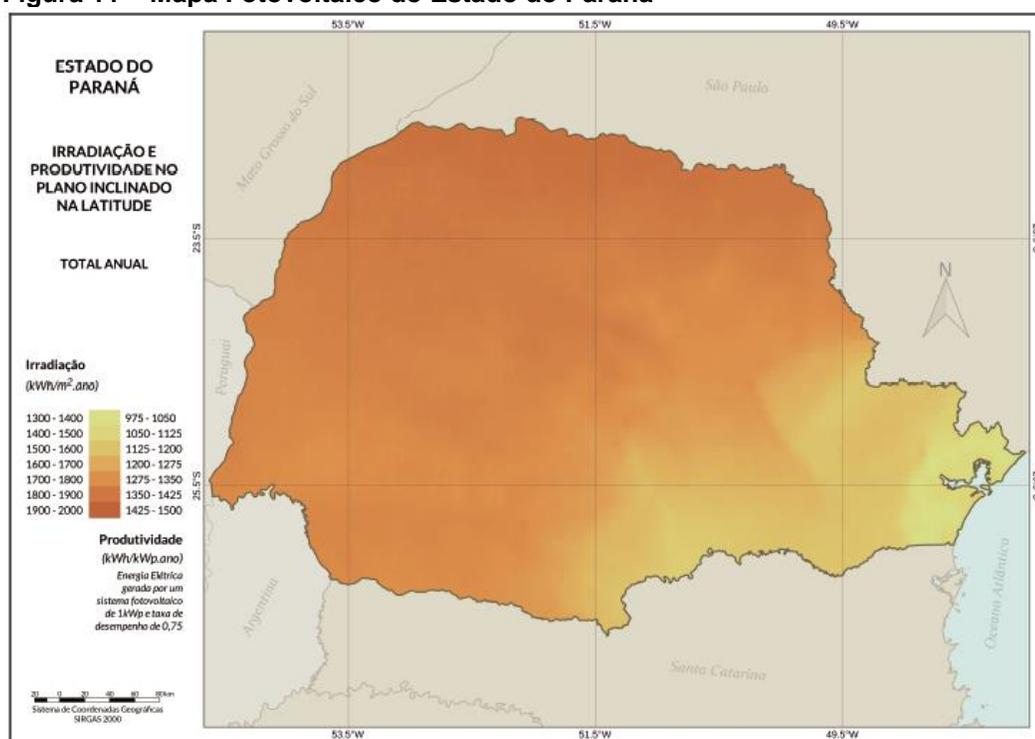
O equipamento que mede a energia solar é denominado piranômetro. O piranômetro termoelétrico é destinado a realizar medições da irradiância global, normalmente no plano horizontal, ou seja, campo hemisférico e, é composto por um sensor de termopilha com resposta espectral de até 2.500 nm (PINHO, GALDINO, 2014).

A NBR 10899 de 2013 define a irradiância global como sendo a potência radiante solar recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, e sendo igual à irradiância direta mais a irradiância difusa, e conseqüentemente a “irradiação global” como sendo a irradiância global integrada durante o intervalo de um dia. Da mesma forma, define a irradiância total como sendo a potência radiante solar total com as

componentes direta, difusa e de albedo, recebido em uma unidade de área em uma superfície com inclinação qualquer, e a “irradiação total” como a irradiância total integrada durante um intervalo de um dia.

No trabalho de Tiepolo *et al.* (2017) foram desenvolvidos mapas fotovoltaicos do Estado do Paraná, com valores de irradiação e de produtividade estimada total anual, média diária sazonal e média diária mensal. Na Figura 11 tem-se a versão final do Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná.

Figura 11 – Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná



Fonte: Tiepolo *et al.*, (2017).

Na Figura 11 é possível encontrar os valores anuais de irradiação total na cidade de Curitiba que estão entre 1.500 kWh/m² a 1.600 kWh/m².ano e os valores de produtividade de 1.125 kWh/kWp.ano à 1.200 kWh/kWp.ano (TIEPOLO *et al.*, 2017). Esses índices demonstram que a irradiação na cidade de Curitiba é favorável para a instalação de painéis fotovoltaicos.

2.11 Estado da Arte

Projetos envolvendo a desinfecção com lâmpadas germicida ultravioleta ligado a energia fotovoltaica vem sendo difundido, em pequena escala, porém em diversos países no mundo.

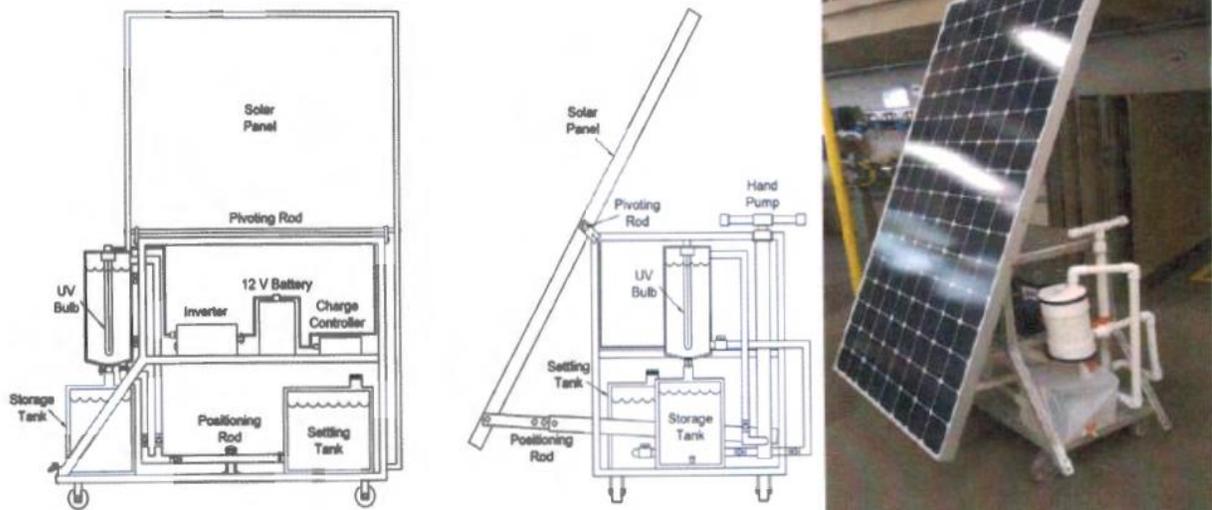
Em 2006, Close, Ip e Lam publicaram um trabalho sobre o progresso na criação de uma planta piloto de tratamento de águas residuais biológicas e um sistema de desinfecção UV-LED ligado a energia fotovoltaica em Hong Kong, com o objetivo de incorporar o sistema dentro de uma comunidade em pequena escala para a conservação de água e energia, bem como estabelecer os parâmetros de replicação em outros países com potenciais escalas para aplicações urbanas. Após a conclusão da planta-piloto em 12 meses, os autores estimaram com uma maior precisão os custos de instalação, operação e manutenção. Além disso, eles enfatizam os benefícios desse sistema em áreas remotas e acreditam que haverá economia nos custos operacionais na utilização de UV em comparação a cloração.

Na região norte do Brasil, a população da aldeia indígena Morada Nova solicitou auxílio ao Instituto Nacional de Pesquisas do Amazonas (INPA) para obter uma solução para o tratamento da água, altamente contaminada, consumida nesta comunidade. De acordo com a Fundação Nacional da Saúde – FUNASA, cerca de 60% das mortes de crianças indígenas são causadas por contaminação de veiculação hídrica. A partir desta solicitação, o INPA (2011), desenvolveu um protótipo de um sistema de pequeno porte de desinfecção solar da água. Devido à ausência de eletrificação na aldeia indígena, o sistema tinha que funcionar com energia solar. A estação era composta por uma mangueira, uma bomba de sucção ligada a dois painéis solares de 80 W cada, uma bateria de 12 volts, uma lâmpada de 11 W (que deve ser trocada uma vez ao ano), filtro para reter as partículas grandes e reator Purion 500. O processo de descontaminação ocorre da seguinte forma: a água contaminada é bombeada do rio para a caixa d'água, onde um filtro grosso evita que partículas flutuantes entrem na caixa d'água. Em seguida, a mangueira ligada à caixa d'água é conectada ao painel solar instalado. Uma chave eletrônica liga a lâmpada ultravioleta e garante seu funcionamento constante. O reator Purion 500 permite que a água, ao passar pelo tubo de aço, seja descontaminada pela

ação dos raios ultravioleta, que destroem o DNA das bactérias presentes. Em junho de 2011, foi efetuada a instalação de mais dois sistemas de desinfecção solar de água nas aldeias indígenas Itaúba e Boiador, ambas no município de Itamaratí – AM, cerca de 10 dias de viagem de barco, em relação a Manaus.

Outra pesquisa, desenvolvida por Wilson (2014), em uma Universidade da Califórnia, teve como objetivo desenvolver um sistema móvel de desinfecção de água alimentado por um módulo fotovoltaico. Depois de fazer alguns testes, o autor chegou à conclusão que a estrutura móvel deveria ter um filtro por onde a água passaria antes de ser bombeada para o tanque de desinfecção UV. O módulo fotovoltaico, assim como a bateria e o inversor foram instalados no carro, que gira o módulo de 435 Wp através de uma haste, buscando sempre o ângulo perpendicular ao sol (Figura 12). A bateria de 12 VCC foi adicionada para armazenar energia em caso de dias nublados ou para uso durante a noite.

Figura 12 – Sistema de desinfecção de água usando um módulo fotovoltaico



Fonte: WILSON, 2014.

Por fim, o autor conclui dizendo que os sistemas de aproveitamento de energia solar e os sistemas de purificação de água usando lâmpada UV existem no mercado atual, entretanto há uma escassez de sistemas que utilizam os dois juntos para fornecer água limpa a locais que não têm acesso a uma rede de energia.

Ahmed *et al.* (2017) desenvolveram um projeto na Universidade Tecnológica de Visvesvaraya, na cidade de Belagavi, na Índia com o objetivo de aerar e filtrar a água, tendo como meta melhorar a qualidade da água de lago ou lagoas, adicionando oxigênio e filtrando-os. A aeração e filtração é alimentada por energia solar, incorporada a uma bateria, não sendo necessário conexão com a rede elétrica, podendo ser usado em qualquer local. Além disso, o dispositivo pode ser usado durante períodos de baixo teor de oxigênio e filtração de corpos d'água poluídos. A eficiência aumentada pode ser obtida combinando o tamanho da bomba, painéis solares, filtros, baterias de acordo com a área do corpo hídrico. Ao final da pesquisa os autores concluíram que as vantagens desse sistema resultariam em uma melhora na estética e na saúde geral dos lagos e lagoas, eliminaria a necessidade de substâncias químicas nocivas, reduziria a manutenção o que economizaria tempo e dinheiro, e ainda, proporcionaria melhorias na qualidade da água e, conseqüentemente, da vida aquática.

