



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**IFG CAMPUS GOIÂNIA**  
**MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS**

**Aline Cristina Milhomem Vaz**

**AVALIAÇÃO DE ÁGUA DE REUSO PARA UTILIZAÇÃO EM MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

**Goiânia, 2019.**

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**IFG CAMPUS GOIÂNIA**  
**MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS**

**Aline Cristina Milhomem Vaz**

**AVALIAÇÃO DE ÁGUA DE REUSO PARA UTILIZAÇÃO EM MELHORIA DE  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

Programa de Pós-Graduação stricto sensu em  
Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG  
(PPGTPS- IFG) - Dissertação de Mestrado Pro-  
fissional. Área de Concentração: Tecnologia de  
Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa:  
Energias Renováveis e Engenharia Econômica  
Aplicada.

Orientação: Prof. Dr. Aylton José Alves

Coorientação: Prof. Dr. Sergio B. de Oliveira

**Goiânia, 2019.**

V597a Vaz, Aline Cristina Milhomem.

Avaliação de água de reúso para utilização em melhoria de eficiência energética em painéis fotovoltaicos / Aline Cristina Milhomem Vaz. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2019.

128f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Aylton José Alves.

Coorientador: Prof. Dr. Sérgio B. de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Coordenação do Programa de Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Energia solar. 2. Água de reúso. 3. Eficiência energética. 4. Painéis fotovoltaicos. I. Alves, Aylton José (orientador). II. Oliveira, Sérgio B. de (coorientador). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. IV. Título.

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO  
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese  | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação                      | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação                             | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |   |

Nome Completo do(a) Autor(a): **ALINE CRISTINA MILHOMEM VAZ**

Matrícula: **20162011140025**

Título do Trabalho: **AVALIAÇÃO DE ÁGUA DE REUSO PARA UTILIZAÇÃO EM MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

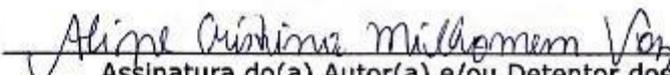
O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

GOIÂNIA, 13 DE SETEMBRO DE 2019.

  
Assinatura do(a) Autor(a) e/ou Detentor dos Direitos Autorais



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**IFG CÂMPUS GOIÂNIA**  
**MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS**

**Aline Cristina Milhomem Vaz**

**“AVALIAÇÃO DE ÁGUA DE REUSO PARA UTILIZAÇÃO EM  
MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PAINÉIS  
FOTOVOLTAICOS”**

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG (PPGTPS - IFG) -  
Dissertação de Mestrado Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa: Energias Renováveis e Engenharia Econômica Aplicada

Prof(a). Dr(a). AYLTON JOSÉ ALVES (presidente e orientador – PPGTPS / IFG)

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). SÉRGIO BOTEELHO DE OLIVEIRA (coorientador – PPGTPS / IFG)

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). MARIA ASSIMA BITTAR GONÇALVES (avaliadora externa – UFG)

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). DAYWES PINHEIRO NETO (avaliador – PPGTPS / IFG)

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof(a). M.e. DOUGLAS PEREIRA DA SILVA PITALUGA (avaliador – IFG)

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). JOÃO AREIS BARBOSA JUNIOR (suplente – IFGOIANO)

Assinatura \_\_\_\_\_

Aprovado em: 13/09/2019

## DEDICATÓRIA

*À Deus, meus familiares, amigos, ao meu orientador e coorientador, pelo apoio, incentivo, dedicação e disponibilidade.*

## AGRADECIMENTOS

*Em primeiro lugar a Deus, pelo seu amor e por me conceder sabedoria e perseverança para concluir esta etapa de minha vida.*

*Aos professores Aylton José Alves e Sérgio Botelho, pelos ensinamentos, dedicação, orientação e disposição durante toda a realização deste trabalho.*

*Ao Instituto Federal de Goiás e ao Núcleo de Estudos e Pesquisas Experimentais e Tecnológicas (NExT), por me proporcionar ensinamentos grandiosos e momentos inesquecíveis.*

*À coordenação do mestrado e aos funcionários desse programa pelo apoio no decorrer do curso.*

*Aos amigos e colegas do mestrado da turma de 2016, bem como da turma de 2017, pelos momentos de convivência, descontração e dicas prestadas.*

*A Rafael, Eberth, Licínio, Ademar, Marianne, Paula, Yuri e Rodrigo por dividirem tantos conhecimentos e por sempre me auxiliarem nos momentos em que precisei.*

*Aos meus familiares e amigos, pelo apoio e paciência, e principalmente, por acreditarem no meu potencial.*

*A todos que contribuíram para que esse trabalho fosse realizado e finalizado.*

*De coração, meus sinceros agradecimentos!*

## EPÍGRAFE

*“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis”. José de Alencar (1829-1877).*

**TÍTULO:** AVALIAÇÃO DE ÁGUA DE REUSO PARA UTILIZAÇÃO EM MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

**AUTOR:** ALINE CRISTINA MILHOMEM VAZ

**ORIENTADOR:** DR. AYLTON JOSÉ ALVES

**COORIENTADOR:** DR. SÉRGIO BOTELHO DE OLIVEIRA

## **RESUMO**

A eficiência de painéis solares fotovoltaicos (PV) pode ser melhorada pelo arrefecimento e uma das formas de realizá-lo é através da aplicação de água na sua superfície, superior ou inferior. Este trabalho se dedica ao estudo do uso de duas fontes de água de reuso para serem utilizadas na melhoria de eficiência energética em PV. Os estudos propostos para a avaliação das águas de reuso foram baseados em: análises quantitativas e qualitativas, em dois tipos de efluentes: (i) efluente proveniente de tratamento anaeróbio de uma indústria alimentícia, latifúndio; (ii) efluente proveniente de tratamento biológico, Sistema *Wetland* Construído (WC), para tratamento de água cinza, em unidade residencial. As análises quantitativas consistiram, principalmente, em: análises físico-químicas das amostras dos dois efluentes, de acordo com as normas brasileiras; e análise dos parâmetros elétricos de melhoria de eficiência dos PV arrefecidos, em comparação com outros semelhantes, sem sistema de arrefecimento. As análises qualitativas basearam-se, especificamente, quanto às observações da presença ou não de: corrosão, incrustação ou embaçamento nos PV arrefecidos. Do ponto de vista das análises físico-químicas, que compreenderam basicamente os elementos de pH, Condutividade Elétrica, Alcalinidade, Dureza Total, Fósforo Total, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Cloreto, Ferro, Óleos e Graxas, Turbidez, Sólidos Suspensos Totais e Sólidos Totais Dissolvidos, os dois efluentes atenderam as exigências das normas técnicas brasileiras, com vista ao reuso para fins não potáveis. Em relação aos parâmetros elétricos, as análises demonstraram que as eficiências dos painéis arrefecidos com os efluentes industrial e proveniente das WC, foram acrescidas de 5,30% e 6,51%, respectivamente, em comparação com os painéis não arrefecidos. Das análises qualitativas, não foram observados sinais de corrosões e incrustações nos painéis arrefecidos. Do estudo concluiu-se que esses efluentes podem ser utilizados para arrefecimento de PV, melhorando a sua eficiência energética, podendo ser implementado em grande escala locais que há grande potencial de água de reuso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água de Reuso; Tratamento Anaeróbio; *Wetlands* Construídas, Eficiência Energética; Painéis Fotovoltaicos.

**TITLE:** REUSE WATER EVALUATION FOR USE IN ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT IN PHOTOVOLTAIC PANELS

**AUTHOR:** ALINE CRISTINA MILHOMEM VAZ

**ADVISER:** DR. AYLTON JOSÉ ALVES

**CO-ADVISER:** DR. SÉRGIO BOTELHO DE OLIVEIRA

### **ABSTRACT**

The efficiency of photovoltaic solar panels (PV) can be improved by cooling and one way to do this is by applying water to its top or bottom surface. This work is dedicated to the study of the use of two reused water sources to be used in the improvement of energy efficiency in PV. The proposed studies for the evaluation of reuse waters were based on: quantitative and qualitative analyzes in two types of effluents: (i) effluent from anaerobic treatment of a food industry, dairy; (ii) effluent from biological treatment, Wetland Constructed System (WC), for treatment of gray water, in a residential unit. The quantitative analyzes consisted mainly of: physicochemical analyzes of the samples of the two effluents, according to the Brazilian norms; and analysis of the electrical efficiency improvement parameters of the cooled PV as compared to similar ones without cooling system. Qualitative analyzes were based specifically on observations of whether or not corrosion, fouling or fogging was present in the cooled PV. From the point of view of physicochemical analysis, which basically comprised the elements of pH, Electrical Conductivity, Alkalinity, Total Hardness, Total Phosphorus, Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, Chloride, Iron, Oils and Greases, Turbidity, Solids Total Suspended and Dissolved Total Solids, both effluents met the requirements of Brazilian technical standards with a view to reuse for non-potable purposes. Regarding the electrical parameters, the analyzes showed that the efficiencies of panels cooled with industrial and WC effluent were increased by 5.30% and 6.51%, respectively, compared to uncooled panels. From the qualitative analyzes, no signs of corrosion and scale in the cooled panels were observed. From the study it was concluded that these effluents can be used for PV cooling, improving its energy efficiency and can be implemented in large scale where there is great potential for reuse water.

**KEYWORDS:** Reuse Water; Anaerobic Treatment; Constructed *Wetlands*, Energy Efficiency; Photovoltaic Panels.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz elétrica brasileira, no ano de 2017.....	23
Figura 2 – Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado a $23,5^\circ$ .....	2
Figura 3 – (A) Ilustração dos ângulos $\theta_z$ , $\alpha$ , e $\gamma_s$ , em relação ao plano horizontal; (B) Ilustração da orientação de uma superfície inclinada, em relação ao mesmo plano (ângulos $\beta$ , $\gamma$ , $\gamma_s$ e $\theta$ ).....	25
Figura 4 – Espectro da radiação solar incluindo um detalhamento da faixa visível humana.....	26
Figura 5 – Distribuição percentuais e componentes da radiação global na atmosfera.....	27
Figura 6 – Radiação anual global no planeta Terra.....	28
Figura 7 – Radiação solar total no plano inclinado – Média anual.....	28
Figura 8 – Vista em corte de uma célula fotovoltaica.....	31
Figura 9 – Efeito das ligações em paralelo (A) e série (B) entre células.....	32
Figura 10 – Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	32
Figura 11 – Componentes de um sistema fotovoltaico <i>on-grid</i> .....	33
Figura 12 – (A) Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva I-V; (B) Efeito da variação da temperatura das células sobre a curva I-V.....	34
Figura 13 – Formas potenciais de reuso de água.....	44
Figura 14 – Diagrama simplificado de um biodigestor do tipo canadense.....	59
Figura 15 – Esquema do esgoto doméstico e indicação de possíveis usos para águas cinzas após tratamento.....	61
Figura 16 – Etapas de desenvolvimento do experimento.....	67
Figura 17 – Local de Estudo no IFG (Câmpus Goiânia).....	68
Figura 18 – Localização da estação de tratamento de esgoto experimental.....	69
Figura 19 – Fluxograma da estação de tratamento de esgoto experimental.....	70
Figura 20 – Reservatório de esgoto (A) e vista lateral dos leitos com plantas (B).....	70
Figura 21 – Delineação do protótipo construído para a simulação de um sistema fotovoltaico.....	72
Figura 22 – Dispositivo de prototipagem eletrônica utilizado no estudo.....	73
Figura 23 - Placa <i>Shield</i> desenvolvida para o acionamento de relés.....	73
Figura 24 – Diagrama representativo da planta piloto de geração fotovoltaica.....	74
Figura 25 - Pannel solar utilizado no estudo, marca <i>Komaes Solar</i> , 5 W de potência, 12 V.....	75
Figura 26 – Estrutura montada para aquisição de dados.....	76
Figura 27 – Diagrama representativo da configuração da planta piloto de geração fotovoltaica montada.....	77
Figura 28 – Vista lateral das lâminas de vidro do protótipo construído.....	87
Figura 29 – Oxidante SOS Poder <i>Shock O2 Multclor</i> , utilizado como técnica de limpeza.....	88
Figura 30 – Medidor de energia solar digital, da marca TES-1333 <i>Solar Power Meter</i> .....	88
Figura 31 - Resultado da Irradiância Média nas laminas de vidro.....	89
Figura 32 – Deposição de materiais particulados sobre as chapas de vidros.....	90
Figura 33 – Manchas de cor alaranjada sobre as chapas de vidros.....	91
Figura 34 – Exemplo de conexões metálicas utilizadas no experimento.....	92
Figura 35 – Bomba centrífuga com paletas de metal utilizada no experimento.....	92
Figura 36 – Incrustações nas conexões metálicas utilizadas no experimento.....	93
Figura 37 – Vista da planta piloto de geração fotovoltaica construída e instalada.....	94
Figura 38 – Vista do sistema de monitoramento de dados da planta piloto de geração fotovoltaica.....	95
Figura 39 – Potência gerada pela planta piloto às 10h, com o uso do efluente industrial tratado.....	96
Figura 40 – Potência gerada pela planta piloto às 12h, com o uso do efluente industrial tratado.....	96

Figura 41 – Potência gerada pela planta piloto às 14h, com o uso do efluente industrial tratado.....	97
Figura 42 – Potência gerada pela planta piloto às 16h, com o uso do efluente industrial tratado.....	97
Figura 43– Média diária da potência gerada pela planta piloto, utilizando efluente industrial tratado.....	98
Figura 44 – Efeito da temperatura nos painéis com e sem sistema arrefecimento, utilizando efluente industrial tratado.....	98
Figura 45 – Eficiência de conversão dos módulos fotovoltaicos em função dos dias, utilizando efluente industrial tratado.....	100
Figura 46 – Potência gerada pela planta piloto às 10h, com o uso do efluente doméstico tratado.....	101
Figura 47 – Potência gerada pela planta piloto às 12h, com o uso do efluente doméstico tratado.....	102
Figura 48 – Potência gerada pela planta piloto às 14h, com o uso do efluente doméstico tratado.....	102
Figura 49 – Potência gerada pela planta piloto às 16h, com o uso do efluente doméstico tratado.....	103
Figura 50 – Média diária da potência gerada pela planta piloto, utilizando efluente doméstico tratado.....	103
Figura 51 – Efeito da temperatura nos painéis com e sem sistema arrefecimento, utilizando efluente doméstico tratado.....	104
Figura 52 – Eficiência de conversão dos módulos fotovoltaicos em função dos dias, utilizando efluente doméstico tratado.....	106
Figura 53 – Estado dos PVs no 1° dia do experimento, referentes ao uso do efluente industrial tratado para o grupo controle.....	107
Figura 54 – Estado dos PVs no 1° dia do experimento, referentes ao uso do efluente industrial tratado para o grupo arrefecido.....	107
Figura 55 – Estado dos PVs no 30° dia do experimento, referentes ao uso do efluente industrial tratado para o grupo controle.....	107
Figura 56 – Estado dos PVs no 30° dia do experimento, referentes ao uso do efluente industrial tratado para o grupo arrefecido.....	108
Figura 57 – Estado dos PVs no 1° dia do experimento, referentes ao uso do efluente tratado de uma Wetland doméstica para o grupo controle.....	108
Figura 58 – Estado dos PVs no 1° dia do experimento, referentes ao uso do efluente tratado de uma Wetland doméstica para o grupo arrefecido.....	108
Figura 59 – Estado dos PVs no 30° dia do experimento, referentes ao uso do efluente tratado de uma Wetland doméstica para o grupo controle.....	109
Figura 60 – Estado dos PVs no 30° dia do experimento, referentes ao uso do efluente tratado de uma Wetland doméstica para o grupo arrefecido.....	109