Pesquisas que utilizem as três vertentes água pluvial, lâmpada UV e radiação fotovoltaica não são frequentemente desenvolvidas. A utilização de um sistema autossuficiente ainda é pouco estudado. Contudo, de acordo com pesquisas mencionadas pode-se observar que alguns sistemas de desinfecção e módulos fotovoltaicos foram instalados em regiões isoladas no Brasil.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho de pesquisa ocorre no município de Curitiba no Estado do Paraná. As atividades foram executadas, em escala real, com o objetivo de caracterizar a qualidade da água da chuva.

As coletas foram realizadas no Escritório Verde (EV) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e as análises laboratoriais dos parâmetros de qualidade da água da chuva em laboratórios da Sede Ecoville da UTFPR.

3.1 Escritório Verde

O Escritório Verde está localizado em Curitiba no Estado do Paraná, na Avenida Silva Jardim nº 807, entre a rua Desembargador Westphalen e a avenida Marechal Floriano Peixoto, com latitude $-25,44^{\circ}$ e longitude $-49,26^{\circ}$, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Escritório Verde da UTFPR



Fonte: *Google Maps*, 2017.

O EV é uma construção que tem como fundamento a sustentabilidade, se distinguindo da arquitetura tradicional no Brasil. A construção foi feita em *wood-frame* e

sua execução durou sete dias. O projeto foi idealizado seguindo o conceito de arquitetura bioclimática, possibilitando ventilação cruzada, aproveitamento da fachada norte para captação de energia solar, a utilização de telhado verde, que favorece o conforto ambiental da edificação (LIMA, 2013), além do sistema de captação de água da chuva.

O EV tem o objetivo de desenvolver e implantar programas que reduzam o impacto ambiental na vida da população, através de pesquisas realizadas no Campus Curitiba.

3.2 Sistema de coleta da água da chuva do Escritório Verde

O sistema se inicia com a água da chuva que percola pelo telhado da edificação e chega as calhas. Em seguida, a água segue para uma cisterna de 1500 litros (Figura 14), porém, no caminho até a cisterna a água passa por um filtro de descida. Esse filtro é usado para descartar as primeiras águas da chuva, visando a remoção de impurezas como musgo, folhas, insetos e outros detritos que possam ter se juntado à água durante seu escoamento pelo telhado.

Figura 14 – Cisterna do EV



Fonte: a autora.

Próximo da cisterna há uma válvula (Figura 15) que controla o fluxo da água que chega ao sistema de desinfecção, assim é possível verificar o desempenho do mesmo com vazões diferentes. E ainda, há uma bomba fotovoltaica da marca *Shurflo*, modelo 8000-443-136 de 12V (volts) que bombeia água da cisterna para o sistema de desinfecção.

Figura 15 – Válvula de controle da vazão e bomba fotovoltaica



Fonte: a autora.

A vazão de água entra por uma das extremidades do sistema de desinfecção, sofre incidência de radiação ultravioleta, saindo por outra extremidade do tubo (Figura 16).

Figura 16 – Sistema de desinfecção ultravioleta

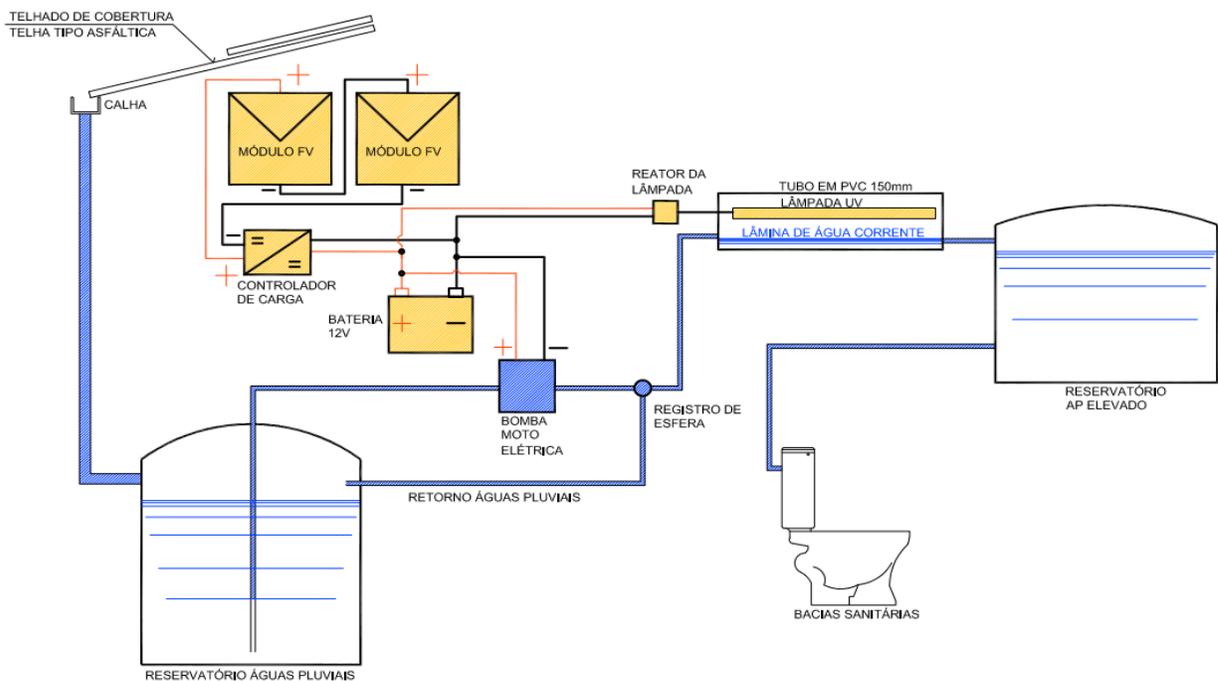


Fonte: a autora.

O sistema de desinfecção ultravioleta foi desenvolvido utilizando um tubo de PVC de 100 mm de diâmetro e uma lâmpada tubular germicida modelo T8 30 W, marca G-Light com 89,5 cm de comprimento, que emite ondas de 254 nanômetro, alimentada por um painel fotovoltaico. No trabalho de Arantes e Lippmann (2011) é possível acompanhar detalhadamente os processos de montagem desse protótipo que foi desenvolvido na UTFPR Campus Curitiba em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina.

Por fim, essa água tratada é distribuída para os vasos sanitários e uma torneira externa. O sistema completo está apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Sistema de desinfecção de água da chuva alimentado por módulos fotovoltaicos



Fonte: a autora.

Na Figura 17 pode-se observar o sistema elétrico formado por dois módulos fotovoltaico que somados totalizam 174 Wp, ligados a um controlador de carga, a uma bateria de 12 V que mandam energia para uma bomba fotovoltaica e a lâmpada germicida UV.

Esse sistema entra em funcionamento quando o nível de água do reservatório elevado está baixo, sendo acionado através de uma boia instalada dentro do mesmo. Em

seguida, a bomba fotovoltaica entra em funcionamento e a lâmpada UV é acionada, dando início a desinfecção da água da chuva.

3.3 Parâmetros qualitativos de análise

Foram selecionados parâmetros físico-químicos e microbiológicos para analisar a qualidade da água da cisterna e após a passagem no sistema de desinfecção, e com isso, apresentar dados representativos em diferentes meses do ano.

As análises foram realizadas no Laboratório de Tratamento e Potabilização de água da UTFPR, sede Ecoville em Curitiba.

Os métodos e equipamentos utilizados para cada análise estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros de análise de água da chuva

| Parâmetros | Unidade | Método | Equipamento |
|----------------------------|------------|---------------|-------------------|
| Coliformes Totais | NMP/100 MI | Plaqueamento | Estufa |
| Coliformes Termotolerantes | NMP/100 MI | Plaqueamento | Estufa |
| Sólidos Suspensos Totais | mg/L | Bomba a vácuo | Estufa |
| Turbidez | UNT | Medida direta | Turbidímetro |
| Cor | uH | Medida direta | Espectrofotômetro |
| pH | - | Medida direta | pHmetro |

***NMP/100: número mais provável a cada 100 ml. UNT: unidade nefelométrica da turbidez. UPC: unidade de platina cobalto.**

As coletas da água foram feitas no período de junho a dezembro de 2017, totalizando 13 análises na UTFPR e 1 análise de coliformes totais e termotolerantes realizada em um laboratório da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). A análise realizada na SANEPAR teve como método o uso de colilert, um procedimento diferente dos realizados na UTFPR. Contudo, o resultado foi usado para comparar se havia coerência nos valores encontrados nos laboratórios da Universidade.

3.3.1 Métodos de Análise

As amostras de água foram coletadas em 2 pontos do sistema, inicialmente pela cisterna, e em seguida, após passar pela radiação ultravioleta, com vazões máxima, média e mínima, utilizando frascos de polipropileno esterilizados em autoclave.

As amostras foram levadas para o laboratório para iniciar as análises de pH, temperatura, cor, turbidez, sólidos totais suspensos e coliformes totais e termotolerantes. Para as análises de coliformes, usou-se o *Ágar MacConkey* tanto para coliformes totais, quanto para coliformes termotolerantes. As placas eram contaminadas com 1 ml de água dos pontos de coleta, seguindo para a estufa bacteriológica à 37 °C para os coliformes totais e 44 °C para os coliformes termotolerantes. Após 24 horas eram realizadas as contagens do número de colônias para coliformes termotolerantes e em 48 horas para coliformes totais.