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eficiência das células fotovoltaicas de silício monocristalino, policristalino e amorfo.....	30
Tabela 2 – Parâmetros para reuso de águas residuárias para específicos usos.....	41
Tabela 3 – Classificação de água de reuso.....	46
Tabela 4 – Características dos efluentes gerados em função dos produtos de laticínios.....	55
Tabela 5 – Dados de fabricante do módulo solar em condições padrões.....	75
Tabela 6 - Resultados dos parâmetros físico-químicos da Estação de Tratamento de um Laticínio.....	80
Tabela 7 - Resultados dos parâmetros físico-químicos do Sistema por Zonas de Raízes ( <i>Wetland</i> ).....	83
Tabela 8 - Dados de Potência Média e Temperatura dos PVs com e sem sistema de arrefecimento, utilizando efluente industrial tratado.....	99
Tabela 9 - Dados de Potência Média e Temperatura dos PVs com e sem sistema de arrefecimento, utilizando efluente doméstico tratado.....	104

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das águas de reuso..	45
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens dos Sistemas <i>Wetlands</i> de tratamento de esgotos.....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AM – Massa de Ar  
ANA – Agência Nacional das Águas  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
APHA – *American Public Health Association*  
ASTM – *American Society for Testing and Materials*  
BRM – Biorreatores com membranas  
CA – Corrente Alternada  
CC – Corrente Contínua  
CEPEL – Centro de Pesquisa de Energia Elétrica  
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos  
COEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente  
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente  
CP – Calha Parabólica  
CRESESB – Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito  
CSP – *Concentrating Solar Power*  
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
DS – Disco Solar  
FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura  
GO – Goiás  
hab – Habitante  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IBNET – *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities*  
IEA – *International Energy Agency*  
IEC – *International Electrotechnical Commission*  
IFG – Instituto Federal de Goiás  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
IV - Infravermelho  
MERCOSUL – Mercado Comum do Sul  
MF – Microfiltração  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
MME – Ministério de Minas e Energia  
MPPT – Ponto De Máxima Potência (*Maximum Power Point Tracking*)  
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora  
NEF – *National Energy Foundation*  
NExT – Laboratório do Núcleo de Pesquisa  
NF – Nanofiltração  
NMP – Número Mais Provável  
NREL – *National Renewable Energy Laboratory*  
NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl  
NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez

OG – Óleos e Graxas  
OMS – Organização Mundial da Saúde  
ONU – Organização das Nações Unidas  
OR – Osmose Reversa  
pH – Potencial Hidrogeniônico  
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos  
PV- Painel Solar Fotovoltaico ou Módulo Fotovoltaico  
PVC – Policloreto de Vinila  
RAFA – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente  
REN21 – Relatório da Situação Global das Energias Renováveis  
RF – Refletor Fresnel  
SAC – Sistemas Alagados Construídos  
SES – Secretaria Estadual de Saúde de São Paulo  
SIF – Serviço de Fiscalização Federal  
SMA – Secretaria do Meio Ambiente  
SS – Sólidos suspensos  
SSRH – Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo  
SST – Sólidos Suspensos Totais  
STD – Sólidos Totais Dissolvidos  
TS – Torre Solar  
UE – União Européia  
UF – Ultrafiltração  
USB – Porta Universal (*Universal Serial Bus*)  
USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*U. S. Environmental Protection Agency*)  
UV – Ultra Violeta  
WC – Sistemas *Wetlands* Construídos

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	18
1.1 OBJETIVO GERAL.....	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
<b>CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	22
2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	22
2.2 ENERGIA SOLAR.....	24
2.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	29
2.4 ÁGUA.....	38
2.5 REUSO DE ÁGUA.....	40
2.5.1 <i>Legislação Sobre Reuso</i> .....	41
2.5.2 <i>Tipos de Reuso</i> .....	44
2.5.3 <i>Principais Parâmetros de Controle de Qualidade Para Reuso de Águas</i> .....	47
2.5.4 <i>Reuso de Efluente Industrial - Laticínio</i> .....	52
2.5.5 <i>Reuso de Efluente Doméstico - Águas Cinzas</i> .....	60
<b>CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA</b> .....	67
3.1 LOCAL DE ESTUDO.....	67
3.2 COLETA E ANÁLISES DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA.....	68
3.2.1 <i>Amostras de um Laticínio Próximo a Região</i> .....	69
3.2.2 <i>Amostras do Sistema de Wetland Construído</i> .....	69
3.2.3 <i>Correção das Amostras</i> .....	71
3.3 PROTÓTIPO DE SIMULAÇÃO BASEADO EM LÂMINAS DE VIDRO.....	71
3.3.1 <i>Construção do Protótipo</i> .....	71
3.3.2 <i>Acionamento de Válvulas</i> .....	73
3.3.3 <i>Avaliação e Monitoramento dos Dados</i> .....	74
3.4 CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DA PLANTA PILOTO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	74
3.4.1 <i>Características Técnicas da Planta Piloto de Geração Fotovoltaica e Conexão com a Rede Concessionária de Energia</i> .....	75
3.4.2 <i>Sistemas de Arrefecimento e Bombeamento da Planta Piloto de Geração Fotovoltaica</i> .....	76
3.4.3 <i>Sistema de Aquisição de Dados</i> .....	77
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS</b> .....	80
4.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS EFLUENTES.....	80
4.1.1 <i>Efluente da Estação de Tratamento de um Laticínio Próximo a Região</i> .....	80
4.1.2 <i>Efluente do Sistema Wetland Construído Doméstico</i> .....	83
4.2 RESULTADOS REFERENTES AO PROTÓTIPO DE SIMULAÇÃO BASEADO EM LÂMINAS DE VIDRO.....	87
4.2.1 <i>Construção do Protótipo</i> .....	87
4.2.2 <i>Avaliação e Monitoramento dos Dados</i> .....	88
4.3 RESULTADOS REFERENTES À PLANTA PILOTO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	93
4.3.1 <i>Construção da Planta Piloto</i> .....	93
4.3.2 <i>Avaliação e Monitoramento dos Dados</i> .....	94
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	111
5.1 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO.....	112
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	112
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	114

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

A energia elétrica desempenha um papel indispensável na vida humana e é de suma importância integrá-la no contexto do desenvolvimento sustentável. Em uma sociedade composta por características e problemas sociais, políticos, ambientais e tecnológicos, considera-se uma abordagem totalmente holística e multidisciplinar (REIS, 2011).

Diante da situação ambiental atual do planeta e todas as consequências que ele vem sofrendo devido ao uso dos combustíveis fósseis como fonte de energia, a busca por fontes alternativas na matriz energética, e por combustíveis mais limpos, ganham destaque a níveis mundiais. Uma boa alternativa, atrelada à questão ambiental, é incentivar e fomentar a utilização do sol como fonte de energia primária e renovável (BORGES et al., 2016).

Segundo Reis (2011), um dos sistemas de geração de energia elétrica baseados no uso da energia transmitida à Terra pelo Sol são os sistemas fotovoltaicos, onde ocorrem a conversão direta da energia solar em energia elétrica, por um conjunto de células fotovoltaicas, através da criação de uma corrente elétrica pela radiação solar em materiais semicondutores, e é uma alternativa para as necessidades de energia atuais, sendo totalmente segura.

Entretanto, uma das maiores dificuldades na sua utilização é a baixa eficiência de conversão de energia pelas células fotovoltaicas nesse sistema, que expressa a quantidade de radiação solar convertida em energia elétrica, devido ao aumento da temperatura das células. O aumento dessa temperatura de operação dos painéis leva, em particular, a uma redução na tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) e a um pequeno aumento na corrente de curto-circuito, ocasionando em perdas de potência e de eficiência (HOSSEINI, 2011).

Estudos realizados por Matias et al. (2016) e Santos et al. (2017), no Núcleo de Pesquisa (NEXT) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia De Goiás (IFG), e outros autores (KRAUTER, 2004; ODEH & BEHNIA, 2009; KORDZADEH, 2010; KIM et al., 2011; EVELOYA et al., 2012; TARABSHEH et al., 2013; IRWANA et al., 2015; MATIAS et al., 2016; SANTOS et al., 2017), mostram que a melhoria de eficiência energética pode ser alcançada pela aplicação de um sistema de arrefecimento em painéis, utilizando-se de um fluido de arrefecimento, principalmente a água. Durante o período de operação, a circulação de um fluido, a uma baixa temperatura de entrada, possibilita a extração do calor a partir dos módulos fotovoltaicos, mantendo a eficiência elétrica a valores satisfatórios, elevando a potência do sistema elétrico.

A água é um recurso indispensável em nossas vidas e a gestão dos recursos hídricos é um dos grandes problemas do mundo contemporâneo. Devido ao rápido crescimento populacional e ao desenvolvimento sócio econômico mundial, tem-se gerado vários conflitos quanto

a sua disponibilidade e a sua qualidade, devido à ausência de cuidado no seu uso e a disposição imprópria de efluentes líquidos (CARVALHO et al., 2016).

Nos últimos anos, observa-se o desenvolvimento de novas tecnologias referentes ao manejo de recursos hídricos (MAY & HESPANHOL, 2008), citando-se o aproveitamento de águas pluviais e reutilização de águas cinzas para consumos não potáveis.

Por definição, água de reuso é a reutilização da água que, após sofrer tratamento adequado, destina-se a diferentes propósitos (FERNANDES, FIORI & PIZZO, 2006). Segundo Telles & Costa (2010), a demanda crescente por água tem feito do reuso planejado da água um tema atual e de grande importância, visto como o aproveitamento do efluente após um polimento de seu tratamento, com ou sem investimentos adicionais.

Atualmente, vêm sendo desenvolvidos estudos teóricos e práticos sobre alternativas tecnológicas sustentáveis e aplicáveis ao tratamento dos efluentes líquidos provenientes das atividades industriais e domésticas, destinadas ao uso não potável (qualidade inferior ao uso potável), como: em descargas de bacias sanitárias em edificações; em torneiras de jardins; na irrigação de vegetações; na lavagem de veículos; na limpeza de calçadas, pátios e janelas; emprego na construção civil; no uso ornamental como chafarizes, fontes, quedas d'água, espelhos d'água e etc.; e águas de resfriamento, como utilizadas em caldeiras (MAY & HESPANHOL, 2008; HESPANHOL, 2002).

O grande consumo de água nas indústrias tem levado este segmento a buscar alternativas para o reuso. Dentre as indústrias alimentícias, os laticínios se destacam devido ao elevado consumo de água e geração de efluentes líquidos (VOURCH et al., 2008).

Segundo a definição da norma brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986), o esgoto doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas, proveniente principalmente de residências, edifícios comerciais ou quaisquer edificações que contenham dispositivos de utilização de águas para fins domésticos.

As águas cinzas constituem-se como uma fração do esgoto proveniente de chuveiros, lavatórios, banheiras, máquinas de lavar roupa e tanques (JORDÃO & PESSÔA, 2011; ALVES et al., 2009) e de acordo com Eriksson et al. (2002), os diferentes tipos de água cinza existentes podem ser adequados para diferentes tipos de reuso, em que, irá requerer diferentes tipos de tratamento, dependendo do reuso que se pretende dar a ela.

O reuso da água por meio de tratamentos com Sistemas *Wetlands* Construídos (WC), também conhecido por Sistemas Alagados Construídos (SAC) ou ainda Sistema em Zonas de Raízes, tornam-se uma ótima alternativa para minimizar o consumo da água. Nestes sistemas, as plantas aquáticas (macrófitas), em substratos (areia, solo, brita ou cascalho), realizam o tratamento das águas residuárias (SALATI et al., 2009).

Nesse contexto, grandes volumes de água potável podem ser poupados por meio da avaliação e do reuso de água, podendo ser aplicados em sistemas para a produção e conversão de energia elétrica de forma inédita, sustentável, limpa e viável; justificando este trabalho, cujo objetivo é testar, analisar e adequar se necessário, algumas fontes de águas de reuso, provenientes de uma indústria de laticínio e de uma *Wetland* doméstica, para ser utilizada como fluido de arrefecimento em painéis fotovoltaicos, em temperatura ambiente, observando os impactos positivos, nesse caso, a melhoria da eficiência energética nos PVs, bem como possíveis impactos negativos, tais como corrosão ou incrustação, nos referidos PVs.

### **1.1 Objetivo Geral**

Avaliar o desempenho de dois tratamentos distintos (sistemas anaeróbio e aeróbio) na produção de água não potável para o reuso, com ênfase na aplicação e melhoria da eficiência energética em sistemas fotovoltaicos.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos dos efluentes utilizados no estudo;
- Propor, se necessário, pré ou pós-tratamentos aos sistemas aeróbico e anaeróbico estudados, quanto a substâncias incrustantes, corrosivas e gordurosas, além da presença de microalgas;
- Analisar e viabilizar o processo de arrefecimento de painéis fotovoltaicos quanto ao aumento da potência elétrica produzida, comparando-os com o sistema convencional (não arrefecido) através:
  - Construção de um protótipo de simulação do comportamento do sistema fotovoltaico em contato com os efluentes estudados;
  - Testes com a utilização de painéis fotovoltaicos reais.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

O restante deste trabalho foi estruturado conforme a descrição a seguir:

- O Capítulo 2 apresenta a revisão da bibliografia, mostrando conceitos e estudos já desenvolvidos sobre o tema. Nele serão contextualizados temas referentes as Energias Renováveis, Energia Solar, Energia Solar Fotovoltaica, Água e Reuso de Água (abordando temas como a Legislação e Normas Vigentes, os Tipos de Reuso e o Reuso de Efluentes Industrial e Doméstico)

- O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada para a realização do experimento, sendo discurrida cada etapa executada com o intuito de se atingir os objetivos propostos inicialmente;
- O Capítulo 4 apresenta os resultados e suas respectivas análises, obtidas a partir do monitoramento de dados e da simulação realizada;
- O Capítulo 5 expõem as conclusões e considerações finais da dissertação, onde também são apresentadas as publicações obtidas e as sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2

### REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta cinco tópicos principais, necessários para o conhecimento dos temas abordados e das etapas metodológicas realizadas. Os assuntos subdividem-se em uma descrição sobre as Energias Renováveis, Energia Solar (radiação solar e suas formas de distribuição), Energia Solar Fotovoltaica, a questão da Água e o Reuso no Brasil e no Mundo, bem como suas características e a produção de água para reuso não potável.

#### 2.1 Energias Renováveis

O conceito de desenvolvimento sustentável é definido, pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU), como aquele que “atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades” (ACSELRAD & LEROY, 1999). A promoção desse desenvolvimento sustentável abrange iniciativas nos mais diversos setores da sociedade, sendo as políticas energéticas uma das áreas mais significativas.

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável para a sobrevivência da espécie humana. Em termos de suprimento energético, a eletricidade tornou-se uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões (ANEEL, 2005).

Segundo Dincer & Acar (2015), para um sistema de produção de energia ser considerado verdadeiramente sustentável, ele deverá cumprir os seguintes critérios:

- i. Impactos sociais e ambientais mínimos ou nulos;
- ii. Preservação e proteção dos recursos naturais do meio ambiente;
- iii. Suprir a procura de energia de forma eficiente e ambientalmente neutra;
- iv. Emissão mínima ou nula de gases do efeito estufa.

Esta questão energética gera uma tensão mundial e ganha importância, pela questão ambiental, com a necessidade de se reduzir a emissão de gases poluentes e o consumo de combustíveis fósseis, e pelo fato de uma possível diminuição significativa das fontes de energia não renováveis, o que ocorre com o petróleo, um bem finito e que atualmente não mais consegue acompanhar o crescimento da demanda (PACHECO, 2006).

O crescente aumento na demanda de energia elétrica aliado ao custo cada vez mais alto da mesma, desperta o interesse em pesquisas visando à utilização de fontes alternativas, para diversas aplicações (SILVA & NETO, 2012) e neste contexto, elas surgem como uma solução para garantir a compatibilidade técnica e ambiental de produção.

O tema “Energias Renováveis” está em evidência nos tempos atuais, podendo ser justificado pelo alerta ambiental para fontes que permitam a diversificação da matriz energética local, reduzindo a dependência dos combustíveis fósseis, como carvão e petróleo, cuja utilização é responsável pela emissão de grande parte dos gases que provocam o efeito estufa (COUTO, OLIVEIRA & BRAGA, 2016; ANEEL, 2008).

Estas energias estão passo a passo conquistando o espaço que antes era ocupado totalmente pelas fontes fósseis, o que tem sido propiciado pelo desenvolvimento tecnológico que permite o aproveitamento dessas fontes renováveis como combustíveis alternativos (PACHECO, 2006).

Segundo os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017), o sistema elétrico brasileiro apresenta-se como majoritariamente hidrotérmico de grande porte, com uma capacidade total de geração de energia elétrica de aproximadamente 152 GW, com participação das várias fontes de energia conforme ilustrado na Figura 1 (ANEEL, 2017).

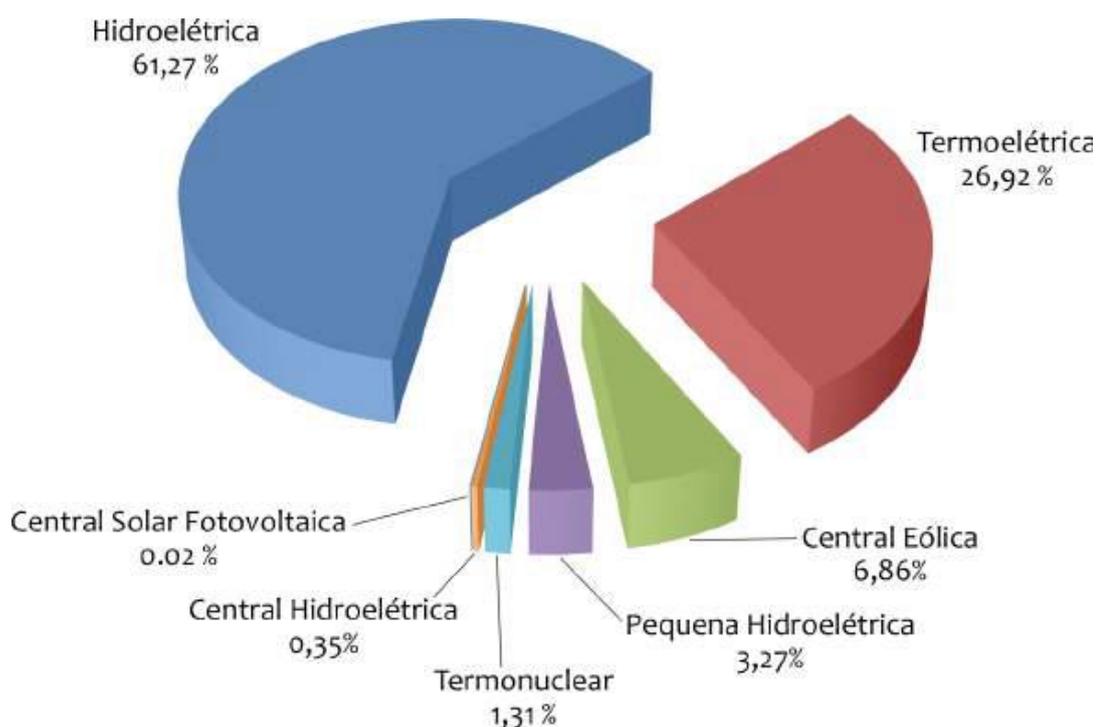


Figura 1 - Matriz elétrica brasileira, no ano de 2017.

Fonte: PEREIRA et al., 2017.

Apesar das hidroelétricas e termoelétricas serem consideradas fontes capazes de garantir a demanda de carga típica do sistema, elas estão sujeitas alterações de seu potencial de geração pela variação dos ciclos da chuva ou variações climáticas, tornando-as vulneráveis (SCHAEFFER & COHEN, 2007). Assim, devido a essa susceptibilidade do recurso hídrico, aliados ao crescimento da demanda de eletricidade, torna-se necessário diversificar as fontes de energia que compõem a matriz elétrica brasileira, buscando aproveitar fontes de energia que causem baixo impacto ao meio ambiente (PEREIRA et al., 2017).

Nesta categoria de energias renováveis, as mais conhecidas e que estão em prática atualmente, são a solar, a eólica, a energia das ondas e marés, entre outras (HUSSAIN, ARIF, & ASLAM, 2017), e neste contexto, a utilização da energia solar, aparece como uma oportunidade de grande importância para colaborar na oferta e demanda de energia do Brasil.

## 2.2 Energia Solar

O Sol, efetivamente, é a principal fonte de energia livre e inesgotável para o planeta Terra, e sob sua influência estão os movimentos dos ventos, marés, ciclos da água, a fotossíntese das plantas e mesmo a existência de combustíveis fósseis (NETO & CARVALHO, 2012).

A Terra, em seu movimento de translação, faz uma trajetória elíptica à um plano que é inclinado de aproximadamente  $23,5^\circ$  com relação ao plano equatorial. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte, ao longo dos dias, dando origem às estações do ano, como pode ser visto na Figura 2.

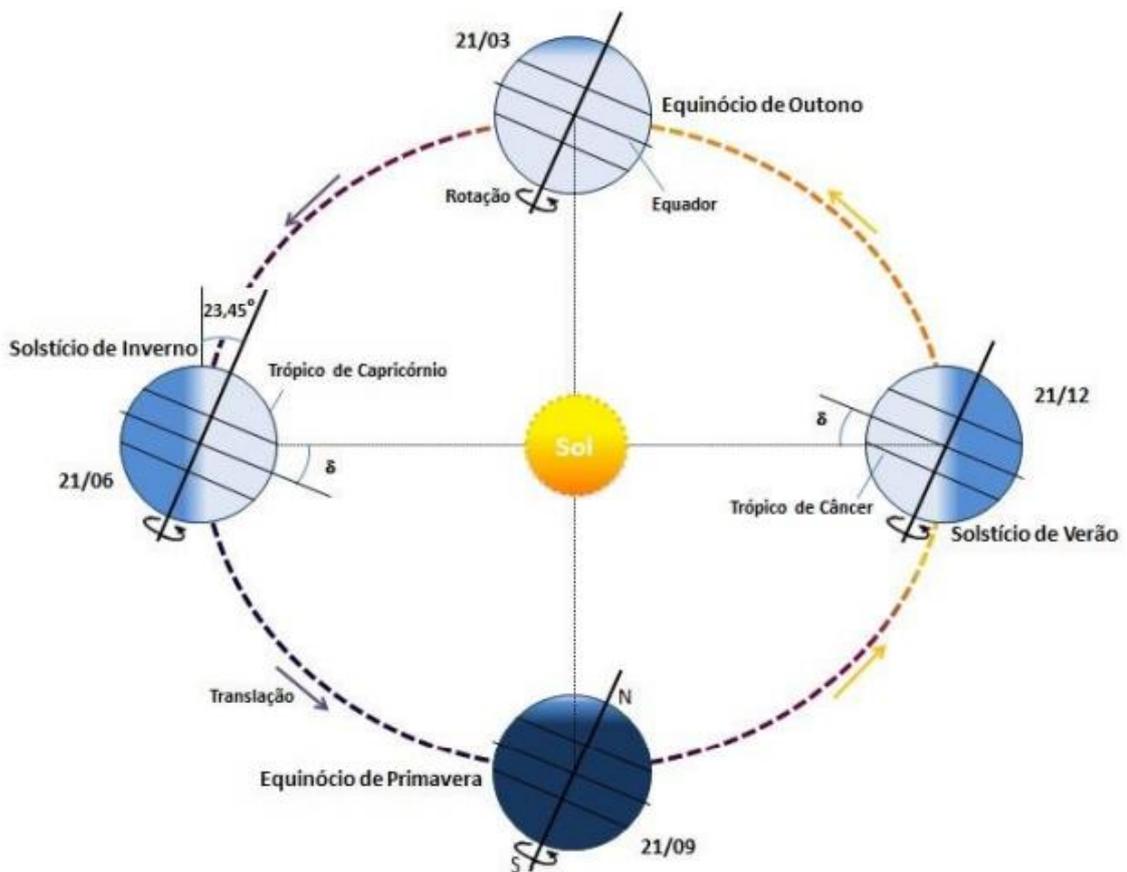


Figura 2 - Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado a  $23,5^\circ$ .

Fonte: PINHO & GALDINO, 2014.

A posição angular do Sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo), é chamada de Declinação Solar ( $\delta$ ) e este ângulo, varia de acordo com os dias do ano, dentro dos limites de  $-23,45^\circ$  e  $+23,45^\circ$  (PINHO & GALDINO, 2014).

As relações geométricas entre os raios solares variam de acordo com o movimento do Sol e a superfície terrestre, através de vários ângulos, conforme a Figura 3.

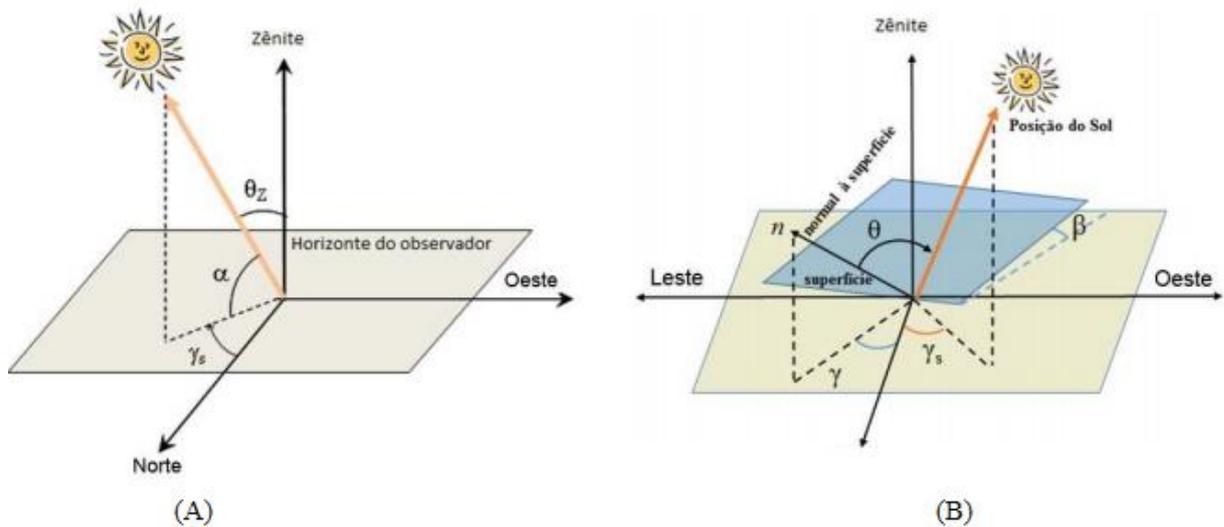


Figura 3 – (A) Ilustração dos ângulos  $\theta_z$ ,  $\alpha$ , e  $\gamma_s$ , em relação ao plano horizontal; (B) Ilustração da orientação de uma superfície inclinada, em relação ao mesmo plano (ângulos  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma_s$  e  $\theta$ ).

Fonte: PINHO & GALDINO, 2014.

Os ângulos apresentados na Figura 3 são definidos como:

- i. Ângulo Zenital ( $\theta_z$ ): formado entre os raios de Sol e a vertical local;
- ii. Altura ou Elevação Solar ( $\alpha$ ): ângulo entre os raios de Sol e a projeção dos mesmos sobre o plano horizontal:

$$\theta_z + \alpha = 90^\circ \text{ (Ângulos Complementares)}$$

- iii. Ângulo Azimutal do Sol ( $\gamma_s$ ): ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul, uma vez que o deslocamento angular é tomado a partir do Norte Geográfico ( $0^\circ$ ) e pode ser positivo, quando a projeção se encontra a Leste e negativa a Oeste:

$$-180^\circ < \gamma_s < 180^\circ$$

- iv. Ângulo Azimutal da Superfície ( $\gamma$ ): ângulo entre a projeção normal à superfície no plano horizontal e a direção Norte-Sul;
- v. Inclinação da Superfície de Captação ( $\beta$ ): ângulo entre o plano da superfície e o plano horizontal [ $0^\circ$   $90^\circ$ ];
- vi. Ângulo de Incidência ( $\theta$ ): formado entre os raios de Sol e a normal à superfície de captação (PINHO & GALDINO, 2014).

A energia irradiada pelo Sol cobre uma ampla faixa do espectro eletromagnético, conforme ilustra a Figura 4.

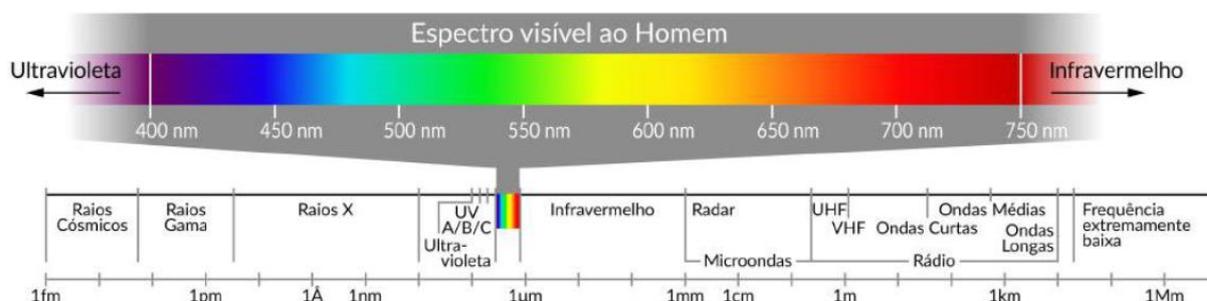


Figura 4 – Espectro da radiação solar incluindo um detalhamento da faixa visível humana.