Na análise de sólidos suspensos totais utilizou-se uma membrana de vidro de 47 mm de diâmetro para filtrar a água e determinar a massa com o auxílio de uma balança analítica, sendo o resultado obtido conforme a Equação 1:

$$SDT = \frac{(P_2 - P_1)(g) \times 10^6}{V(ml)} \quad (mg/l) \quad (1)$$

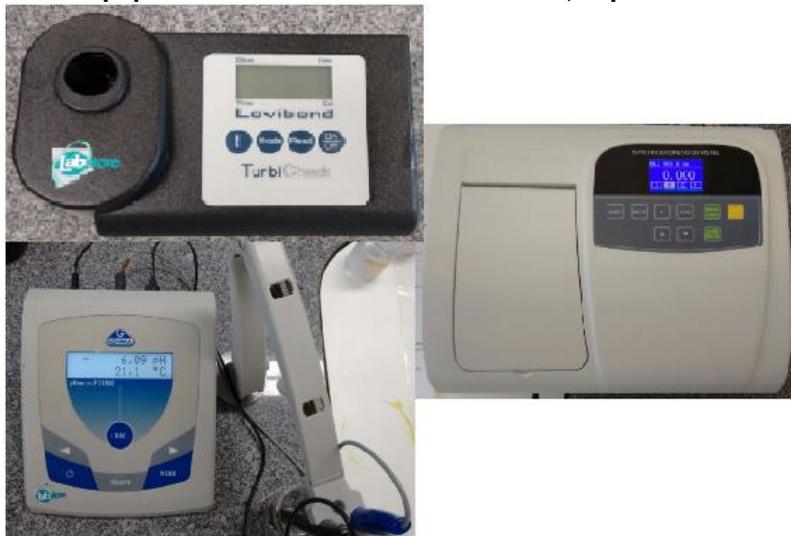
Em que: p_1 – peso inicial;

p_2 – peso final;

v – volume de água.

Para as análises de turbidez, cor, temperatura e pH os dados foram obtidos através de equipamentos como turbidímetro portátil *LoviBond TurbiCheck*; espectrofotômetro UV-visível, modelo UV-5100 e pHmetro, modelo inPA-210 (Figura 18). Essas análises foram realizadas segundo a metodologia estabelecida no *Standard Methods for Examination of Water & Wastewater* (APHA, 2012).

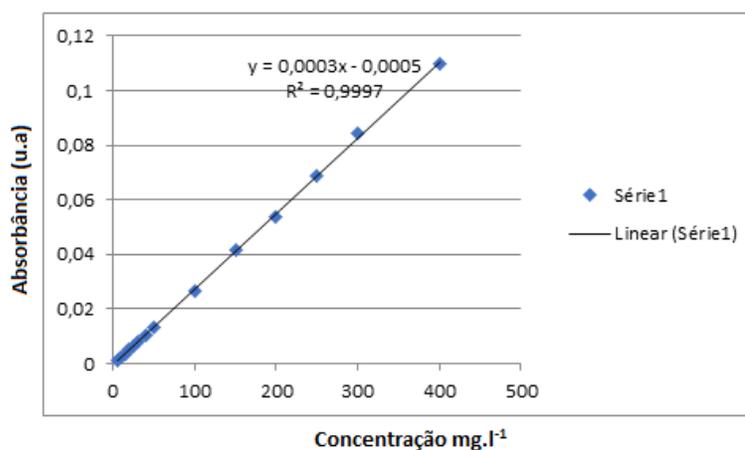
Figura 18 – Equipamentos de análise: turbidímetro, espectrofotômetro e pHmetro



Fonte: a autora.

Para a análise de cor realizada no espectrofotômetro, o resultado equivale a absorvância, sendo utilizado o comprimento de onda de 455 nanômetro. Para obter os valores do parâmetro cor é necessário criar uma equação. A cor das águas naturais é semelhante a produzida por soluções de Cloroplatinato de Potássio (K_2PtCl_6) tingida com pequenas quantidades de cloreto de cobalto ($CoCl_2$). A determinação da cor é feita por comparação visual da amostra no espectrofotômetro, com soluções padrão de diferentes concentrações de (K_2PtCl_6). Foram realizadas diversas diluições com essa solução, até se obter uma curva de cor, como ilustra a Figura 19.

Figura 19 – Gráfico da curva de cor



Esses valores possibilitaram desenvolver uma equação para encontrar os valores de cor. Os valores são calculados utilizando a Equação 2:

$$y = 0,0003x - 0,0005 \quad (2)$$

Em que: y – valor da absorbância;

x – o resultado para cor.

3.4 Dados de pluviometria e irradiação solar

Os dados de pluviometria e irradiação solar foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que coleta informações desde 1961, das estações meteorológicas espalhadas por todo o Brasil. É um órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, responsável pela promoção de informações meteorológicas à sociedade através do portal de acesso na internet <http://www.inmet.gov.br/> ou por solicitação de dados no local ou meio eletrônico, disponibilizados gratuitamente (INMET, 2018).

O INMET representa o Brasil na Organização Meteorológica Mundial (OMM), sendo responsável pela coleta dos dados meteorológicos da América do Sul e dos centros meteorológicos.

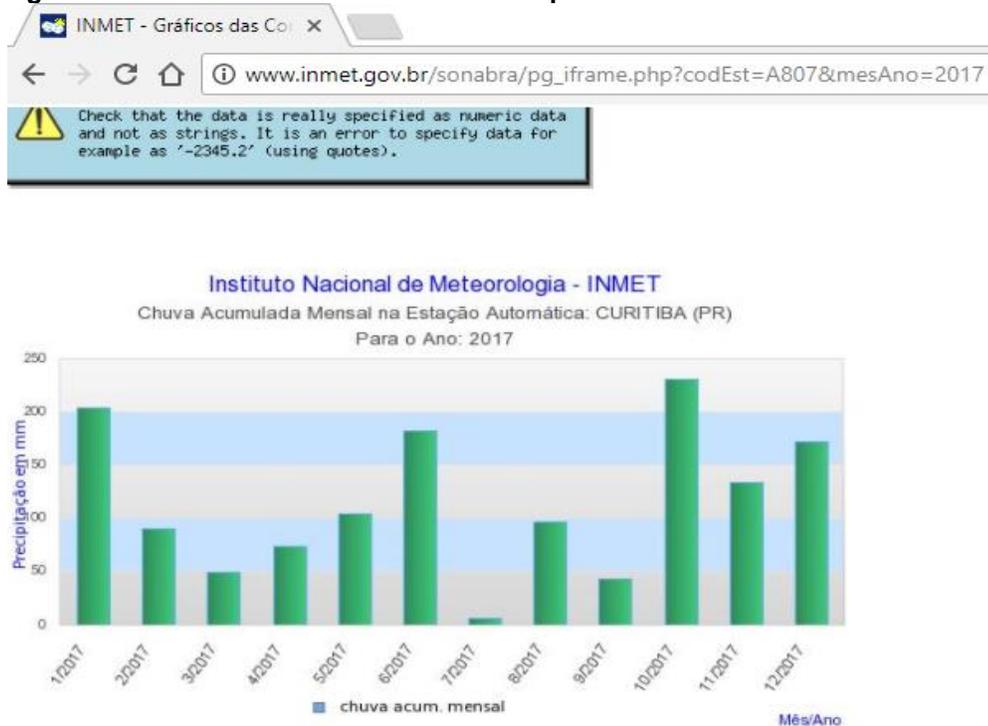
De acordo com o INMET as coletas e distribuições dos dados de temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, precipitações são transmitidos pelas estações de sondagem de ar superior, estações meteorológicas de superfície operadas manualmente, e a maior rede de estações automáticas da América do Sul. As estações meteorológicas automáticas estão distribuídas por todo país.

Os dados usados para esta pesquisa foram das estações automáticas, que são constituídas por sensores que medem as variáveis do meio ambiente. Esses dados são disseminados em tempo real de forma gratuita.

3.4.1 Dados de pluviometria

Os dados de pluviometria estão distribuídos de hora em hora no banco de dados do INMET, no período de um ano. E ainda, possuem dados mensais em formas de gráficos de coluna, podendo-se obter os valores dos 4 últimos anos, como mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Gráfico dos dados mensais de pluviometria em Curitiba no ano de 2017



Fonte: INMET, (2018).

3.4.2 Dados de irradiação

Os dados de irradiação utilizados para estimar a energia elétrica produzida pelo Sistema Fotovoltaico Isolado que alimenta o Sistema de Desinfecção Ultravioleta, foi obtido no site do INMET, consultando os dados da estação A-807, localizada no Bairro

Jardim das Américas em Curitiba, dentro do Campus da Universidade Federal do Paraná (UFPR), no Centro Politécnico.

Inicialmente encontrou-se as coordenadas geográficas do local estudado, adquiridas por meio da aplicação do software *Google Earth* (Figura 21).

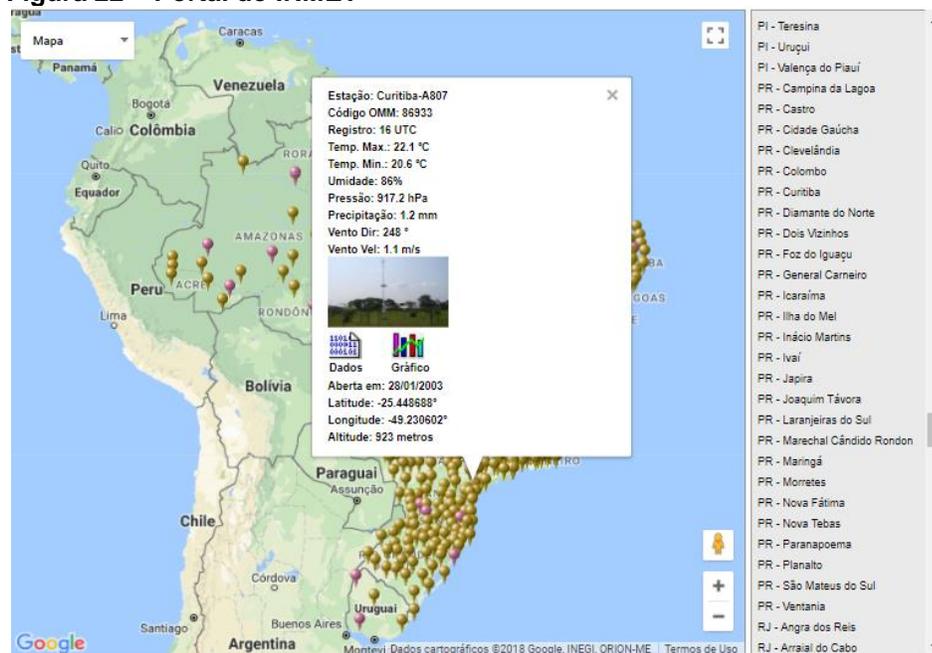
Figura 21 – Interface do programa *Google Earth*



Fonte: *Google Earth* (2018)

Em seguida, foram coletados os dados solarimétricos, obtidos através do banco de dados nacionais e locais ou *softwares* e nesse trabalho foram os dados do INMET. (Instituto Nacional de Meteorologia) como mostrado na Figura 22.

Figura 22 – Portal do INMET



Fonte: INMET (2018).