Fonte: PEREIRA et al., 2017.

O espectro solar que atinge a superfície terrestre é formado predominantemente por radiações UV (100 – 400 nm), visíveis (400 – 800 nm) e IR (acima de 800 nm) (OSTERWALDER, LUTHER, & HERZOG, 2000). Em uma hora, cerca de 885 TWh de energia são fornecidas pelo Sol, atingindo a superfície terrestre (IEA, 2014).

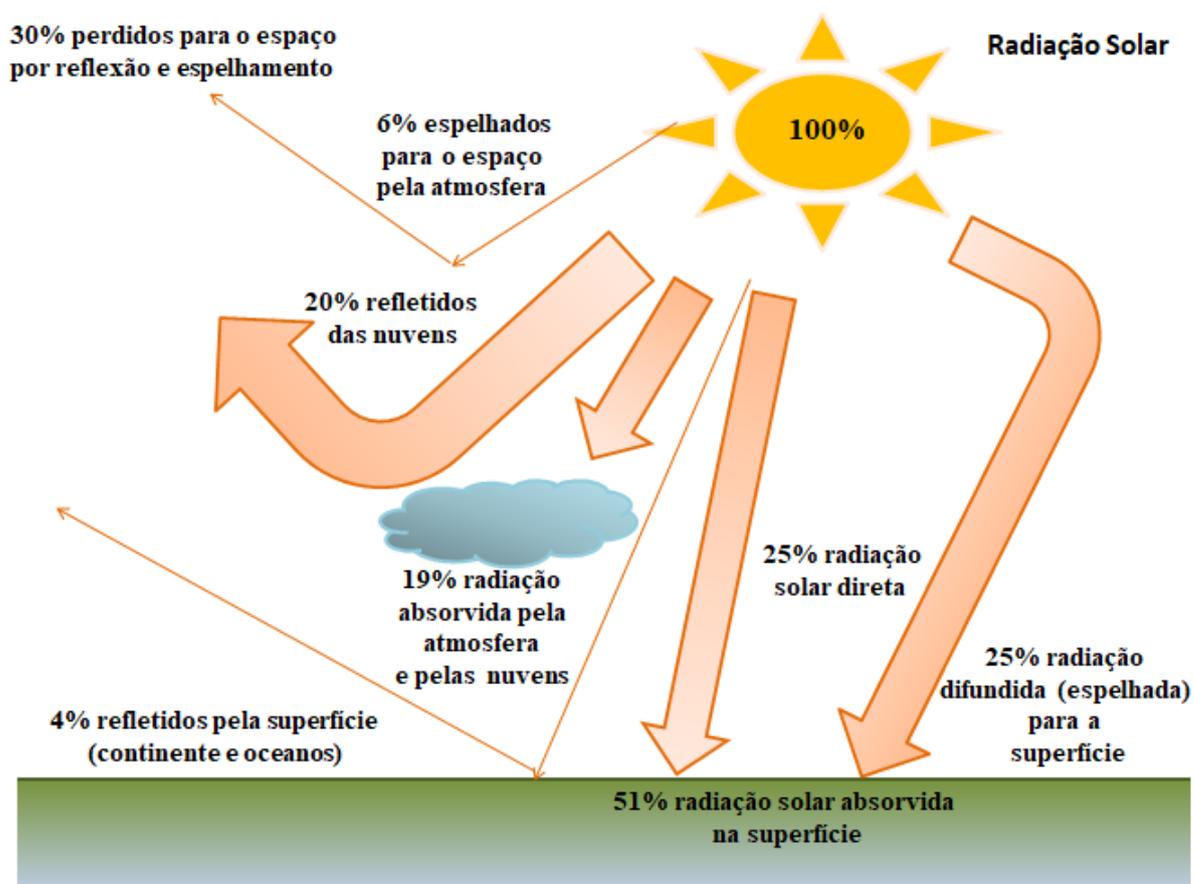
O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre,  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia, e a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, com um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outras formas de energias (térmica, elétrica, etc.), influenciada diariamente por fatores como a latitude, o dia, a variação diurna, o clima da região e composição atmosférica (gases e partículas atmosféricas) (PINHO & GALDINO, 2014; MAGARREIRO, FREITAS & BRITO, 2016).

Ao longo de um ano, o fluxo de radiação solar (irradiância solar) oscila entre 1325 W/m<sup>2</sup> e 1412 W/m<sup>2</sup>. O valor médio da irradiância solar igual a 1366 W/m<sup>2</sup> é definido como a constante solar (NREL, 2017).

Além dos fatores astronômicos estabelecerem uma variabilidade da radiação solar incidente no topo da atmosfera, a energia solar incidente na superfície do planeta também sofre a influência dos processos físicos que reduzem a intensidade da radiação ao longo do percurso (PEREIRA et al., 2017).

Segundo Magarreiro, Freitas & Brito (2016), a radiação solar divide-se em três componentes principais: Radiação Direta (proveniente diretamente da direção do disco solar); Radiação Difusa (inclui a radiação solar de todas as direções do céu, com exceção do disco solar); e Radiação Refletida (resulta da reflexão da radiação solar em superfícies, dependendo, portanto, das propriedades ópticas dos materiais, conhecida por albedo).

A Figura 5 ilustra as formas e os percentuais de radiação solar direta, difusa e refletida.



Figuras 5 – Distribuição dos percentuais e componentes da radiação global na atmosfera.

Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2019, adaptada.

Geralmente, a irradiância incidente na superfície terrestre atinge um máximo de aproximadamente  $1000 \text{ W/m}^2$  no meio dia solar (momento do dia em que o Sol está na posição mais elevada, incidindo perpendicularmente na atmosfera) em condições de céu claro. Valores de até  $1400 \text{ W/m}^2$  podem ser observados em condições de nebulosidade parcial, devido ao espalhamento de nuvens ou efeito causado pela geometria Sol/ Nuvens/Terra (DGS, 2008).

As regiões que apresentam a maior incidência solar anual são as chamadas regiões tropicais ou as desérticas, possuindo um grande potencial energético. O Brasil possui elevados índices de insolação e, conseqüentemente, possui um maior potencial energético proveniente da radiação luminosa do sol (CEPEL, 2011), e apesar de ser um país com dimensões continentais e diferentes características climáticas ao longo de seu território, ele apresenta condições ideais para o aproveitamento da energia solar (PEREIRA et al., 2006).

A Figura 6 mostra o mapa da distribuição da irradiação solar anual global e as áreas que apresentam maior incidência.

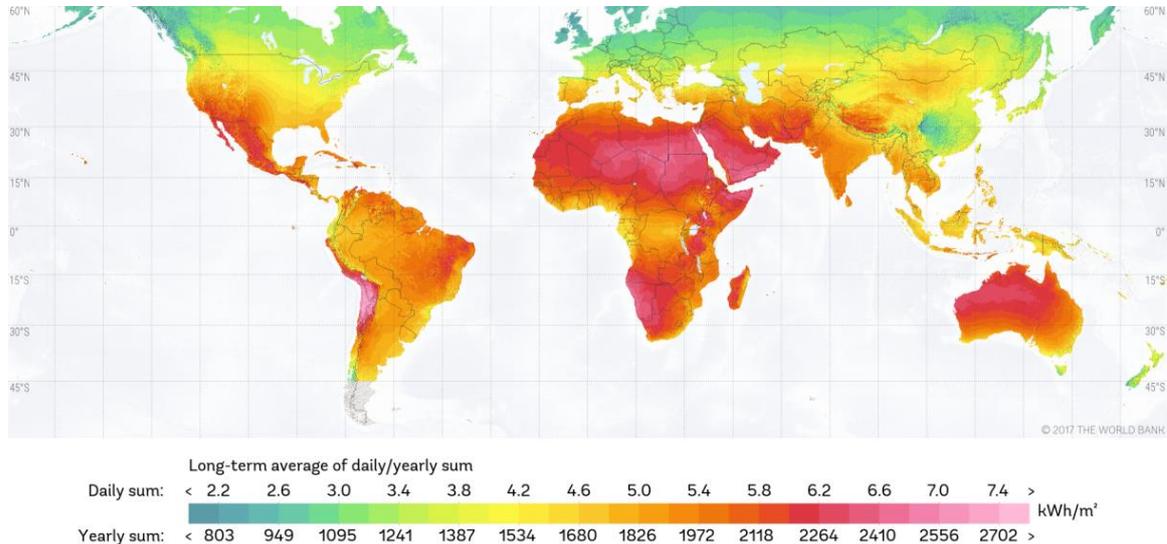


Figura 6 – Radiação anual global no planeta Terra.

Fonte: SOLARGIS, 2017.

A média anual de irradiação global no Brasil apresenta alto nível e baixa variabilidade da irradiação solar, conforme ilustrado pela Figura 7. Os níveis nacionais de irradiação solar global incidente em qualquer parte do território (4200 Wh/m<sup>2</sup>.dia e 6700 Wh/m<sup>2</sup>.dia) são superiores aos encontrados em países como Alemanha (900 Wh/m<sup>2</sup>.dia e 1250 Wh/m<sup>2</sup>.dia), França (900 Wh/m<sup>2</sup>.dia e 1650 Wh/m<sup>2</sup>.dia) e Espanha (1200 Wh/m<sup>2</sup>.dia e 1850 Wh/m<sup>2</sup>.dia), que fazem grande utilização de recursos solares, onde essa tecnologia já está bem estabelecida (PEREIRA et al., 2006; PEREIRA et al., 2017). Assim, há grandes expectativas de que o Brasil torne-se um grande produtor deste tipo de energia (PERLOTTI et al., 2012).

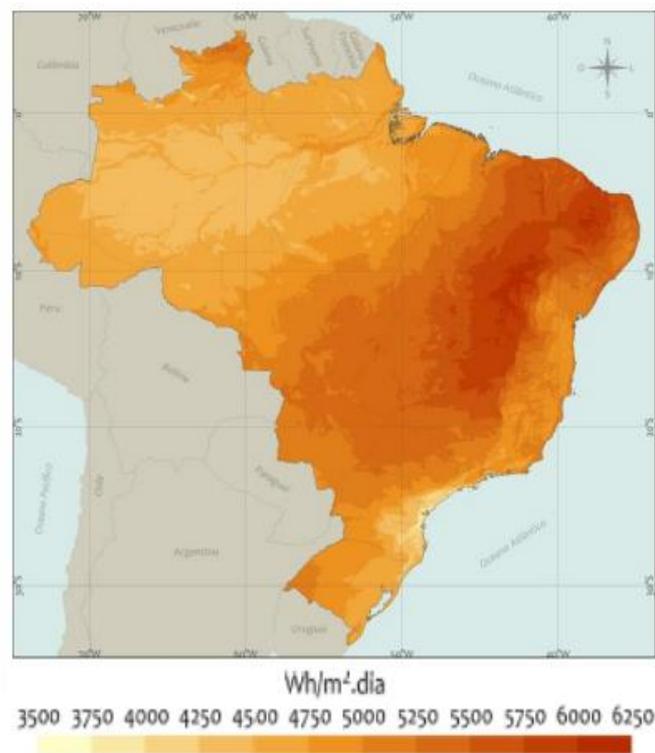


Figura 7 – Radiação solar total no plano inclinado – Média anual.

Fonte: PEREIRA et al., 2017.

As tecnologias utilizadas para a produção de energia solar podem ser divididas em tecnologias passivas ou ativas, com possibilidade de reduzir em 70% o consumo de energia convencional. As passivas são aquelas que utilizam a energia térmica ou luz sem qualquer tipo de transformação (como por exemplo, o aproveitamento da luz natural) e as ativas são aqueles que captam a radiação solar e a convertem em calor ou energia elétrica (PACHECO, 2006; KABIR et al., 2016).

Segundo Reis (2011), a geração de eletricidade através da energia solar, pode-se dar de duas formas:

- i. Indiretamente, nos denominados sistemas termossolares, através do uso da energia solar para produzir energia térmica que é, então, convertida em eletricidade;
- ii. Diretamente, através do uso de painéis fotovoltaicos.

### **2.3 Energia Solar Fotovoltaica**

Sistemas fotovoltaicos são conjuntos de módulos fotovoltaicos e outros componentes integrados e projetados para converter energia solar em eletricidade, como definido no Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2008). Nesse processo de conversão, também chamado de Efeito Fotovoltaico, a célula fotovoltaica é um dispositivo fabricado com material semicondutor, componente fundamental desse processo (PINHO & GALDINO, 2014).

Segundo o Ministério de Minas e Energia - MME (2017), o mundo contava com uma potência instalada solar de 301 GW no ano de 2016, sendo 294 GW proveniente de energia fotovoltaica (FV) e 7 GW a partir do aproveitamento da luz solar por concentração (CSP – *Concentrating Solar Power*), incluindo quatro tipos: Calha Parabólica (CP), Refletor Fresnel (RF), Torre Solar (TS) e Disco Solar (DS). A geração total foi de 333 TWh, resultando em um fator de capacidade médio de 14,4%.

Avaliando a situação das energias renováveis (ano base 2015), o Relatório da Situação Global das Energias Renováveis (REN21, 2016) mostrou que o mercado de energia solar fotovoltaica cresceu cerca de 25% em relação ao ano de 2014, atingindo um total mundial de 227 GW de capacidade instalada. De acordo com o mesmo relatório, publicado no ano de 2017 (ano base 2016), os sistemas solares fotovoltaicos contribuíram com cerca de 47% da capacidade (REN21, 2017). Já em 2018 (ano base 2017), o relatório afirma que o aumento da capacidade em energia solar fotovoltaica foi 29% superior ao de 2016, representando 98 GW (REN21, 2018).

De acordo com Jannuzzi, Varella & Gomes (2009), a conversão de energia solar em energia elétrica foi verificada pela primeira vez por Alexandre Edmond Becquerel, em 1839,

que constatou a geração de uma diferença de potencial nos terminais de uma estrutura de material semicondutor, causada pela absorção de luz visível.

Para esses cálculos de eficiência de conversão de energia dos sistemas fotovoltaicos, utiliza-se a relação entre a energia elétrica gerada pelos painéis e pela a energia total incidente sobre o painel, de acordo com a Equação 1.

$$\eta = \frac{V_m \times I_m}{G \times A} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

onde  $V_m$  e  $I_m$  são respectivamente a tensão (V) e a corrente (A), no ponto de máxima potência,  $G$  é a radiação solar incidente (Irradiância, W/m<sup>2</sup>) e  $A$  é a área de incidência do PV (m<sup>2</sup>) (CHANDRASEKAR et al., 2015).

Os painéis solares são formados por células fotovoltaicas de materiais semicondutores, em forma de fatias (lingotes) ou peças fundidas com outros materiais (IEA, 2014). De acordo com a estrutura dos átomos, as células podem ser classificadas em cristalinas (monocristalinas e policristalinas) e amorfas (NEF, 2016). Existem células constituídas tanto por elementos singelos (como o silício, germânico, selênio) como por ligas e compostos (arseneto de gálio, telureto de cádmio ou disseleneto de cobre e índio e etc.) (SOUZA, 2017).

As células de silício monocristalino (m-Si) são, comercialmente, as mais utilizadas. As de silício policristalino (p-Si) possuem um baixo custo em relação às células de silício monocristalino, devido ao seu processo de fabricação. Entretanto, de acordo Walker & Sernia (2004) e Lopez (2012), as células m-Si possuem maior eficiência, quando comparadas as p-Si e amorfo, conforme dados resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Eficiência das células fotovoltaicas de silício monocristalino, policristalino e amorfo.

<i>Tipo de Célula</i>	<i>Eficiência (%)</i>		
	<i>Teórica</i>	<i>Laboratorial</i>	<i>Comercial</i>
Silício Monocristalino	30,0	24,7	15 a 18
Silício Policristalino	25,0	19,8	11 a 15
Silício Amorfo	13,0	4 a 7	3 a 5

Fonte: WALKER & SERNIA, 2004; LOPEZ, 2012.

Todas as células fotovoltaicas têm, pelo menos, duas camadas de semicondutores: uma positivamente carregada e outra negativamente carregada, formando uma junção eletrônica. Quando ocorre a incidência solar sobre o semicondutor nessa região, o campo elétrico existente permite o estabelecimento do fluxo eletrônico, dando início ao fluxo de energia na forma de corrente contínua (ANEEL, 2008).

O silício puro, por exemplo, não é considerado um bom condutor, sendo necessário acrescentar outros materiais que favorecem a obtenção de energia através de um processo

conhecido como dopagem, em que adicionam-se cristais de fósforo (tipo  $n$ ) ou boro (tipo  $p$ ) junto ao silício. Quando a dopagem é feita com fósforo, forma-se um material com elétrons de ligações fracas aos átomos de origem que se desprendem rapidamente na presença de pouca energia. Já quando a dopagem é realizada com o boro, ocorre uma insuficiência de elétrons que levam a formação de espaços ocupados por elétrons de camadas próximas. Assim, quando se juntam os dois materiais em um único, ocorre a junção  $p-n$  (PINHO & GALDINO, 2014).

Nessa junção, a incidência solar excita pares de elétrons lacuna ao longo de toda a região ativa da célula fotovoltaica, formada pela junção  $pn$  e sua vizinhança próxima, transferindo a energia dos fótons para os elétrons. A região de absorção dos fótons dentro da região ativa é função da energia e do comprimento de onda dos fótons incidentes causando um fluxo de elétrons, que são acelerados, sob a ação do campo elétrico desde a região  $p$  até a região  $n$  do silício cristalino (PINHO & GALDINO, 2014; SUBIDA, 2015). A Figura 8 mostra o efeito fotovoltaico em uma junção  $p-n$  de um semiconductor.

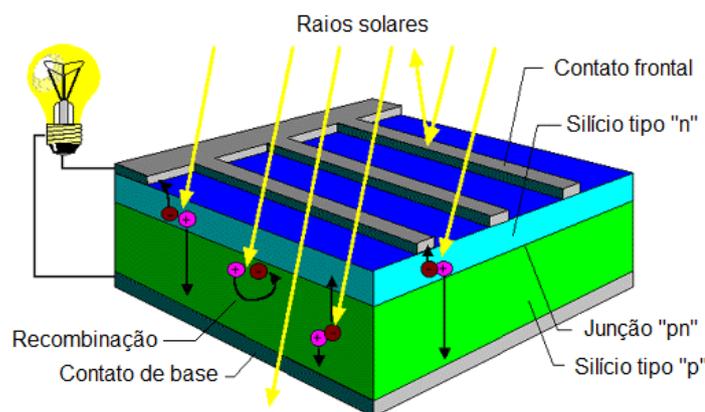


Figura 8 – Vista em corte de uma célula fotovoltaica.

Fonte: PINHO & GALDINO, 2014, adaptada.

As células são agrupadas em módulos, com um vidro transparente na superfície superior e um material à prova de intempéries na parte de trás e muitas vezes possuem um quadro circundante (IEA, 2014). Podem ser classificados de diversas formas, devido o tipo de material celular (como anteriormente mencionado), do material de encapsulamento (EVA, teflon ou resina fundida), tecnologia de substrato (vidro-vidro, vidro-película, metal-película e película-película) ou sobre funções específicas de construção (normalmente em função do tipo de proteção usado na cobertura, vidro isolante ou vidro de segurança laminado, por exemplo) (ALTENER, 2004).

Segundo Pinho & Galdino (2014), um sistema fotovoltaico é constituído por:

- i. Bloco gerador, que contém os arranjos fotovoltaicos (módulos fotovoltaicos em diferentes arranjos), o cabeamento elétrico que os interliga e os suportes;
- ii. Bloco de condicionamento de potência, que pode conter inversores CC/CA, seguidor de ponto de máxima potência (MPPT – *Maximum Power Point*

*Tracking*), controladores de carga (se houver armazenamento) e outros dispositivos de proteção, supervisão e controle;

- iii. Bloco de armazenamento, constituído por acumuladores elétricos (baterias).

Nos módulos ou painéis comerciais, as células fotovoltaicas são conectadas em série e em paralelo de forma que na sua saída a energia elétrica tenha as características de tensão e corrente necessários para a sua aplicação e os efeitos dessas ligações entre as células são completamente distintas (SUBIDA, 2015).

Assim, tendo-se duas células ligadas em paralelo, a tensão permanece igual, mas a corrente duplica, acontecendo o contrário nas ligações em série, como apresentado nas curvas características I-V na Figura 9.

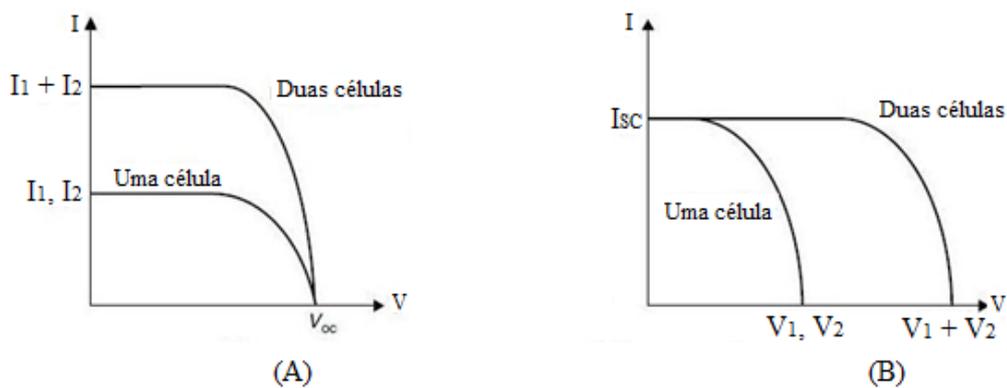


Figura 9 – Efeito das ligações em paralelo (A) e série (B) entre células.

Fonte: KALOGIROU, 2009, adaptada.

Segundo Souza (2017), os sistemas fotovoltaicos são classificados em Sistemas Isolados ou Sistemas Conectados à Rede (*On-Grid*), conforme a Figura 10.

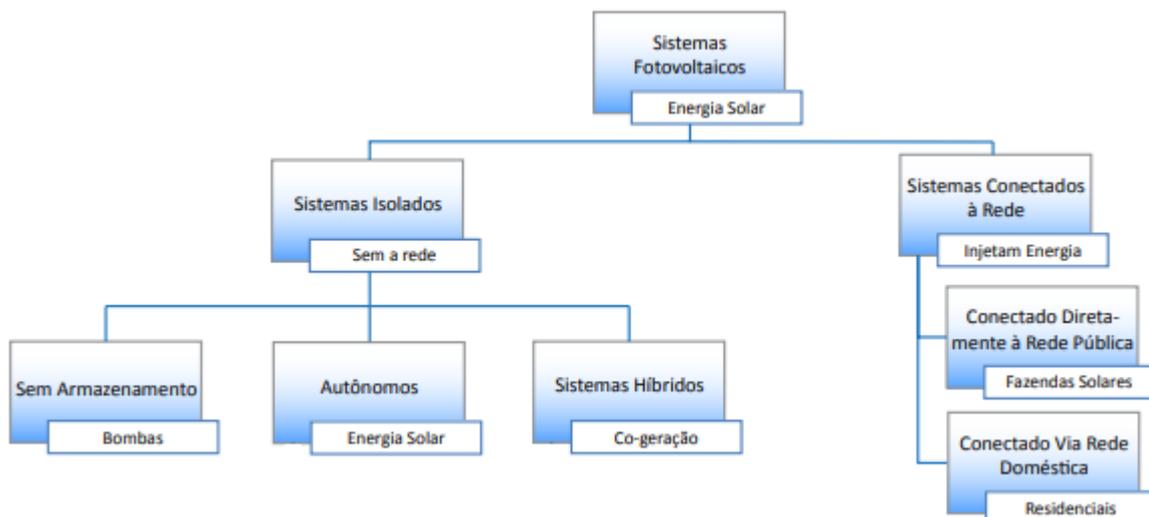


Figura 10 – Tipos de sistemas fotovoltaicos.

Fonte: SOUZA, 2017, adaptada.

Um Sistema Fotovoltaico Isolado é aquele que não tem contato com a rede de distribuição de eletricidade das concessionárias, podendo ser classificados:

- i. Híbridos: trabalha em conjunto com outro sistema de geração elétrica, como por exemplo, um aerogerador, um moto-gerador a combustível líquido (ex.: diesel), ou qualquer outro sistema de geração elétrica, podendo ou não possuir sistema de armazenamento de energia;
- ii. Autônomos: são sistemas que não possuem outra forma de geração de eletricidade e devido ao fato de o sistema só gerar eletricidade nas horas de sol, podem ser classificados em Puros (dotados de acumuladores que armazenam a energia para os períodos sem sol) e Sem Armazenamento (funcionam somente durante as horas de sol, como por exemplo, os sistemas de bombeamento de água).

Já os Sistemas Conectados à Rede (*On-Grid*) fornecem energia para as redes de distribuição e toda a potência gerada é rapidamente escoada para a rede, que age como uma carga, absorvendo a energia. Geralmente não utilizam sistemas de armazenamento de energia, e por isso são mais eficientes que os sistemas autônomos, além de, geralmente, serem mais baratos. Entretanto, esses sistemas dependem de regulamentação e da legislação para seu uso, pois usam a rede de distribuição das concessionárias para o escoamento da energia gerada.

Um sistema fotovoltaico conectado à rede geralmente possui os seguintes componentes (Figura 11):

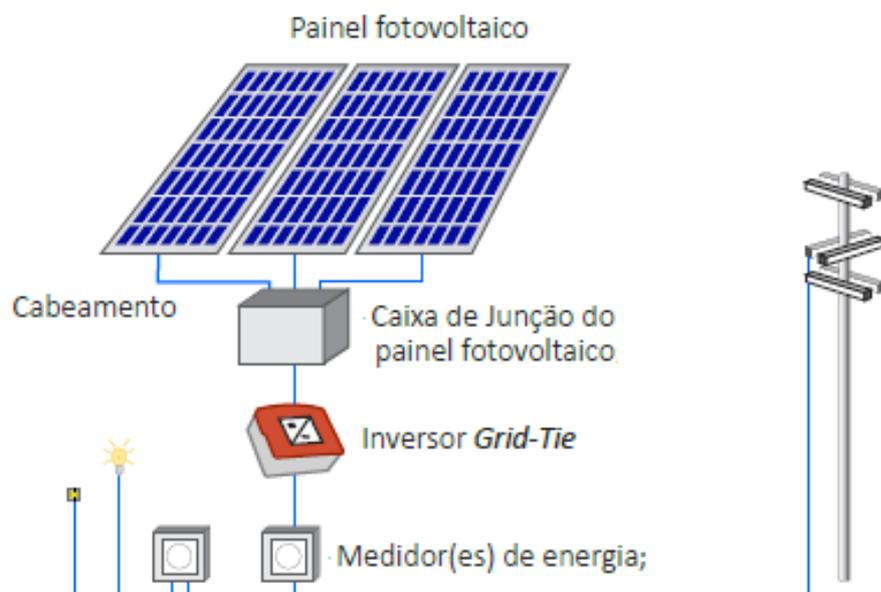


Figura 11 – Componentes de um sistema fotovoltaico *on-grid*.

Fonte: SOUZA, 2017, adaptada.

Os sistemas fotovoltaicos possuem as vantagens fundamentais de não consumirem combustíveis, serem sistemas silenciosos, serem resistentes a condições climáticas extremas

(granizo, vento, temperatura e umidade), não possuem peças móveis e permitem o aumento da potência instalada por meio da incorporação de módulos adicionais (SOLARTERRA, 2013).

Além disso, pelo fato de não utilizar combustíveis, não possuem partes móveis, e por serem dispositivos de estado sólido, requerem uma menor manutenção. Durante todo o seu funcionamento, não produzem ruídos (acústico ou eletromagnético), e não emitem gases tóxicos ou outro tipo de poluição ambiental. Geralmente é um sistema utilizado em zonas afastadas da rede de distribuição elétrica, podendo trabalhar de forma independente ou combinada com sistemas de produção elétrica convencional (SOUZA, 2017; SOLARTERRA, 2013).

Segundo Casaro & Martins (2008), os fatores que influenciam os parâmetros elétricos dos módulos são Intensidade Luminosa ou Irradiância Solar, dada em ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), a Temperatura Ambiente ( $T$ ) e a Radiação da Massa de Ar (AM), que representa a quantidade de atmosfera atravessada pela luz do sol. Seu valor aproximado é obtido calculando-se  $1/\cos\theta$ , em que  $\theta$  é igual ao ângulo de inclinação da luz do sol formado pela direção do raio solar e a reta perpendicular ao plano da terra. Para Abdulgafar, Omar & Yousif (2014), o desempenho do sistema é afetado por, além dos parâmetros mencionados, pelo ângulo de incidência dos raios solares nos painéis, qualidade construtiva (matéria prima utilizada) e a qualidade da instalação.

A Figura 12 mostra que os parâmetros de corrente e tensão produzidas nos módulos fotovoltaicos são fundamentalmente influenciados pela irradiância solar (A) e pela temperatura das células (B).

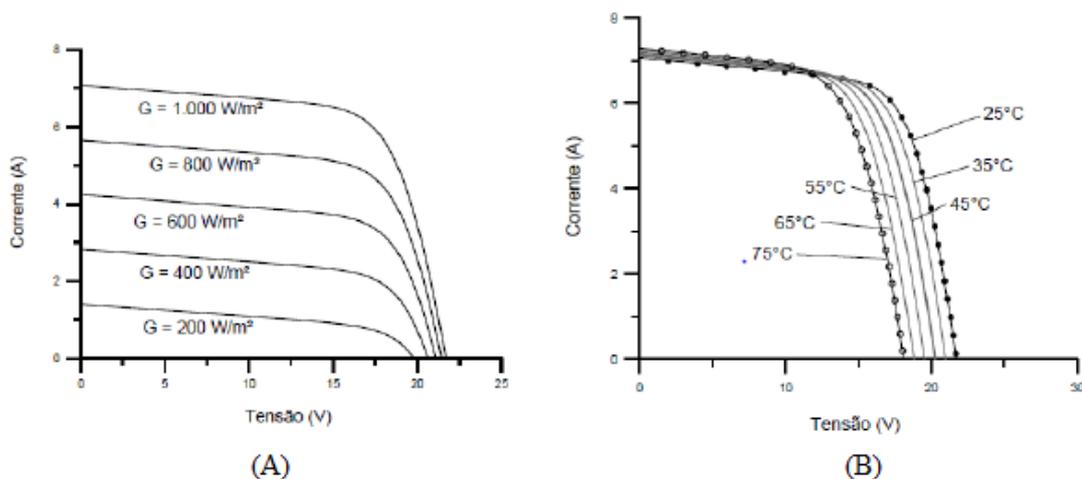


Figura 12 – (A) Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva I-V; (B) Efeito da variação da temperatura das células sobre a curva I-V.