Os dados de irradiação do INMET são usados para calcular os valores no plano horizontal para cada mês do ano, isso é feito através do *software* excel. Com os valores do plano horizontal utiliza-se outro *software* o Radiasol (Figura 23), desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Ele é usado para fazer a correção dos valores para o plano inclinado, ou seja, deve-se usar a inclinação em que o painel foi instalado. Esse *software* é capaz de simular o comportamento real do gerador FV, no que se refere à disponibilidade de irradiação solar ao longo do ano mediante parâmetros de entrada como coordenadas geográficas, irradiação local, inclinação e orientação dos módulos quando a inclinação do painel é diferente do ângulo da latitude local (UFRGS, 2018).

Figura 23 – Tela Inicial do Software Radiasol

Selecione um país e uma estação

País

Estação

OK Editar Sair

Latitude N/S: Longitude E/W:

| JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 5,19 | 5,67 | 3,91 | 3,37 | 2,75 | 2,90 | 3,43 | 3,34 | 4,83 | 4,00 | 5,51 | 4,71 |

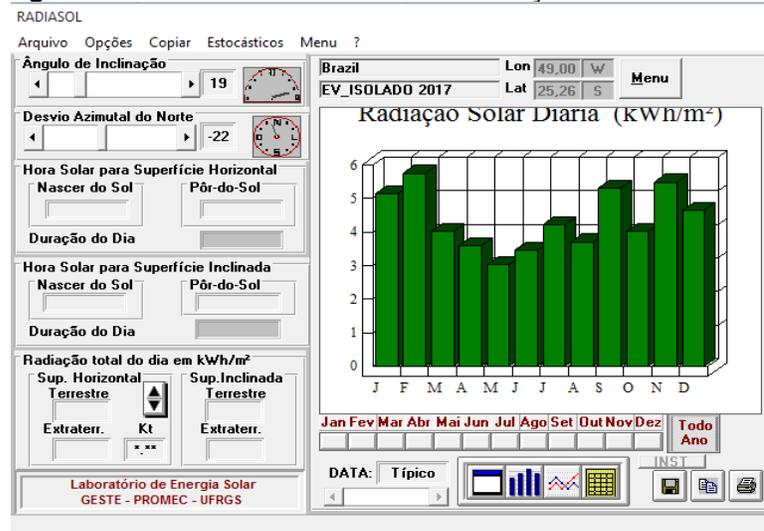
Radiação em kWh/m²

Fonte: a autora.

A Figura 23 representa a interface do *software* Radiasol, onde deve ser colocado os valores das coordenadas geográfica e de irradiação no plano horizontal disponíveis para cada mês. Nesse programa há diversas cidades brasileiras cadastradas, tendo seu banco de dados disponível. Contudo, é possível cadastrar outras cidades ou locais que não estão inseridos no banco de dados do *software* usando as coordenadas geográficas.

Para obter os valores de irradiação solar, uma segunda janela se abrirá, possibilitando preencher os valores de angulação e desvio azimutal em que o painel fotovoltaico se encontra ou irá ser instalado (Figura 24).

Figura 24 – Gráfico do Radiasol de irradiação solar diária

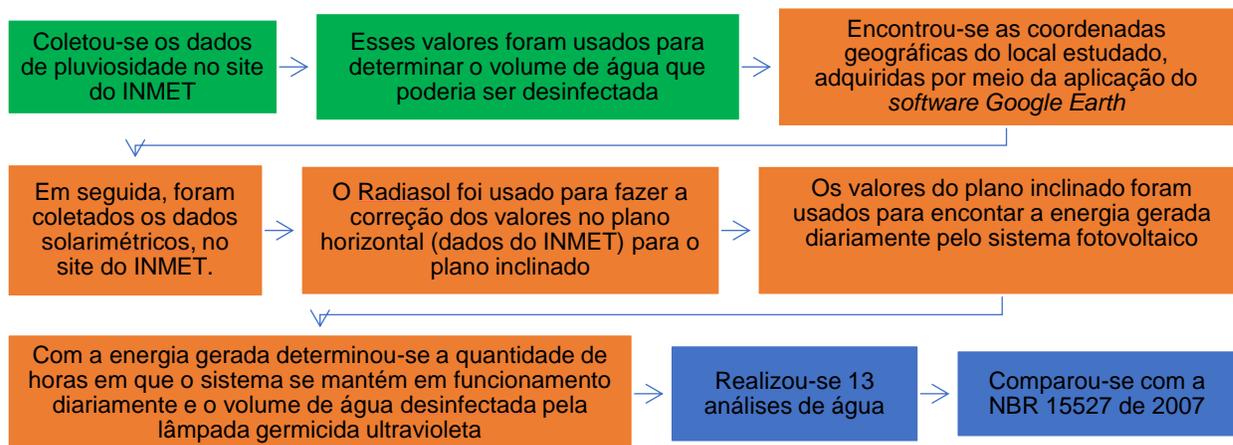


Fonte: a autora.

Os valores estarão em Wh/(m².dia) e estes podem ser apresentados em forma de gráficos de barras, linhas ou em forma de tabela.

Um fluxograma das etapas do trabalho pode ser observado na Figura 25.

Figura 25 – Etapas da pesquisa



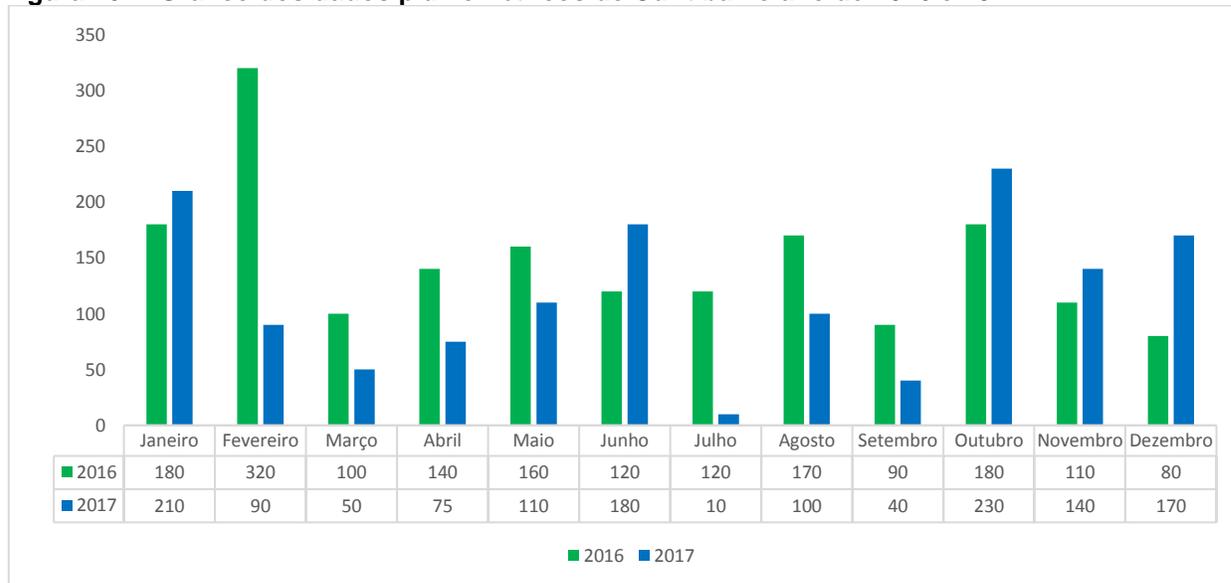
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os parâmetros analisados foram pluviosidade, irradiação solar, temperatura, turbidez, cor, pH, sólidos suspensos totais, coliformes totais e coliformes termotolerantes. A escolha desses parâmetros se deve a NBR 15527 de 2007, que estabelece valores para uso de água da chuva para fins não potáveis.

4.1 Dados de pluviosidade em Curitiba

Os dados de pluviosidade na cidade de Curitiba para o ano de 2016 e 2017 estão descritos na Figura 26.

Figura 26 – Gráfico dos dados pluviométricos de Curitiba no ano de 2016 e 2017



Fonte: INMET (2018).

Na Figura 26 pode-se observar que houve uma variação significativa nos índices pluviométricos de um ano para o outro, demonstrando que em 2016 os níveis de

precipitação foram maiores que no ano seguinte, com aumento de aproximadamente 20%.

Com esses valores foi possível determinar o volume de água da chuva que poderia ser desinfetada mensalmente. Além disso, elencar esses dados proporcionou visualizar que a pluviosidade na cidade de Curitiba é inconstante, contudo não há períodos de seca.

Em meses com maiores níveis de precipitação haverá uma limpeza constante do telhado, diminuindo o acúmulo de sólidos, proporcionando uma maior diluição da água na cisterna e com isso um melhor desempenho na qualidade da água.

4.2 Dados de irradiação solar sobre o painel do sistema fotovoltaico isolado

Os dados de irradiação solar obtidos no site do INMET com o auxílio de um piranômetro, se refere a valores no plano horizontal e estão contidos na Tabela 3.

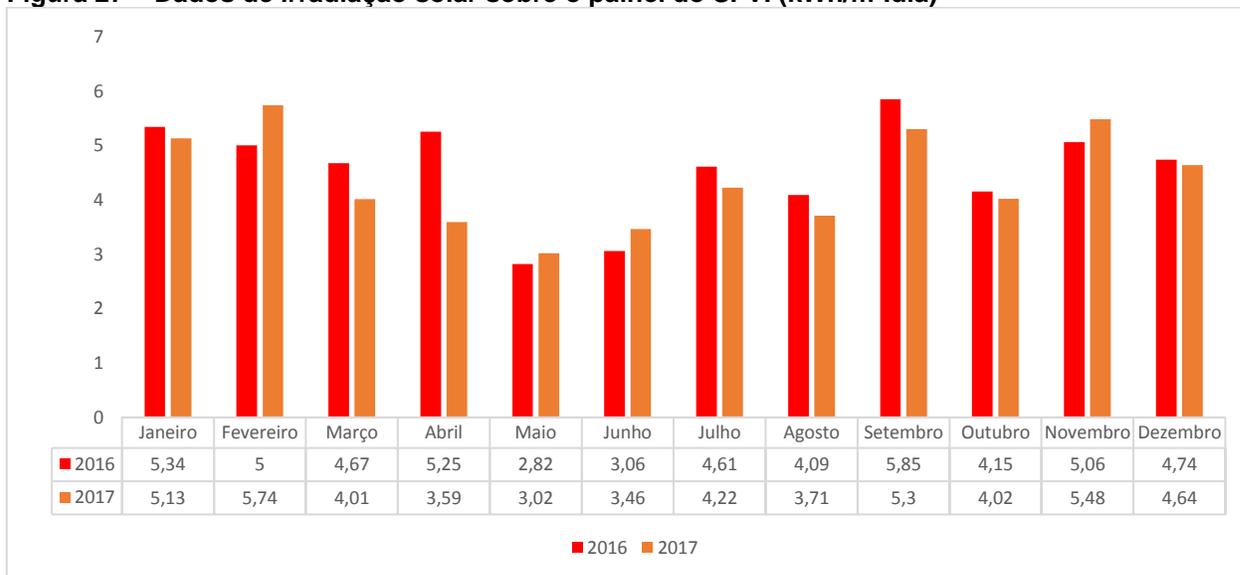
Tabela 3 – Irradiação diária média no plano horizontal - INMET (kwh/m².dia)

| Mês | 2016 | 2017 |
|-----|------|------|
| Jan | 5,40 | 5,19 |
| Fev | 4,59 | 5,67 |
| Mar | 4,38 | 3,91 |
| Abr | 4,59 | 3,37 |
| Mai | 2,61 | 2,75 |
| Jun | 2,59 | 2,90 |
| Jul | 3,26 | 3,43 |
| Ago | 3,54 | 3,34 |
| Set | 5,00 | 4,83 |
| Out | 4,12 | 4,00 |
| Nov | 5,08 | 5,51 |
| Dez | 4,81 | 4,71 |

Para se obter os valores de irradiação no plano inclinado utilizou-se o programa Radiasol com as condições de inclinação e orientação do painel analisado. No caso do painel fotovoltaico do sistema isolado sobre o telhado do EV da UTFPR, tem-se uma

inclinação de 19° e desvio azimutal de 22° para oeste em relação ao norte. O gráfico com os valores de irradiação para os anos de 2016 e 2017 estão apresentados na Figura 27.