Fonte: PINHO & GALDINO, 2014.

Na Figura 12 (A) pode-se verificar que a corrente elétrica gerada pelo módulo aumenta linearmente com o aumento da irradiação, enquanto a tensão em circuito aberto aumenta logaritmicamente com o mesmo aumento. Concomitantemente à temperatura, Figura 12 (B), o aumento

da temperatura das células do módulo causa um ligeiro aumento da corrente, sendo que a tensão em circuito aberto decresce linearmente (LUQUE, 2003).

Para se comparar os dados elétricos da curva característica de diferentes células ou até mesmo diferentes módulos fotovoltaicos, encontram-se especificadas em condições padrões de ensaio uniformes de teste, estando em consonância com as normas IEC 60 904, ASTM G173-03 ou ABNT NBR 10 899: uma irradiância de  $1000 \text{ W/m}^2$ , uma temperatura na célula fotovoltaica de  $25^\circ\text{C}$  (com uma tolerância de  $\pm 2^\circ\text{C}$ ), e um espectro de luz definido (distribuição do espectro da irradiância solar de referência de acordo com a norma IEC 60 904-3) com uma massa de ar AM 1,5 (PINHO, 2014).

A temperatura de operação também exerce influência significativa na potência elétrica de saída do módulo, já que a potência máxima decresce linearmente entre 0,4% - 0,5% para cada  $^\circ\text{C}$  acima da temperatura de referencia ( $25^\circ\text{C}$ ) (BRINKWORTH et al., 1997).

Em condições laboratoriais ou condições padrões de teste, CTP (radiação solar padrão de  $1000 \text{ W/m}^2$ , temperatura padrão de  $25^\circ\text{C}$  e espectro solar AM = 1,5), com o atual estado da arte da tecnologia, é possível produzir células individuais de cristal de silício, com eficiência superior a 24%. Ainda assim, devido a contínuas pesquisas no campo das células solares, o valor teórico alcançável da eficiência se direciona aos 30%. Porém, comercialmente, a eficiência pode chegar a 18%, alcançando 24% nos próximos anos (ALMEIDA *et. al.*, 2016).

A eficiência de conversão de energia pode ser definida como a produção total de energia do sistema em comparação com a energia radiante recebida pelo sistema, ou seja, o percentual de energia da luz do sol o painel solar converte em energia elétrica por  $\text{m}^2$ . Na década de 50, os PVs convertiam apenas 4,5% da energia solar em eletricidade. Hoje em dia, a eficiência média mundial triplicou para 15% ( $143 \text{ Wp/m}^2$ ), a um custo centenas de vezes mais barato. Até 2022 espera-se que já existam painéis solares com eficiência de conversão de 23,5% (MME, 2017).

O Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB, 2008) justifica que os sistemas fotovoltaicos ainda apresentam rendimentos relativamente baixos, uma vez que apenas uma pequena fração da radiação solar é absorvida pela placa solar e convertida em eletricidade, e o restante é transformado em calor, que é absorvido principalmente pelas próprias células, influenciando no funcionamento da tecnologia fotovoltaica.

Enquanto ocorre o aumento da radiação solar, eleva-se a potência fornecida pelo PV. Entretanto, o aumento da temperatura diminui a potência fornecida pelo módulo e desta forma, é possível afirmar que o aumento da temperatura das células fotovoltaicas oriundo da absorção do calor, reduz a eficiência dos painéis fotovoltaicos (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

O acúmulo de impurezas nos painéis também contribui para a diminuição da eficiência dos mesmos. A sujeira na superfície das placas solares fotovoltaicas prejudica a geração de

energia, causando um sombreamento nas células e assim, as mesmas passam a se comportar como dissipadoras de energia elétrica, provocando o aquecimento e prejudicando todo o sistema (CAVALCANTE et al., 2016).

É possível obter uma melhoria da eficiência energética de um módulo fotovoltaico, através da redução da temperatura de operação em sua superfície. Isto pode ser conseguido de maneira promissora através do resfriamento do módulo, reduzindo assim o calor armazenado dentro das células fotovoltaicas durante a operação. Sabe-se, portanto, que a temperatura do fluido de refrigeração na saída do módulo fotovoltaico é maior do que na entrada, devido à troca térmica entre a parte de trás do módulo e as tubulações (ODEH & BEHNIA, 2009).

De acordo com Gimenes et al. (2017), existem diversos tipos de sistemas de arrefecimento para PV, divididos em dois grandes grupos:

- i. Sistema de arrefecimento em circuito fechado: em que o fluido circula e retorna a um coletor térmico, trocando calor com PV, em ambiente confinado;
- ii. Sistema de arrefecimento em circuito aberto: em que o fluido é direcionado PV, de maneira direta, percorrendo sua área de maneira não confinada, sem auxílio de tubulações, canais, câmaras, etc.

A tecnologia solar fotovoltaica para geração de eletricidade encontra-se em desenvolvimento e pesquisas vêm sendo realizadas visando elevar a eficiência desses sistemas. Entretanto, ainda existem barreiras que impedem a utilização dessa tecnologia devido aos custos iniciais elevados, as baixas eficiências do sistema, e a falta de políticas governamentais de incentivo (SILVA & NETO, 2012).

Um método eficiente para se arrefecer o PV é proceder a passagem de uma película de água sobre o sistema, e diversos cientistas vêm buscando técnicas e materiais para a melhoria do sistema.

Krauter (2004) estudou os efeitos de arrefecimento da superfície de um conjunto de PVs com uma película de água, que além de ajudar a manter a superfície limpa, a água proporcionou um rendimento elétrico de 10,3%.

Odeh & Behnia (2009) propuseram a modelagem de desempenho de longo prazo de um sistema de bombeamento de água sob um PV, na superfície superior dos mesmos, alcançando um aumento de cerca de 15% na saída do sistema. O desempenho de longo prazo do sistema foi estimado integrando os resultados do teste em um pacote comercial de simulação, indicando um aumento de 5% na energia fornecida pelo módulo fotovoltaico pode ser alcançado durante as estações seca e quente.

Kordzadeh (2010) estudou os efeitos dos PVs (de potência nominal de 90 W e 135 W) com uma fina película de água contínua aplicada na parte superior do PV, sem o reaproveitamento da água e concluiu que a energia gerada pelo arranjo aumenta significativamente.

Kim et al. (2011) observaram o comportamento térmico do resfriamento superficial de um sistema de PVs através de uma modelagem matemática e, em seguida, foi validado o modelo através da construção de um protótipo de sistema de refrigeração de superfície, utilizando a aplicação da água no sistema de arrefecimento da superfície do módulo, comparando os parâmetros elétricos com um módulo fotovoltaico convencional como controle. Os testes indicaram que o aumento de potência máxima em resposta ao resfriamento foi de 11,6% quando comparado com um módulo de controle

Eveloya et al. (2012) investigaram o potencial de resfriamento para melhorar o desempenho elétrico de módulos fotovoltaicos instalações *offshore* de petróleo e gás no Golfo Pérsico, utilizando a água como fluido refrigerante aplicado na parte frontal de um módulo PV. Usando o resfriamento com água, a potência é aumentada durante uma parte significativa do dia para módulos geográficos fixos voltados para o sul (em 22% ao meio dia e 13% às 14h) em relação ao resfriamento passivo e ainda mais módulos rastreados (por exemplo, 20% às 14h).

Tarabsheh et al. (2013) investigaram o desempenho de PVs em relação à temperatura e propôs *layouts* de diferentes modelos tubos que permitiram um resfriamento eficiente através de tubos debaixo do PV, na parte traseira do módulo. O melhor projeto foi aquele que mantinha a temperatura de operação das células fotovoltaicas o mínimo possível, resultando em um rendimento máximo de energia das células fotovoltaicas.

Irwan et al. (2015) compararam o desempenho dos PVs com e sem a água, utilizada como fluido de resfriamento, através da técnica de pulverização do fluido na parte frontal do PVs. Os resultados experimentais mostraram que o decréscimo da temperatura de operação, proporcionava o aumento da a potência de saída do painel fotovoltaico.

Matias et al. (2016) desenvolveram um aparelho de refrigeração de PV aplicando água, de forma frontal e direta, a temperatura ambiente, analisando os ganhos elétricos, sob diferentes taxas de água de arrefecimento. Os resultados mostraram que a melhor vazão de água foi de 0,6 L/min, com um ganho de 22,69% na potência, em relação ao painel sem o sistema de refrigeração.

Santos et al. (2017) apresentaram resultados satisfatórios para a implementação de um sistema de resfriamento em PVs, com aplicação de água de reuso (chuva) na sua superfície frontal, a temperatura ambiente, para a melhoria de sua eficiência energética. Os resultados mostraram que vazões menores no sistema de refrigeração aumentam a relação custo-

benefício com a eficiência dos painéis. Para os valores de fluxo utilizados experimentalmente é possível obter um ganho de potência dos painéis fotovoltaicos de até 11,99%.

## 2.4 Água

A água é um recurso indispensável e esse recurso hídrico deve ser gerido da melhor forma para uso da humanidade, sem comprometer as necessidades dos ecossistemas e a continuidade hídrica dos cursos de água (PNUEA, 2012). O crescimento sustentável e o desenvolvimento de populações são fatores que monitorizam uma boa gestão sustentável da água (ONU, 2016).

No ano de 2030, a população mundial deve estar próxima de 8,5 bilhões de habitantes, em 2050, 9,7 bilhões e em 2100, possivelmente ultrapasse os 11 bilhões. Devido a esse avanço, o consumo de água no mundo nas últimas cinco décadas, aumentou aproximadamente seis vezes (ONU, 2016).

Estima-se que o planeta Terra possui cerca de 70% de toda a sua superfície coberta por água. Assim, imagina-se que ela estaria disponível e acessível a todos. Entretanto, desse total de água da superfície, aproximadamente 97% é formado por águas salgadas e apenas 3% por água doce (PINTO, 2017). Ressalta-se que deste volume de água doce, 71% são de difícil extração, pois está localizada e armazenada nas calotas polares e geleiras. Os outros 29% restantes de água doce no mundo estão distribuídos em águas subterrâneas (18%), rios e lagos (7%) e umidade do ar (4%) (RIBEIRO, 2008).

Segundo Mancuso et al. (2003), do total de água consumida no mundo, 65% são utilizados na agricultura, 25% na indústria e 10% para fins urbanos.

Analisando mundialmente, a América Latina apresenta-se como o bloco geoeconômico com melhor disponibilidade de água doce do planeta. Os países da Europa, apesar de apresentarem uma boa disponibilidade per capita devido ao desenvolvimento produtivo dos setores industrial e agrícola, têm os recursos hídricos já afetados tanto na qualidade quanto na quantidade. Percebe-se ainda que a África e a Ásia apresentam situações preocupantes, devido à grande população que nesses blocos se concentram (COSTA & BARROS JÚNIOR, 2005).

A Agência Nacional das Águas (BRASIL, 2018) afirma que o Brasil possui cerca de 12% da disponibilidade de água doce do mundo, sendo que 80% se encontra na região Norte, onde a densidade populacional é a menor do país. Já as regiões próximas ao Oceano Atlântico possuem mais de 45% da população, porém, menos de 3% dos recursos hídricos do país. Já o seu uso é feito da seguinte maneira: 70% é utilizado para irrigação na agricultura, enquanto que os outros 30%, são destinados para o uso industrial e doméstico.

Apesar da privilegiada situação brasileira, quanto à quantidade e à qualidade das águas, esses recursos hídricos não vêm sendo utilizados de uma forma correta e responsável.

A exploração, a despreocupação com os mananciais, má distribuição, poluição, desmatamento, desperdício e mau uso, são fatores que demonstram a falta de cuidado com este bem valioso, afetando diretamente as diversas atividades humanas (VIEIRA, COSTA & BARRÊTO, 2006).

Rebouças (2003) afirma que o Brasil, mesmo sendo detentor de uma das maiores reservas de água doce no mundo, também enfrenta internamente esse paradoxo, uma vez que as cidades passam por crises de abastecimento. Grande parte da água no país já perdeu a característica de recurso natural renovável (principalmente nas áreas densamente povoadas), em razão de processos de urbanização, industrialização e produção agrícola.

Pontua-se que a ideia de abundância da água, considerada por longo tempo um recurso renovável e inesgotável, se desfaz diante da constatação do crescimento de sua demanda, do fator da heterogeneidade de distribuição geográfica e sazonal da oferta hídrica e da degradação ambiental massiva e inconsequente (GONÇALVES et al., 2006; CHAIB et al., 2015).

Além do problema da distribuição geográfica, a escassez de água é um problema cada vez mais severo em todo o mundo devido a fatores como o consumo excessivo de água bruta, as mudanças climáticas, a poluição da água e o consumo insustentável dos recursos hídricos (LIMA et al., 2011).

O crescimento da demanda e o crescimento populacional acentuado e desordenado são os principais fatores que influenciam o aumento do consumo de água, principalmente nos grandes centros urbanos (HESPANHOL, 2008). Domenech & Saurí (2011) apontam um drástico aumento na demanda de água em ambientes urbanos, acompanhado por mudanças climáticas que afetarão o regime de chuvas, agravando os episódios de inundações e secas.

Outro fator a ser considerado refere-se às perdas de água decorrentes do desperdício, que ocorre nas residências, nas atividades em geral, e também nos sistemas de abastecimento das águas, em virtude de vazamento de água, problemas nas tubulações, má qualidade nos materiais utilizados, etc. No Brasil, baseados em dados estatísticos do ano de 2013, a região que tem mais desperdício de água é a Região Norte com 50,8%, seguida pela Região Nordeste, com uma perda de 45%, e a Região Sul com 35,1%. Já as Regiões Centro-Oeste e Sudeste possuem a mesma taxa de perda, com 33,4% (LIMA et al., 2011).

As questões relacionadas aos recursos hídricos ocupam, hoje, uma significativa parcela dos investimentos e esforços administrativos de todos os segmentos da atividade econômica. A preocupação com os recursos hídricos deixou de ser um modismo e as tentativas de colocar em prática um desenvolvimento sustentável, têm levado os dirigentes públicos a tomar medidas que provocam mudanças nos valores vigentes da sociedade e também em seus próprios sistemas operacionais (BARROS et al., 2015).

Nos últimos anos esse aumento da demanda por água tem imposto a adoção de programas para conservá-la (TUCCI, 2008), pensando em formas para diminuir o impacto sob esse recurso natural. É imprescindível administrar sua gestão, e uma das maneiras de fazê-la é seguindo algumas formas de otimização e multiplicação (LIMA et al., 2011).