Figura 27 – Dados de irradiação solar sobre o painel do SFVI (kWh/m².dia)



Os valores demonstram uma irradiação maior nos períodos de verão como esperado, e menor nos meses de inverno. Entretanto, o mês de julho correspondente a estação de inverno tem valores elevados de irradiação, assim como os meses de setembro e novembro, ambos referentes ao período de primavera. Isso pode estar atrelado ao nível de precipitação ter sido baixo nesses meses, e assim, uma maior incidência de irradiação.

Elencando os índices dos dois últimos anos pode-se observar que na cidade de Curitiba não há variações significativas nos valores de irradiação. Porém, quanto maior os índices de irradiação, maior será a quantidade de horas de funcionamento do sistema de desinfecção.

4.3 Energia elétrica disponível no sistema fotovoltaico isolado e volume de água desinfetada

Para realizar o cálculo de energia gerada diariamente deve-se somar a potência de cada módulo solar. Nessa pesquisa utilizou-se dois módulos fotovoltaicos com potência de 87 Wp cada um, totalizando 174 Wp. Além disso, deve-se usar os valores de irradiação (H_{TOT}) já apresentados na Figura 27. Com esses valores é possível calcular a energia gerada diariamente para cada mês do ano, usando a fórmula 3. Os resultados estão apresentados na Tabela 4:

$$P_{FV} = \frac{E \cdot G}{H_{TOT} \cdot R} \cdot F_{carregamento} \quad (3)$$

Em que: E – energia gerada diariamente (Wh/dia);

G – irradiância nas condições STC (1.000 W/m²);

H_{TOT} – irradiação solar incidente no plano dos módulos FV (Wh/m².dia);

F_{CARREG} – fator de carregamento diário das baterias, foi adotado 1,1;

R – rendimento do conjunto de aparelhos e componentes do sistema: controlador de carga, bateria, inversor (quando houver) e fiação. O valor de R adotado foi de 70%.

Tabela 4 – Energia disponibilizada diariamente pelo SFVI (Wh/dia)

| Mês | 2016 | 2017 |
|-----|--------|--------|
| Jan | 591,28 | 568,03 |
| Fev | 553,63 | 635,57 |
| Mar | 517,09 | 444,01 |
| Abr | 581,31 | 397,51 |
| Mai | 312,25 | 334,39 |
| Jun | 338,82 | 383,11 |
| Jul | 510,45 | 467,26 |
| Ago | 452,87 | 410,79 |
| Set | 647,75 | 586,85 |
| Out | 459,51 | 445,12 |
| Nov | 560,28 | 606,78 |
| Dez | 524,84 | 513,77 |

Diante dos valores de energia gerada diariamente para cada mês do ano, é possível calcular quantas horas por dia o sistema se mantém em funcionamento. Para isso, deve-se dividir os valores de energia gerada (E) pela potência da bomba (120 W), somada a potência da lâmpada (30 W). Em função da energia gerada, e da potência das cargas (bomba e lâmpada) mostra-se na Tabela 5 a quantidade de horas estimada de funcionamento do sistema por dia.

Tabela 5 – Estimativa da quantidade de horas de funcionamento do sistema de desinfecção

| Mês | 2016 | 2017 |
|-----|------|------|
| Jan | 3,94 | 3,78 |
| Fev | 3,69 | 4,23 |
| Mar | 3,44 | 2,96 |
| Abr | 3,87 | 2,65 |
| Mai | 2,08 | 2,22 |
| Jun | 2,25 | 2,55 |
| Jul | 3,40 | 3,11 |
| Ago | 3,01 | 2,73 |
| Set | 4,31 | 3,91 |
| Out | 3,06 | 2,96 |
| Nov | 3,73 | 4,04 |
| Dez | 3,49 | 3,42 |

Usando os valores da Tabela 5, chega-se ao volume de água desinfectada pela lâmpada germicida ultravioleta. Para isso são necessários os valores médios de vazão máxima, média e mínima. Multiplicando esses valores, encontra-se o volume de água desinfectada diariamente pelo sistema fotovoltaico isolado, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Estimativa da quantidade diária de água passível de desinfecção (l)
(continua)

| Vazão máxima | | | vazão média | | | vazão mínima | | |
|--------------|-------|-------|-------------|-------|-------|--------------|------|------|
| Mês | 2016 | 2017 | Mês | 2016 | 2017 | Mês | 2016 | 2017 |
| Jan | 579,1 | 557,9 | Jan | 340,4 | 326,5 | Jan | 85,1 | 81,6 |
| Fev | 544,6 | 624,3 | Fev | 318,8 | 365,4 | Fev | 79,7 | 91,3 |
| Mar | 507,7 | 436,8 | Mar | 297,2 | 255,7 | Mar | 74,3 | 63,9 |
| Abr | 571,2 | 391,1 | Abr | 334,3 | 228,9 | Abr | 83,5 | 57,2 |
| Mai | 307,0 | 327,6 | Mai | 179,7 | 191,8 | Mai | 44,9 | 47,9 |
| Jun | 332,1 | 376,3 | Jun | 194,4 | 220,3 | Jun | 48,6 | 55,0 |

(continuação)

| Vazão máxima | | | vazão média | | vazão mínima | | | |
|--------------|-------|-------|-------------|-------|--------------|-----|------|------|
| Jul | 501,8 | 459,0 | Jul | 293,7 | 268,7 | Jul | 73,4 | 67,1 |
| Ago | 444,2 | 402,9 | Ago | 260,0 | 235,8 | Ago | 65,0 | 58,9 |
| Set | 636,1 | 577,1 | Set | 372,3 | 377,8 | Set | 93,0 | 84,4 |
| Out | 451,6 | 436,8 | Out | 264,3 | 255,7 | Out | 66,0 | 63,9 |
| Nov | 550,5 | 596,3 | Nov | 322,2 | 349,0 | Nov | 80,5 | 87,2 |
| Dez | 515,1 | 504,7 | Dez | 301,5 | 295,4 | Dez | 75,3 | 73,8 |

Calculou-se o volume de água da chuva que poderia ser desinfectada, usando os valores reais de precipitação mensal ao longo do ano na cidade de Curitiba, disponíveis na Figura 26.

Primeiro, calculou-se a área de escoamento do telhado, nesse caso, foi de aproximadamente 105 m², e assim multiplicou-se pelos valores de pluviosidade mensal, descritos na Figura 26, obtendo-se os valores em litros por mês, devendo-se chegar ao resultado em litros por dia. Esses valores estão ilustrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de pluviometria por dia (l)

| Mês | 2016 | 2017 |
|-----|--------|-------|
| Jan | 609,6 | 711,2 |
| Fev | 1200,0 | 337,5 |
| Mar | 338,7 | 169,3 |
| Abr | 490,0 | 262,5 |
| Mai | 541,9 | 372,5 |
| Jun | 420,0 | 630,0 |
| Jul | 406,4 | 33,8 |
| Ago | 575,8 | 338,7 |
| Set | 315,0 | 140,0 |
| Out | 609,6 | 779,0 |
| Nov | 385,0 | 490,0 |
| Dez | 270,9 | 575,8 |

Na Tabela 7 fica evidente que o volume de água varia ao longo do ano. No ano de 2017, o mês com o menor índice de pluviosidade foi em julho, disponibilizando aproximadamente 34 litros de água por dia, sendo impossível o uso nos vasos sanitários, em uma residência de até 4 pessoas, pois vasos sanitários gastam em média 10 litros de

água a cada acionamento da descarga (SANEPAR, 2018). Porém, o mês de julho pode ser descrito como um mês atípico comparando-se com os outros meses do ano, tanto de 2016, quanto de 2017.

O mês de maior precipitação em 2017 foi outubro, com aproximadamente 779 litros de água diários, obtendo valores acima do consumo diário de uma família, pois uma casa residencial popular com até quatro pessoas, consomem em média 600 litros de água por dia, destes cerca de 30 a 40% são referentes a descarga de vasos sanitários. Segundo a SANEPAR (2018) os valores podem chegar a 50% dependendo do modelo de acionamento da descarga.

Comparando a Tabela 6, referente à quantidade diária de água passível de desinfecção (l), e a Tabela 7 com os valores de pluviometria por dia (l), demonstra que o volume de água disponível é superior na maioria dos meses do ano para as vazões média e mínima usadas na pesquisa. Porém, os valores de água desinfetada pela vazão mínima não supriria os vasos sanitários, que é a finalidade dessa pesquisa. Já os valores encontrados para vazão média e máxima seriam viáveis para o funcionamento e o objetivo do trabalho, em um cenário com até quatro pessoas.

Durante os dois últimos anos houve variações de precipitação de chuva nas estações do ano, entretanto, pode-se concluir que no verão os índices de pluviosidade são mais elevados, além disso, são os meses de maior irradiação solar, sendo o melhor período de funcionamento do sistema.

Em regiões remotas, onde não há acesso a água esse sistema seria factível, principalmente em algumas regiões do Norte do Brasil onde os índices de precipitação são mais elevados, e ainda, nas regiões de menor precipitação como o Nordeste do país, esse sistema poderia mitigar as adversidades causadas pela falta de recursos hídricos.