Nesses programas, a atenção deve-se voltar para todos os tipos de água doce, incluindo tanto águas de superfície como subterrâneas, reconhecendo os usos múltiplos da água na utilização (abastecimento de água potável e saneamento, agricultura, indústria, desenvolvimento urbano, geração de energia hidroeétrica, transporte e outras atividades), bem como têm de contar com o apoio de medidas concomitantes de conservação e minimização do desperdício (MMA, 1996).

Visando à proteção dos mananciais existentes, a substituição de água tratada por água de reuso pode ser uma ótima alternativa quanto à gestão de oferta para atender às demandas não potáveis, e assim, pode-se deixar que as águas potáveis sejam utilizadas para fins mais importantes, como o consumo por exemplo (LIMA et al., 2011).

## **2.5 Reuso de Água**

A conservação da água engloba uma série de ações ligadas à redução de consumo e desperdício de água e, ao aumento da eficiência na utilização desse recurso juntamente com a evolução de técnicas apropriadas de reciclagem e reuso de água que sejam economicamente viáveis, seguras e garantam a segurança e saúde de seus usuários (CAMPOS & AZEVEDO, 2013).

A água de reuso é a água residuária que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas (BRASIL, 2005). Segundo Metcalf (2003), reusar água é aproveitar a água residuária recuperada, através da remoção ou não de parte dos resíduos por ela carreada em uso anterior, e usá-la novamente, em aplicações menos exigentes que o primeiro uso, encurtando assim o ciclo da natureza em favor do balanço energético.

O reuso de água para qualquer fim, depende de sua qualidade física, química e microbiológica. Para que a água possa ser reutilizada, a maioria dos parâmetros físico-químicos de qualidade deve ser bem compreendida, tornando possível estabelecer critérios de qualidade que sejam orientadores para esse fim (FIORI et al., 2006).

A reutilização de água ou o uso de águas residuárias não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos. Há relatos dessa prática na Grécia Antiga, com a disposição e utilização de esgotos na irrigação, sendo esse um conceito bastante antigo (CUNHA et al., 2011).

A grande vantagem da reutilização baseia-se em preservar a água potável para que sejam satisfeitas demandas para os usos mais nobres (WEBER et al., 2010; FERRO et al.,

2015). Entre outras vantagens estão à redução do volume de esgoto descartado e a redução dos custos com água, luz e esgoto (LEGNER, 2013).

Contudo, o consumo de água tem feito do reuso planejado um tema de grande importância nos dias atuais, considerando-o como uma atividade mais abrangente, englobando o uso racional ou eficiente da água, compreendendo o controle de perdas e desperdícios e a minimização da produção de resíduos (CARVALHO et al., 2014).

O reuso de água surge em dois aspectos, primeiro como instrumento para redução do consumo de água, e segundo, como recurso hídrico complementar, principalmente dentro das residências populares que ainda sofrem muito com a falta desse recurso, às vezes devido ao uso não racional ou ao sistema público de abastecimento de água (FURTADO, MAIA & SOUZA 2018).

### 2.5.1 Legislação Sobre Reuso

A existência de leis e normas é de fundamental importância para o possível uso de efluentes tratados, servindo como diretrizes e determinando parâmetros a serem seguidos. Não somente no Brasil, mas em muitos países, a legislação sobre reuso é inexistente, muito branda ou muito restritiva, faltando estudos evidenciem os reais parâmetros a serem adotados.

A reutilização da água é considerada uma componente estratégica da conservação dos recursos hídricos pela Organização das Nações Unidas (ONU) e pela União Europeia (UE) (MONTE & ALBUQUERQUE, 2010). Contudo, os valores apresentados se mostram bastante restritivos, fazendo com que o seu atendimento onere a prática do reuso, representando uma barreira para a difusão desta prática (ALMEIDA, 2007).

Na Tabela 2 encontram-se as principais recomendações para reuso de águas residuárias a nível mundial de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2000) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*U. S. Environmental Protection Agency – EPA*) (USEPA, 2004).

Tabela 2 – Parâmetros para reuso de águas residuárias para usos específicos.

<i>Instituição</i>	<i>Tipos de Reuso</i>	<i>Diretrizes</i>
OMS	Irrigação de parques públicos	Coliformes termotolerantes < 1000/100mL
USEPA	Reuso Urbano	pH: entre 6,0 e 9,0 DBO: ≤ 10mg/L Turbidez: ≤ 2 NTU Coliformes termotolerantes: não detectáveis em 100mL Cloro Residual: ≥ 1 mg/L

Fonte: OMS, 2000; USEPA, 2004, adaptada.

A Agenda 21 é um dos documentos mais importantes para o desenvolvimento sustentável mundial, resultado da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1992. Ela apresenta, em seu Capítulo 18, como promover a proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos, aplicando critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos, bem como maneiras de se alcançar tal objetivo, formas de desenvolvimento de fontes novas e alternativas de abastecimento de água, tais como dessalinização da água do mar, reposição artificial de águas subterrâneas, uso de água de pouca qualidade, aproveitamento de águas residuais e reciclagem da água (MMA, 1996)

No Brasil, a Lei 9433 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997) institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e em seus diversos artigos são definidos os objetivos e os meios de alcançá-los, como no Art. 1º e Art. 2º, em que baseia seus fundamentos e objetivos, abrangendo questões de racionalidade no uso da água e sustentabilidade, favorecendo ao reuso como forma de alcançar tais objetivos, como forma de garantir o abastecimento futuro das populações.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), pela NBR 13 969 (ABNT, 1997), intitulada como “Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação” foi a primeira norma brasileira a explicitar sobre questões de reuso, abrangendo desde o tratamento até o treinamento dos operadores do sistema, definindo como reuso local de efluente tratado a utilização no próprio lugar de geração do esgoto para diversas finalidades, exceto para o consumo humano. Segundo a normativa, o reuso local de esgoto deve ser planejado de modo a permitir seu uso seguro e racional para minimizar o custo de implantação do sistema de tratamento e da rede de reuso e de operação.

A Agência Nacional das Águas (ANA) foi criada através da Lei Federal n.º 9984/2000, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, e tem por objetivo a implementação da PNRH e coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Ela possui diversas áreas relacionadas à prática do reuso quais sejam de regulação, de tecnologia e capacitação, de informações hidrológicas, de administração e finanças, de fiscalização, de conservação de água de solo, de programas e projetos, de usos múltiplos e de planejamento de recursos hídricos (BRASIL, 2000).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) lançou, em 2003, uma minuta de resolução, similar à recomendação da OMS, incentivando as práticas de reuso de águas de qualidade inferior e estabelecendo os padrões de qualidade dos efluentes para cada modalidade de reuso, o que representou um grande passo na legalização da técnica no país.

Entretanto, somente no ano de 2005 essa prática foi definida e enquadrada pelo órgão, na Resolução n.º 54/2005, como sendo a utilização de água residuária. Esta é definida na

mesma resolução como sendo “esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não” (BRASIL, 2005).

Essa resolução foi a primeira a tratar de maneira explícita, sobre a questão do reuso no Brasil, caracterizando como um marco inicial de legalização do reuso de efluentes, tratados ou não, definindo as modalidades de reuso direto de água devidamente regulamentadas e implementadas na PNRH para fins urbano, agrícola e florestal, ambiental, industrial e para a aquicultura. Além disso, incentivou a prática do reuso em diversas modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentam e estimulam a prática de reuso direto não potável de água em todo o território nacional, mas não estabeleceu parâmetros específicos para seu emprego.

Essa categoria respeita também a legislação prevista pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), na Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, de acordo com o uso pretendido da água (BRASIL, 2005), e na Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, que complementa e altera a resolução anteriormente citada, estabelecendo padrões e condições para lançamento de efluentes, incluindo de esgotos sanitários, (BRASIL, 2011).

Para a prática de reuso não potável, existem algumas leis que estabelecem a necessidade de programas de reuso, baseadas na Resolução CNRH nº 54/2005. Todavia, grande parte das leis não apresentam orientações técnicas para aplicação dos mesmos, além de não definir prazos e/ou responsabilidades de reguladores da atividade.

Atualmente, nesse contexto existem ao mínimo, duas exceções no âmbito estadual, para os estados do Ceará e São Paulo, sendo:

- i. Ceará: Lei Estadual nº 16.033/2016 e a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) nº 2/2017, que dispõem, respectivamente, sobre a política de reuso de água não potável no Ceará e sobre os padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras;
- ii. São Paulo: Resolução conjunta entre as Secretaria Estadual de Saúde de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente e Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SES/SMA/SSRH) nº 1/2017, que disciplina o reuso de água para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas (IICA, 2017).

Ao se referir aos padrões exigidos pelos tipos de reuso, Rodrigues (2005) afirma que os tipos de reuso devem ser regidos por padrões que visem à proteção de trabalhadores, consumidores, população vizinha, e demais comunidades envolvidas com o reuso, bem como a proteção do meio ambiente. Contudo, em nenhuma das normas citadas abordam os aspectos práticos do reuso, e essa ausência pode acarretar uma série de problemas como: estabelecimento de práticas inadequadas; altos riscos à saúde pública e contaminação do meio ambiente; redução da

disponibilidade hídrica; conflitos com empresas responsáveis por abastecimento de água; inadequação ou violação às leis ambientais de outorga e de licenciamento e dificuldade de autorização por parte de órgãos ambientais.

Segundo Brito (2012), no Brasil, além da inexistência de regulamentação em nível federal, o enorme déficit de tratamento de esgoto no país e a falta de uma política que integre o uso planejado de esgoto tratado à gestão dos recursos hídricos, são os principais entraves para a prática do reuso no país.

### 2.5.2 Tipos de Reuso

Hespanhol (2008) observa que as formas potenciais e as possibilidades de reuso da água dependem das características, condições e características locais, como decisão política, planos institucionais, disponibilidade técnica, além de fatores sociais, culturais e econômicos.

O reuso de água possui inúmeras classificações baseadas na maneira como ele ocorre, no grau de planejamento e na finalidade para qual esse se destina.

Segundo Mancuso & Santos (2003), o reuso de água pode ser classificado, de maneira geral, em potável e não potável, dependendo do seu uso, sua finalidade e tipo de tratamento. Essa classificação foi adotada por diversos autores devido à praticidade e facilidade de estudo, uma vez que as possibilidades de reuso existentes são consideradas diversas.

Já Bernardi (2003) ressalva que essas modalidades não são consideradas exclusivas e desta forma podem-se empregar conjuntamente mais de uma delas e um mesmo local.

A Figura 13 apresenta alguns dos tipos de reuso e suas formas potenciais, que podem ser implantadas em áreas urbanas e rurais.

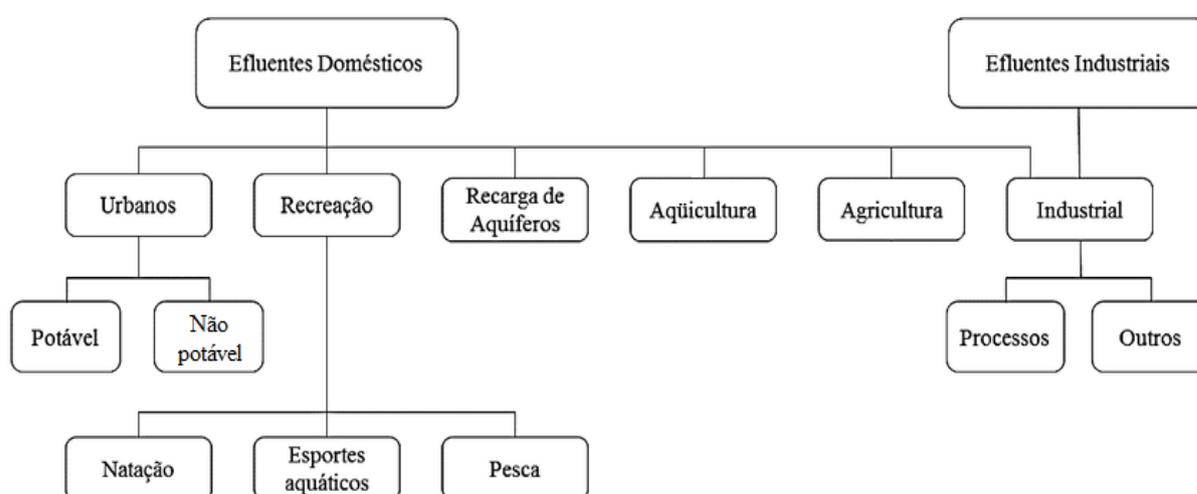


Figura 13: Formas potenciais de reuso de água.

Fonte: HESPANHOL, 2002, adaptada.

Os tipos de reuso das águas podem ser classificados em:

- i. Reuso indireto não planejado: quando a água já utilizada em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e é utilizada a jusante novamente, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada;
- ii. Reuso indireto planejado: quando o efluente, depois de tratado, é despejado de forma planejada nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, para ser utilizada a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada, no intuito de algum uso benéfico.
- iii. Reuso planejado: quando é resultado de uma ação humana consciente, adiante do ponto de descarga do efluente a ser usado de forma direta ou indireta;
- iv. Reuso direto planejado: quando o efluente, após ser devidamente tratado, é encaminhado diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente (HESPANHOL, 2006).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency – USEPA*), em sua mais recente publicação, intitulada “*Guidelines for Water Reuse*” (Orientações Para o Reuso de Água), apresenta uma forma diferente em relação à adotada pelo Brasil, quanto à classificação da água para reutilização, como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação da água de reuso.

<i>Classificação da água de reuso</i>	
Reuso urbano	Uso sem restrições: espaços públicos
	Uso com restrições: espaços públicos com áreas restritas
Reuso para fins agrícolas	Cultivo de alimentos
	Cultivo de alimentos processados ou não consumido por humanos
Represamento	Uso sem restrições: atividades recreativas
	Uso com restrições: sem contato humano
Reuso ambiental	
Reuso industrial	
Reabastecimento	
Reuso para fins potáveis	Reuso indireto: após tratamento preliminar será inserido na estação de tratamento de água para distribuição
	Reuso direto: inserido diretamente na estação de tratamento de água para distribuição, sem tratamento preliminar

Fonte: USEPA, 2012, adaptado.

No Brasil, o reuso é classificado a partir de parâmetros físico-químicos de qualidade e, adequada aplicação, conforme estabelecido na (ABNT) NBR 13.969/97, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação das águas de reuso.

<i>Água de Reuso</i>	<i>Aplicações</i>	<i>Padrões de Qualidade</i>
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário	Turbidez < 5uT Coliformes Termotolerantes < 200 NMP/100 mL Sólidos Dissolvidos totais < 200 mg/L pH entre 6 e 8 Cloro residual entre 0,5 a 1,5 mg/L
Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos (exceto chafarizes)	Turbidez < 5uT Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100 mL Cloro residual superior a 0,5 mg/L
Classe 3	Descargas em vasos sanitários	Turbidez < 10uT Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100 mL
Classe 4	Irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual	Coliformes Termotolerantes < 5000 NMP/100 mL Oxigênio dissolvido > 2,0 mg/L

Fonte: ABNT NBR 13 969/97.