Para a utilização da água para consumo humano, um tratamento secundário utilizando a instalação de um filtro com meio filtrante de areia ou carvão ativado, antes do sistema de desinfecção, reteria com maior propriedade os sólidos obtendo uma melhora na qualidade da água, podendo ser possível o seu uso para fins potáveis. Entretanto, seria necessário análises de 93 parâmetros estabelecidos pela portaria 2914 de 2011 do Ministério da Saúde.

No Brasil o uso de água para o consumo humano é permitido apenas se atender a todos os critérios estabelecidos pela legislação, isso normalmente ocorre através das

empresas de abastecimento. Entretanto, algumas regiões do país não têm acesso a nenhuma rede de distribuição de água, fazendo desse sistema uma solução viável.

Esse sistema também seria útil para essas regiões isoladas que não possuem acesso à energia elétrica, pois a energia oriunda do sistema fotovoltaico isolado armazena a radiação solar em um banco de baterias, tornando-se autossuficiente.

Na cidade de Curitiba esse sistema de desinfecção de água minimizaria o uso de água potável em locais dispensáveis como vasos sanitários, lavagem de calçada e irrigação de jardins. Como na cidade há linhas de transmissão de energia elétrica o uso de um sistema fotovoltaico conectado à rede seria viável.

4.4 Parâmetros analisados

Os resultados para os parâmetros analisados iniciaram em junho, findando-se em dezembro de 2017. Durante esse período uma análise de coliformes com valores de entrada e saída do sistema de desinfecção foi realizada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). A média entre os valores obtidos nas 13 análises realizadas no laboratório da UTFPR e a análise efetuada na SANEPAR estão demonstrados na Tabela 8 e 9 respectivamente.

Tabela 8 – Média entre as análises de água realizada no laboratório da UTFPR

| Parâmetros | Cisterna | Vazão Máxima | Vazão Média | Vazão Mínima |
|--|----------|--------------|-------------|--------------|
| Vazão (l/s) | | 0,041 | 0,024 | 0,006 |
| Turbidez (UT) | 2,24 | 1,76 | 1,87 | 1,93 |
| Cor (uH) | 19,29 | 14,71 | 14,38 | 10,56 |
| pH | 6,60 | 6,52 | 6,55 | 6,49 |
| Temperatura (°C) | 21,3 | 21,6 | 21,4 | 21,4 |
| Sól. Totais Suspensos (mg.l ⁻¹) | 16,6 | 9,14 | 7,15 | 4,92 |
| Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml) | Ausentes | Ausentes | Ausentes | Ausentes |
| Coliformes Totais NMP/100 mL | 280 | 54 | 0 | 0 |

Tabela 9– Análise de coliformes totais e termotolerantes realizada na SANEPAR

| Parâmetros | Cisterna | Vazão Máxima |
|----------------------------|-----------------|---------------------|
| Coliformes Totais | 308 NMP/100 MI | 8 NMP/100 ml |
| Coliformes Termotolerantes | < 1 NMP/100MI | < 1NMP/100 ml |

Os resultados realizados no laboratório da UTFPR, expressa que a vazão está diretamente relacionada a qualidade da água. Quanto menor for a quantidade de água percolando pelo sistema de desinfecção, maior será o tempo de exposição a lâmpada UV e conseqüentemente melhor será a eficiência do sistema.

Durante a coleta de algumas amostras, os valores dos parâmetros da vazão máxima se encontraram menores que as demais vazões. Isso pode ser explicado com base nas coletas, onde alguma vezes iniciou-se pela vazão máxima. Possivelmente, a água que já se encontrava no tubo, juntamente com a lâmpada UV sendo coletada e destinada com a vazão máxima. Contudo, fazendo a média entre todas as coletas e analisando todos os parâmetros, pode se constatar que não houve alterações significativas nos parâmetros de turbidez, cor, pH e temperatura em todas as vazões. Parâmetros como pH e temperatura não interferem na eficiência da desinfecção UV (DANIEL *et al.*, 2001).

A turbidez é muitas vezes usada para representar a presença de partículas em água, sendo um importante parâmetro de qualidade da água no tratamento tanto de água para fins não potáveis, quanto para consumo humano. Essas partículas podem ser sólidos inorgânicos (silte, areia ou argila) e matéria orgânica (algas, bactérias e etc.) (NADDEO *et al.*, 2013). A matéria orgânica presente em águas pluviais é proveniente de fezes de animais, folhas, musgos e líquens que estão presentes no momento da coleta. Para a redução da turbidez da água da chuva o uso de um dispositivo de descarte dos primeiros milímetros de chuva é essencial e nessa pesquisa foi aplicado um filtro de descarte, eliminando a fração mais poluente da água, o que possivelmente melhorou os valores de turbidez.

Os parâmetros que obtiveram mudanças entre a água da cisterna e das três vazões diferentes, foram sólidos totais suspensos, com uma melhora de 45%, 57% e 70% para as vazões máxima, média e mínima, respectivamente. Sólidos suspensos totais limitam o nível de desinfecção que se pode atingir uma vez que os microrganismos podem ficar

na “sombra” ou serem incorporados nestas partículas, e, em ambos os casos, não ficarem expostos à radiação UV (SCARPELINI; MEYER, 2017).

Já para os coliformes totais, a eficiência do sistema foi de 80% para a vazão máxima e de 100% nas vazões média e mínima, referente a água bruta (cisterna).

Em pesquisas usando lâmpada UV como a de Arantes e Lippmann (2012), os autores utilizaram vazões de 2,0 a 9,9 L/minutos, similares aos valores dessa pesquisa, para determinar a qualidade da água de um sistema de desinfecção ultravioleta, alcançando a eficiência de 99%, 98,7% e 98,3% respectivamente, para coliformes totais e *Escherichia Coli*.

No trabalho de Nascimento *et al.* (2012) foi utilizado um sistema de desinfecção ultravioleta em águas fluviais, com valores de turbidez entre 30 a 45 UT e vazões de 5 a 10 L/min, chegando a valores de 99% de eficiência para coliformes. Por outro lado, a pesquisa de Wisbeck *et al.* (2011) foi realizada com água da chuva e verificou-se a eficiência da desinfecção de precipitação direta e de escoamento no telhado por radiação ultravioleta com a inativação de 100% dos coliformes totais e dos coliformes termotolerantes e o não recrescimento desses microrganismos em amostras tratadas e estocadas por até 72 horas.

A análise de coliformes totais e termotolerantes da cisterna e vazão máxima realizada no laboratório da SANEPAR, obteve valores de 97,4% de eficiência, um resultado melhor que o realizado no laboratório da UTFPR, para os mesmos pontos. Embora o método usado no laboratório da SANEPAR seja distinto do utilizado pela UTFPR, fica evidente a eficiência da lâmpada UV e o desempenho do sistema como um todo.

Comparando os resultados das 13 análises no laboratório da UTFPR com os parâmetros de qualidade de água da chuva estabelecidos pela ABNT na NBR 15.527/2007, chegou-se nos valores descritos na Tabela 10.

Tabela 10 – Comparação entre a NBR 15.527/2007 de qualidade da água da chuva e a média da água de chuva analisada nesta pesquisa.

| Parâmetros | NBR | UTFPR | | |
|--------------------|---------------|-------|-------|-------|
| | 15527/2007 | Máx | Méd | Mín |
| | < 2,0 e < 5,0 | | | |
| Turbidez | 5,0 | 1,76 | 1,87 | 1,93 |
| pH | 6 a 8 | 6,52 | 6,55 | 6,49 |
| Cor uH | < 15 | 14,71 | 14,38 | 10,56 |
| SD mg/L | | 9,14 | 7,15 | 4,92 |
| Col. To NMP/100m/L | - | 54 | 0 | 0 |
| Col. Te NMP/100m/L | - | 0 | 0 | 0 |

Os dados observados na Tabela 10 demonstram que os valores da vazão média e mínima estão de acordo com os padrões estabelecidos pela NBR 15527 de 2007. Os valores da vazão máxima não se encontraram dentro dos padrões devido ao parâmetro de coliformes totais.

4.5 Economia gerada pelo sistema em uma residência familiar padrão

O consumo de água potável no país é de 154,0 litros por habitante ao dia, de acordo com pesquisa divulgada pelo Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), do Ministério das Cidades (2015).

Deste volume mais da metade é gasto em bacias sanitárias, no banho, para lavar o rosto e escovar os dentes. Contudo, o gasto pode ser ainda maior, caso o vaso sanitário esteja com a válvula defeituosa, com isso o gasto que é em torno de 12 litros, poderia chegar à 30 litros. Ao tomar um banho de 15 minutos em um chuveiro elétrico são gastos 45 litros, chegando a 135 litros se o chuveiro for ducha (SABESP, 2018).

Esses valores variam de acordo com a região e renda familiar. Na Tabela 11, são apresentados os volumes médios de água potável gastos por uma residência de uma família padrão (um casal e dois filhos) por dia em cada atividade.

Tabela 11 – Demanda de água diária para uma família padrão

| Atividade | Consumo diário (l) |
|---|---------------------------|
| Beber e cozinhar | 72 |
| Vaso sanitário com válvula de acionamento | 240 |
| Vaso sanitário com caixa acoplada | 120 |
| Banho | 180 |
| Lavar roupa | 19 |
| Lavar louça | 60 |
| Lavar calçada | 40 |

Fonte: Adaptado da SABESP (2018).

Para se chegar aos valores de consumo diário da Tabela 11, considerou-se que cada pessoa acione em média 5 vezes por dia a descarga do vaso sanitário, tome banho uma vez por dia com duração de 15 min, e a lavagem da roupa e da calçada seja realizada uma vez por semana. Assim, o consumo médio mensal seria de 14.730 litros para residências que possuem vaso sanitário com caixa acoplada e 18.330 litros para residências que possuem vaso sanitário com válvula de acionamento.

Com o sistema de desinfecção UV, economizaria mensalmente 4.480 a 7.840 litros de água, uma economia de 30 a 42% utilizando apenas nos vasos sanitários e lavagem de calçada.

A Tabela 11 demonstrou valores médios para o uso dos vasos sanitários em uma residência de até quatro pessoas e comparando com os cálculos realizados nessa pesquisa a vazão mínima não supriria os objetivos dessa pesquisa, pois em meses de maior precipitação os valores dessa vazão são de cerca de 80 litros por dia, sendo seu uso inviável.

5 CONCLUSÕES

No Brasil os sistemas de captação de água não possuem uma legislação uniforme, existindo Estados e Municípios com leis próprias e alguns locais não há nenhuma forma de lei.

O sistema de desinfecção instalado no Escritório Verde da UTFPR, demonstrou uma melhor eficiência na qualidade de água para as vazões média e mínima, devido à ausência de coliformes. Esse resultado deve-se ao tempo de exposição com a lâmpada UV ser mais lento se comparado a vazão máxima.

O tratamento proposto para a água da chuva através da radiação ultravioleta atende as diretrizes da NBR 15517/2007 para usos não potáveis da água da chuva, para as vazões média e mínima. A exceção para que a vazão máxima não se encaixa nos parâmetros determinados pela resolução e pela norma está nos valores de coliformes totais, ficando acima do estabelecido.

No que se refere a disponibilidade de litros de água que poderia ser desinfectada diariamente pelo sistema fotovoltaico isolado, com o volume de água passível de desinfecção de acordo com as vazões estudadas, pode-se concluir que o volume de água disponível é superior na maior parte do ano para as três vazões usadas na pesquisa. Porém, os valores de água desinfectada pela vazão mínima não supriria os vasos sanitários em um ambiente com até quatro pessoas, mas seria viável na vazão média e máxima.

Os resultados de irradiação solar mostraram que as horas de funcionamento do painel fotovoltaico isolado nos últimos dois anos foi adequado para o sistema de desinfecção UV. Entretanto a quantidade de horas está atrelada a quantidade diária passível de desinfecção de água no EV, e nesse caso seria factível apenas nas vazões máxima e média. Essas vazões abasteceriam os vasos sanitários e as torneiras externas na maioria dos meses ao longo do ano.

Dessa forma, conclui-se que o sistema proposto para coleta, armazenamento e desinfecção da água da chuva ligado a energia fotovoltaica, seja eficiente aos objetivos mencionados, podendo se tornar uma importante fonte de economia de água em áreas urbanas e podendo ser uma fonte de abastecimento de água em áreas remotas.

6 RECOMENDAÇÕES

- Avaliar a vida útil das lâmpadas UV no processo de desinfecção;
- Instalar um filtro para reter os sólidos antes da água passar pela lâmpada UV;
- Avaliar a presença de metais pesados e outros compostos dissolvidos na água da chuva escoada do telhado e após o tratamento;
- Realizar diferentes análises de água para saber se é possível sua utilização para fins potáveis;
- Realizar análises estatística.

REFERÊNCIAS

AHMED, W. HODGERS, L; SIDHU, J.P; TOZE, S. Fecal Indicators and Zoonotic Pathogens in Household Drinking Water Taps Fed from Rainwater Tanks in Southeast Queensland, Australia. **Applied and Environmental Microbiology**, [s.l.], v. 78, n. 1, p.219-226, 21 out. 2011. American Society for Microbiology. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.06554-11>.

AHMED, A.; MUDNAL, M., Z.; KUMAR, S.; SHIVAPPA. **Solar powered lake and pond aeration system**. 2017. 73 f. Monography - Course of Mechanical Engineering, Visvesvaraya Technological University, Belagavi, 2017.

AMIN, M.t.; HAN, M.y.. Improvement of solar based rainwater disinfection by using lemon and vinegar as catalysts. **Desalination**, [s.l.], v. 276, n. 1-3, p.416-424, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.03.076>.

AMOS, C. C.; RAHMAN, A.; GATHENYA, J. M.. Economic Analysis and Feasibility of Rainwater Harvesting Systems in Urban and Peri-Urban Environments: A Review of the Global Situation with a Special Focus on Australia and Kenya. **Water**, [s.l.], v. 8, n. 4, p.149-149, 14 abr. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w8040149>.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2014**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2014. p.103. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informes2014.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2016**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2014. p.97. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf>>. Acesso em: 27 dez. 2017.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington, D.c: American Public Health Association, 2012.

ARANTES, F. A.; LIPPMANN, F. C.. **Desinfecção de água por lâmpadas ultravioleta a partir de energia solar fotovoltaica sem utilização de baterias**. 2011. 94f. Monografia - Curso de Engenharia Industrial Elétrica Ênfase em Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Programa Um Milhão de Cisternas**. 2017. Disponível em: <<http://www.asabrazil.org.br/acoes/p1mc>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

ASSAYED, A.; HATOKAY, Z.; AL-ZOUBI, S.; AZZAM, S.; QBAILAT, M.; AL-ULAYYAN, A.; SALEEM, A.; BUSHNAQ, S.; MARONI, R.. On-site rainwater harvesting to achieve household water security among rural and peri-urban communities in Jordan. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l.], v. 73, p.72-77, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.010>.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR nº 10844. **Instalações Prediais de Águas Pluviais**. Rio de Janeiro, 1989. Disponível em: <<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxIZm9uYXBiy2V0ZWZIZGImaWNhY29lc3xneDoxZmZjZjc5OGewM2JjMDRI>>. Acesso em: 16 mai. 2017.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR nº 15527. **Água de Chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis** Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-15.527-Aproveitamento-água-da-chuva.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

BASTOS, P. F.. **Tratamento de água da chuva através de filtração lenta e desinfecção UV**. 2007. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/3878/1/tese_2637_Fernanda_Dissertação_completa.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2017.

BATES BC, KUNDZEWICZ ZW, WU S, PALUTIKOF JP. **Climate change and water**. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change. Geneva: IPCC Secretariat; 2008, 210 pp.

BERTOLO, E.; DE J.; P.. **Aproveitamento da Água da Chuva em Edificações**. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos de grau de mestre em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2006.

BRANCO, S. M.; PORTO, R. L.. **Hidrologia Ambiental**. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1991. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos). Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

BRASIL. Decreto nº 24643, de julho de 1934. Disposições sobre o código de águas. **Diário oficial de Brasília**, Brasília, 10 jun.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2914, de 14 de dezembro de 2011. **Normas e Padrão de Potabilidade da água Destinada Ao Consumo Humano**. Brasília: Diário Oficial, 14 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/portarias/portaria-no-2914-de-12-de-dezembro-de-2011/view>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

CARDOSO, A. O.. **Relações entre a TSM nos oceanos Atlântico e Pacífico e as condições climáticas nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <ftp://iag.usp.br/private/adm/katia/teses/aca/d_andrea_o_cardoso.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2017.

CARVALHO, D. R.; FORTUNATO, J. N.; VILELA, A. F.; BADARÓ, A. C. L.. Avaliação da qualidade físico-química e microbiológica da água de um campus universitário de Ipatinga - MG. **Nutrir Gerais: Revista Digital de Nutrição**, Ipatinga, v. 3, n. 5, p.417-427, ago/dez. 2009. Semestral. Disponível em: <https://www.unilestemg.br/nutrirgerais/downloads/artigos/5_edicao/Artigo_avaliacao_da_qualidade_fisico-quimica.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2017.

CERA, J.C.; FERRAZ, S.T.E.. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 30, n. 1, p.81-88, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130588>.

CHEVREMONT, A.C.; BOUDENNE, J.L.; COULOMB, B.; FARNET, A.M.. Impact of watering with UV-LED-treated wastewater on microbial and physico-chemical parameters of soil. **Water Research**, [s.l.], v. 47, n. 6, p.1971-1982, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.01.006>.

CLOSE, J.; IP, J.; LAM, K. H.. Water recycling with PV-powered UV-LED disinfection. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 31, n. 11, p.1657-1664, set. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2005.08.034>.

CURITIBA. (Municipal) Lei nº 10785, de 18 de setembro de 2003. **Dispõe sobre conservação e uso racional da água nas edificações.** Diário oficial do município de Curitiba, PR, 18 set. 2003. Disponível em:><https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/lei-ordinaria/2003/1078/10785/lei-ordinaria-n-10785-2003-cria-no-municipio-de-curitiba-o-programa-de-conservacao-e-uso-razional-da-agua-nas-edificacoes-purac><. Acesso em: 18 mai. 2017.

DANIEL, L. A.. **Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável.** São Carlos: 2001. 149 p. (Publicação do Programa em Saneamento Básico (PROSAB) instituições participantes EESC-USP, UFRGS, UnB, Unicamp, UFMG).

DARO UV SYSTEMS. **Specialist in WRAS approved UV water treatment products manufactured in the UK.** Disponível em: ><http://www.uvwatertreatment.co.uk/>< Acesso em 18 jan. 2018.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A., Di B.. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005.

FEITOSA, F. A. C.; M. FILHO, J.. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 2. ed. Fortaleza: CPRM, 2000.

FIRPO, A. F. M.. **Influência remota da TSM dos oceanos pacífico e atlântico e da oscilação antártica na variabilidade climática interanual no rio grande do sul e suas inter-relações.** 2012. 237 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/09.19.19.14/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

FURUMAI, H.. Rainwater and reclaimed wastewater for sustainable urban water use. **Physics And Chemistry Of The Earth, Parts A/b/c**, [s.l.], v. 33, n. 5, p.340-346, 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.029>.

GHISI, E.; FERREIRA, D. F.. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, [s.l.], v. 42, n. 7, p.2512-2522, jul. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.019>.

GREEN, M. A.. **Solar cells**: operating principles, technology and system applications. Kensington: Englewood Cliffs, Nj, Prentice-hall, Inc., 1998. 269 p. (Prentice-Hall series in solid state physical electronics).

GREGORY, C.. **Solar Energy for Beginners**: The Complete Guide to Solar Power Systems, Panels & Cells. [s.i.]: Loco Media, 2015. 40 p. (Kindle Edition).

HASHIM, H.; HUDZORI, A.; YUSOP, Z.; HO, W. S.. Simulation based programming for optimization of large-scale rainwater harvesting system: Malaysia case study. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l.], v. 80, p.1-9, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.001>.

HIJNEN, W.A.M., BEERENDONK, E. F., MEDEMA, G. J.. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. **Water Reserch**, v.40, p.3-22, 2006.

IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná**. 2017. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=595>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

INMET. **Precipitação na cidade de Curitiba**. 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_iframe.php?codEst=A807&mesAno=2016> Acesso em: 30 mai. 2017.

INMET. **Precipitação na cidade de Curitiba**. 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_iframe.php?codEst=A807&mesAno=2017> Acesso em: 03 jan. 2018.

INPA. **Desinfecção solar de água**. 2011. Disponível em ><http://tecnologiasocial.fbb.org.br/tecnologiasocial/banco-de-tecnologias-sociais/pesquisar-tecnologias/desinfeccao-solar-de-agua.htm>< Acesso em: 18 jan. 2018.

KEYSER, M.; MÜLLER, A. I.; CILLIERS, P. F.; NEL, W.; GOUWS, A. P.. Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s.l.], v. 9, n. 3, p.348-354, jul. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2007.09.002>.

KOWALSKI, W.. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. **Springer-verlag Berlin Heidelberg**, [s.l.], n. 1, p.501-502, jan. 2009. Springer Berlin Heidelberg. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-01999-9>.

LEE, E. K.; MOKHTAR, M.; HANAFIAH, M. M.; HALIM, A. A.; BADUSAH, J.. Rainwater harvesting as an alternative water resource in Malaysia: potential, policies and development. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 126, p.218-222, jul. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.060>.

LEE Y. J.; BAK G.; HAN M.. Quality of roof-harvested rainwater – Comparison of different roofing materials. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 162, p.422-429, mar. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.005>.

LEE, Y. J.; YANG, J. –S.; HAN, M.; CHOI, J.. Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 408, n. 4, p.896-905, jan. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.11.001>.

LI Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. **Desalination**, [s.l.], v. 260, n. 1-3, p.1-8, set. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.035>.

LIM, K.Y.; JIANG, S.C.. Reevaluation of health risk benchmark for sustainable water practice through risk analysis of rooftop-harvested rainwater. **Water Research**, [s.l.], v. 47, n. 20, p.7273-7286, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.059>.

MIKHAILOVA, I. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, n. 16, p. 22-41, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Construção Sustentável**. 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/construção-sustentável>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

MO, K. C.; WHITE, G. H.. Teleconnections in the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, [s.l.], v. 113, n. 1, p.22-37, jan. 1985. American Meteorological Society. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1985\)113<0202:0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1985)113<0202:0.CO;2).

MONTOYA, M. G.; MARTÍNEZ, A. B.; RIVERA, F. N.; GONZÁLEZ, S. M.; ORTEGA, P. J. M.; EL-HALWAGI, M.. Simultaneous design of water reusing and rainwater harvesting systems in a residential complex. **Computers & Chemical Engineering**, [s.l.], v. 76, p.104-116, mai. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.02.011>.

MUTHUKUMARAN, S.; BASKARAN, K., SEXTON, N.. Quantification of potable water savings by residential water conservation and reuse – A case study. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l.], v. 55, n. 11, p.945-952, set. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.04.013>.

NADDEO, V.; SCANNAPIECO, D.; BELGIORNO, V.. Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 498, p.287-291, ago. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.012>.

NASCIMENTO, R. L.; GUARNIERI, M. V.; RUTHER, R.; URBANETZ JUNIOR, J.. Água limpa solar: desinfecção ultravioleta de água para consumo através de sistema de baixo custo utilizando energia solar fotovoltaica. **IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES**. São Paulo, 18 a 21 de set. 2012.

NASCIMENTO JUNIOR, L.; SANTÁNNIA NETO, J. L.. Contribuição aos estudos da precipitação no estado do paraná: a oscila o decadal do pacífico - odp. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, [s.l.], v. 35, p.314-343, 3 abr. 2016. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v35i0.42048>.

ONU. The United Nations World Water Development Report 2014. **Water for a sustainable world**. Disponível em:><http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002257/225741E.pdf><. Acesso em: 10 mai. 2017.

ONU. The United Nations World Water Development Report 2015. **Water for a sustainable world**. Disponível em:><http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf><. Acesso em: 10 mai. 2017.

PACHECO, P.R.C.; G MEZ, Y.D.; OLIVEIRA, I. F.; TEIXEIRA, L.C.G.. A view of the legislative scenario for rainwater harvesting in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 141, p.290-294, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.097>.

PATEL, MUKUND R. **Wind and solar power systems: design, analysis, and operation.** 2 ed. Florida, Estados Unidos: CRC Press, 2006.

PALTRIDGE, G. W., PLATT, C. M. R. **Radiative processes in meteorology and climatology.** 6th ed. Amsterdam: Elsevier, 1976. 318 p.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A.; Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). CEPEL - GTES. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, 2014, 529 p.

PORTAL SOLAR. **Como funciona um painel solar fotovoltaico.** 2017. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

RIO DE JANEIRO. (Municipal). Lei nº 4393, de 16 de setembro de 2004. **Dispõe sobre a obrigatoriedade das empresas projetistas e de construção civil a prover os imóveis residenciais e comerciais de dispositivo para captação de águas da chuva e dá outras providências.** Diário oficial do Estado do Rio de Janeiro, RJ, 17 set. 2004. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/bc008ecb13dcfc6e03256827006dbbf5/019d11e38526336083256f120063f8af?OpenDocument>>. Acesso em: 18 mai. 2017.

RIO DE JANEIRO. (Estadual). Lei 7307, de 10 de junho de 2016. **Dispõe sobre a utilização de energia solar e captação de água da chuva, em arenas e estádios esportivos, no Estado do Rio de Janeiro.** Diário oficial do Estado do Rio de Janeiro, RJ, 15 jul. 2016. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/contlei.nsf/e9589b9aabd9cac8032564fe0065abb4/cf51512299d3ae2783257fd200587c73?OpenDocument>>. Acesso em: 18 mai. 2017.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil.** 1 ed. Florianópolis: UFSC/LABSOLAR, 2004.

RÜTHER, R.; SALAMONI, I.. **O potencial dos setores urbanos brasileiros para a geração de energia solar fotovoltaica de forma integrada às edificações.** Mudanças climáticas e o impacto das cidades, v.4, n.1, 2011.

RYAN A. M.; SPASH, C.L.; MEASHAM, T.G.. Socio-economic and psychological predictors of domestic greywater and rainwater collection: Evidence from Australia. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 379, n. 1-2, p.164-171, dez. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.10.002>.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Dicas e testes**. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=184>< Acesso em: 19 jan. 2018.

SACHS, I. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002. p.96.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. **Economia**. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/informacoes/economia>< Acesso em: 19 jan. 2018.

SANTOS, A. dos; PEREIRA, J. V. I.; ZACAR, C. R. H.; COSTA JUNIOR, J.; DE JESUS, V.; ENRICONI, A. **Coleta de água de chuva: identificação de oportunidades de inovação através do Design**. 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 2010.

SÃO PAULO. (Estadual). Lei nº 12.526, DE 02/01/2007. **Estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais**. Diário oficial do Estado de São Paulo, SP, 03 jan. 2007. Disponível em:< <https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=69472><. Acesso em: 18 mai. 2017.

SÃO PAULO. (Municipal). Lei nº 13.276, de 04 de janeiro de 2002. **Dispõe sobre reservatório de detenção**. Diário oficial do município de São Paulo, SP, 05 jan. 2002. Disponível em:> http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_calculoshidraulicos/capitulo20.pdf<. Acesso em: 18 mai. 2017.

SAZAKLI, E.; ALEXOPOULOS, A.; LEOTSINIDIS, M.. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. **Water Research**, [s.l.], v. 41, n. 9, p.2039-2047, mai. 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.037>.

SCARPELINI, L. M.; MEYER, K.. **Desinfecção por ultravioleta: uma tecnologia verde e energeticamente eficiente de desinfecção de água**. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. São Paulo, 2017.

SHAHEED, R.; WAN MOHTAR, W. H. M.; EL-SHAFIE, A.. Ensuring water security by utilizing roof-harvested rainwater and lake water treated with a low-cost integrated adsorption-filtration system. **Water Science and Engineering**. v.10, p.115-124, apr. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2017.05.002>

SILVA, F. A.. **Aproveitamento da água da chuva após tratamento por filtração ascendente e radiação ultravioleta**. 2015. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, Paraná. 2015.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**.2015. Disponível em:
><http://www.cidades.gov.br/ultimas-noticias/5142-diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos>< Acesso em: 19 jan. 2018.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONÇALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R.S.; ALVES, A.R. **Atlas de energia solar do Estado do Paraná**. Curitiba, 2017.

TINÔCO, D. J.; **Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica**. 2011. 229 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo. 2011.

THOMAS, R. B.; KIRISITS, M. J.; LYE, D. J.; KINNEY, K. A..Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices. **Journal of Cleaner Production**, v.75, p.166-173, 15 Jul. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.073>

UMAPATHI, S., CHONG, M.N., SHARMA, A. K.. Evaluation of plumbed rainwater tanks in households for sustainable water resource management: a real-time monitoring study. **J. Clean. Prod.** 42, 204-214. 2013.

UNESCO. **The United Nations World Water Development Report 3: water in a changing world**. 2009. Disponível em:>
<http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001819/181993e.pdf><. Acesso em 10 mai. 2017.

URBANETZ JUNIOR, J.. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade.** 2010. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis-SC, 2010.

VARGAS-PARRA, M., VIOLETA; V., G.; GABARRELL, X.. Applying exergy analysis to rainwater harvesting systems to assess resource efficiency. **Resources, Conservation and Recycling**, v.72, p. 50– 59, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.12.008>.

VELOSO, N. S. L.; MENDES, R. L. R.. **Aspectos legais do uso da água da chuva no Brasil e a gestão dos recursos hídricos: notas teóricas.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRH – Bento Gonçalves, 2013.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R.. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações - Sistemas Isolados e Conectados à Rede.** São Paulo: Érica, 2012.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Imprensa Universitária da UFMG, 2005. 470 p.

XYLEM. **Ultravioleta:** fundamentos de la tecnología ultravioleta. 2017. Disponível em: <<http://www.xylenwatersolutions.com/scs/spain/es-es/aplicaciones/tratamientoagua/Ultravioleta/FundamentosdelatecnologíaUV/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

WEICHENTHAL, M.; SCHWARZ, T.. Phototherapy: How does UV work?. **Photodermatology, Photoimmunology And Photomedicine**, [s.l.], v. 21, n. 5, p.260-266, out. 2005. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0781.2005.00173.x>

WILBERS, G. J.; SEBESVAVI, Z.; RECHENBURG, A.; RENAUD, G. F.. Effects of local and spatial conditions on the quality of harvested rainwater in the Mekong Delta, Vietnam. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 182, p.225-232, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.019>.

WILSON, B.. **Design and Construction of a Solar Water Purification System Using Ultraviolet Radiation.** 2014. Disponível em: ><http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1145&context=braesp>< Acesso em: 18 jan. 2018.

WISBECK, E.; SANDRI, E. K.; SOARES, A. L. M.; MEDEIROS, S. H. W.. Desinfecção de água de chuva por radiação ultravioleta. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 16, n. 4, p.337-342, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522011000400004>.

WU, C. L.; CHAU, K. W.. Mathematical model of water quality rehabilitation with rainwater utilisation: a case study at Haigang. **International Journal of Environment and Pollution**, [s.l.], v. 28, n. 3/4, p.534-545, 2006. Inderscience Publishers. <http://dx.doi.org/10.1504/ijep.2006.011227>.