Esta norma indica: quais os usos possíveis para a água de reuso; como estimar o volume de água a ser reutilizado; quais os graus de tratamento necessários baseados na classificação de usos mais restritivos e respectivos parâmetros de qualidade para esgotos; dimensionamento do sistema de reservação e distribuição; a obrigatoriedade para os gerenciadores dos sistemas de reuso, principalmente aqueles que envolvem condomínios residenciais ou comerciais com grande número de pessoas voltadas para a manutenção e operação do sistema, de fornecerem o manual de operação e treinamento dos responsáveis; e também o tipo de avaliação e amostragem de monitoramento a ser realizado.

A técnica de reuso da água proporciona mudanças para um sistema de abastecimento de água, de forma eficiente e sustentável, podendo ser utilizada como um instrumento para a gestão dos recursos hídricos do Brasil (WILCOX et al., 2016).

Os benefícios decorrentes da utilização da água de reuso são de ordem econômica e social, e pela ótica ambiental, aspectos positivos são destacados com as reduções nas descargas de águas residuárias em corpos de água naturais, minimizando assim a poluição hídrica, além de diminuir a pressão sobre a captação de água bruta (BRAHIM-NEJI, RUIZ-VILLAVARDE, & GONZÁLEZ-GÓMEZ, 2014; GIORDANNI et al., 2018).

Os processos que utilizam grandes volumes de água contribuem significativamente para a contaminação dos corpos d'água, principalmente pela ausência de tratamento para os grandes volumes de efluentes líquidos produzidos. Dentro deste contexto, uma importante parcela do processo de contaminação no Estado de Goiás pode ser atribuída às diversas ativi-

dades industriais e hidrosanitárias, principalmente a partir do final da década de 90 (DOS SANTOS JÚNIOR et al., 2012).

### 2.5.3 Principais Parâmetros de Controle de Qualidade Para Reuso de Águas

A definição da qualidade está baseada na adequação ao seu uso, e a classificação para uma água, em de boa ou má qualidade, só tem sentido quando se leva em consideração o seu uso e algumas das aplicações mais comuns para a água de reuso já foram suficientemente pesquisadas, permitindo o estabelecimento de níveis seguro de qualidade (MAY, 2009).

Segundo Sousa (2008), para entender quais as características que a água de reuso deve possuir, devem-se conhecer quais os principais agentes poluidores da água e quais deles são preocupantes para um sistema de reuso, e dependendo do uso específico que se pretende fazer, os padrões de qualidade requerem um tratamento adicional para a remoção de nutrientes, redução da demanda de oxigênio, remoção de sólidos suspensos, cor, sabor, odor e também retirada ou inativação de organismos patogênicos.

#### 2.5.3.1 Parâmetros físicos

Os parâmetros físicos mais relevantes são: turbidez, o conteúdo de sólidos e a condutividade elétrica (CE).

A turbidez é o indicador da presença de material em suspensão, devido à presença de matérias sólidas em suspensão, matéria orgânica e inorgânica (divididas em organismos microscópicos e algas), sendo que em esgotos mais frescos e concentrados apresentam uma turbidez geralmente elevada (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

A presença de sólidos está distribuída da seguinte forma: em suspensão (sedimentáveis e não sedimentáveis) e dissolvidos (voláteis e fixos). Sólidos em suspensão podem ser definidos como as partículas passíveis de retenção por processos de filtração; e os sólidos dissolvidos são constituídos por partículas de diâmetro inferior a  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$  e que permanecem em solução mesmo após a filtração (BRASIL, 2014). Já o parâmetro de sólidos totais dissolvidos está intimamente ligado ao de condutividade elétrica, uma vez que esses sólidos, quando dissolvidos na água, apresentam caráter de condução de corrente elétrica de acordo com os diferentes tipos de espécies iônicas dispersas (VON SPERLING, 2014).

As medidas de turbidez e sólidos suspensos podem dar alguma informação a respeito do conteúdo de partículas e colóides que poderiam induzir ao entupimento de instalações de transporte e tratamento desses efluentes, uma vez que partículas em suspensão interferem na passagem da luz através da água, impedindo a ação de alguns agentes desinfetantes, como o UV, e principalmente a reação com o cloro; e embora o conteúdo de sólidos esperados na água cinza seja menor, cerca de 32,7% da carga do esgoto convencional, esses problemas re-

lacionados com entupimento de tubulação não podem ser negligenciados (ERIKSSON et al., 2002; Gray e Becker, 2002; RAPOPORT, 2004).

A CE é um parâmetro que se relaciona ao teor de salinidade, e indica a capacidade da água de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions, geralmente sais inorgânicos (como cloretos, sulfetos, carbonatos e fosfatos), sendo, por consequência, diretamente proporcional à concentração iônica (LACERDA et al., 2015). É uma grandeza bastante utilizada para a detecção de contaminação por sais, principalmente em trocadores de calor e circuitos de arrefecimento (LIBÂNIO, 2008).

#### 2.5.3.2 Parâmetros químicos

Rapoport (2004) detalha que os principais grupos de substâncias orgânicas encontradas nas águas residuárias são proteínas, carboidratos, gorduras e óleos, e que além destes, podem existir moléculas orgânicas sintéticas tais como surfactantes, fenóis e pesticidas agrícolas que são de difícil biodegradação.

As características químicas serão divididas em:

- Alcalinidade

A alcalinidade pode ser definida como sua capacidade de reagir quantitativamente com um ácido forte até um valor definido de pH. Os principais componentes da alcalinidade são os sais do ácido carbônico, ou seja, bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e as hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ). A distribuição entre as três formas de alcalinidade na água é função do pH: pH > 9,4 (hidróxidos e carbonatos); pH entre 8,3 e 9,4 (carbonatos e bicarbonatos); pH entre 4,4 e 8,3 (apenas bicarbonatos) (BRASIL, 2014).

A alcalinidade das águas não representa risco potencial à saúde pública, entretanto esgotos e efluentes possuem usualmente alcalinidades altas, e podem vir a provocar a formação de incrustações e corrosão em encanamentos e tubulações devido à precipitação de carbonatos (LIBÂNIO 2008).

- Cloreto

O cloreto está diretamente correlacionado com a dureza permanente da água, devido a sua combinação com os íons cálcio e magnésio, dando origem a compostos solúveis que não podem ser retirados pelo aquecimento. É o mais comum ânion inorgânico encontrado em águas e efluentes, podendo ter origem antrópica e geológica, sendo a lixiviação de rochas, esgotos domésticos e industriais a sua principal origem (USEPA, 2012). É muito corrosivo para a maioria dos metais em sistemas de alta pressão e temperatura, como caldeiras e equi-

pamentos de extração de petróleo, e seu efeito deve-se ao fato de ser um eletrólito forte, ocasionando o aumento de condutividade (GENTIL, 2003).

- Compostos Orgânicos

A matéria orgânica carbonácea presente nos despejos é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas, ou seja, o consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos de utilização e estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 2005).

A DBO e a DQO são dois parâmetros indicadores do teor de matéria orgânica na água, ou seja, indicam o consumo ou a demanda de oxigênio necessário para estabilizar a matéria orgânica contida na amostra de água (BRASIL, 2014). Ambas constituem em ferramentas imprescindíveis nos estudos de autodepuração dos cursos d'água. Além disso, constituem-se em importantes parâmetros na composição dos índices de qualidade das águas (BRIÃO, 2000).

A DBO é a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica carbonácea por meio da ação de microrganismos, principalmente de bactérias por processos bioquímicos (MEES, 2006). Já a DQO é o parâmetro utilizado para medir tanto a matéria orgânica degradável como a não biodegradável (inseticidas detergentes) (RAPOPORT, 2004).

Ambas irão indicar o risco de depleção de oxigênio devido à degradação da matéria orgânica durante o transporte e estocagem e, ligado a isso, o risco de produção de sulfeto. Assim, espera-se que os níveis de DQO sejam próximos aos encontrados para o esgoto doméstico convencional, enquanto que para as concentrações de DBO esperam-se valores mais baixos (ERIKSSON et al., 2002).

O lançamento desse rejeito em corpo d'água irá atingir diretamente a sua qualidade, alterando suas características originais e ocasionando vários desequilíbrios, tanto na fauna quanto na flora. Portanto, é notável a importância do tratamento adequado desses efluentes para controlar os impactos ambientais e diminuir o desequilíbrio que o lançamento in natura destes gera nos ecossistemas hídricos (BORGES, COSTA & GONTIJO, 2019).

- Compostos Fosforados

O fósforo é considerado o nutriente de maior importância nos fenômenos de eutrofização e têm sido o foco de atenções para a melhoria da qualidade dos corpos d'água, pois este elemento é considerado fator limitante ao desencadeamento das florações de algas (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999).

Pode ser encontrado nas formas orgânica, inorgânica complexa (polifosfatos) e ortofosfato inorgânico solúvel, este como produto final no ciclo do fósforo, a forma mais prontamente disponível para uso biológico (MENDONÇA et al., 2012). Nos esgotos sanitários, a

contribuição das diferentes frações de fósforo é variável de acordo com as disparidades nas condições culturais e socioeconômicas da população nas diversas localidades (LOURES et al., 2006).

Em esgotos, sua principal fonte são os detergentes, principalmente em locais onde ainda é permitido o uso de detergentes contendo fosfatos, produto largamente utilizado para limpeza de equipamentos do processamento do leite, limpeza de pisos e utensílios de refeitórios (VON SPERLING, 2005). Entretanto, em locais onde o uso desses detergentes não é permitido, o conteúdo de fósforo na água cinza tende a ser 70% menor (OTTERPOHL, 2001; ERIKSSON et al., 2002).

É também é considerado um grande poluente de cursos de água, especialmente as águas superficiais, já que pouco ocorre percolação deste elemento. O excesso de P pode causar a eutrofização, que é o enriquecimento de nutrientes excessivo da água, estimulando o crescimento de algas e plantas (KLEIN & AGNE, 2012).

A água cinza contribui, de maneira geral, com apenas com 12,4% da carga de fósforo em uma residência (GRAY E BECKER, 2002).

- Dureza

A dureza total é um parâmetro característico da qualidade de águas, provocada principalmente pela presença de sais de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e de magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), ou de outros metais como bário, ferro, manganês, estrôncio e zinco, na forma de bicarbonatos, sulfatos, cloretos e nitratos encontrados em solução, sendo que frequentemente estão na forma complexa (BRASIL, 2014).

Este parâmetro é característico para o controle da qualidade de águas destinadas ao abastecimento doméstico e industrial. Águas de elevada dureza reduzem a formação de espuma, o que implica em um maior consumo de sabões e xampus, além de provocar incrustações, corrosão e perda de eficiência em superfícies de troca de calor (como em caldeiras e aquecedores), devido à precipitação dos cátions em altas temperaturas, resultando em baixa transmissão de calor e possíveis danos ao equipamento (EUVRARD et al., 1997; FERNANDES et al., 2015). A diminuição desse parâmetro permite atingir maior confiabilidade da operação (segurança), maior eficiência e aumento da vida útil dos equipamentos (AYRES, 1999).

Além disso, as medidas de alcalinidade e dureza (de maneira similar às de turbidez e sólidos suspensos) dão alguma informação a respeito do risco de entupimento das tubulações (ERIKSSON et al., 2002).

- Ferro

O ferro é encontrado na natureza na forma de óxido e em minerais onde ele aparece combinado com silício ou enxofre. O teor de ferro solúvel em águas superficiais raramente

ultrapassa 1 mg/L, enquanto águas subterrâneas contêm teores maiores devido ao contato com substratos vizinhos. Basicamente, o ferro pode se apresentar nas águas nos estados de oxidação  $\text{Fe}^{+2}$  (íon ferroso) e  $\text{Fe}^{+3}$  (íon férrico). O  $\text{Fe}^{+2}$  é mais solúvel e frequente do que o  $\text{Fe}^{+3}$ , sendo o maior causador de inconvenientes às águas (BRASIL, 2014).

A concentração de ferro interfere na turbidez e cor da água. Altas concentrações desse elemento traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações (incrustações) e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica (PIVELI, 2015).

- pH

O pH representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio, por meio da medição da presença de íons hidrogênio ( $\text{H}^+$ ). O valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de vários elementos (BRASIL, 2014).

O pH na água cinza depende basicamente do pH da água de abastecimento. Entretanto, alguns produtos químicos utilizados podem contribuir para aumento o do mesmo, constituindo um grupo heterogêneo de compostos. Ela é medida numa escala de 0-14 com os números de menos de 7,0 indicando uma solução ácida e números acima de 7,0 indicando uma solução alcalino-básica (RAPOPORT, 2004).

Segundo Von Sperling (1996), valores de pH afastados da neutralidade podem afetar consideravelmente as características do ambiente aquático e, conseqüentemente, a vida dos seres existentes nesse meio.

Alguns produtos químicos são esperados que estejam presentes na água cinza, originados pelo uso de sabões, detergentes, xampus, perfumes, tinturas, produtos de limpeza, entre outros. O efluente da cozinha ainda possui lipídios (óleos e gorduras), chá, café, amido solúvel, glicose, entre outros. Já na lavanderia, diferentes tipos de detergentes, alvejantes e perfumes são utilizados. O principal composto da lista são os surfactantes (não iônicos, aniônicos e anfóteros) utilizados em detergentes e produtos de higiene pessoal (ERIKSSON et al., 2002). De acordo com Grey e Becker (2002), a carga de óleos e graxas na água cinza é de 61,5% da carga de um esgoto residencial convencional.

- Óleos e Graxas (OG)

Os OGs são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal, e geralmente são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros (ORSSATTO, HERMES & VILAS BOAS, 2010). Os despejos gordurosos nas instalações sanitárias prediais são oriundos principalmente do preparo e manipulação de alimentos e do descarte de seus resíduos. É o terceiro constituinte do esgoto doméstico em termos quantitativos (GNIPPER, 2008). Segundo a FU-

NASA (2004), os óleos e gorduras derivam principalmente pelo uso de manteiga, óleos vegetais, carnes, etc.

### 2.5.3.3 Parâmetros biológicos

Os organismos encontrados nas águas superficiais e residuárias incluem bactérias, fungos, algas, protozoários, vírus, plantas e animais. No que diz respeito à qualidade da água, os organismos de dimensões microscópicas, ou seja, microrganismos são de especial interesse, devido à patogenicidade de alguns indivíduos. Organismos patogênicos, são excretados por humanos e animais portadores ou infectados com uma doença em particular, são os agentes etiológicos de uma série de doenças transmitidas pela água (METCALF E EDDY, 2003).

Uma técnica de detecção de organismos mais numerosos e fáceis de serem testados é utilizada como indicadores da presença de patógenos presentes em pequenas quantidades nas águas (REZENDE, 2016). Vários organismos podem ser utilizados como indicadores, como por exemplo, bactérias do grupo coliformes, estreptococos fecais, clostrídias redutores de enxofre (indica a possível sobrevivência de patógenos à desinfecção), bacteriófagos (indica a possível presença de vírus) e ovos de helmintos (VON SPERLING, 2005).

Dentre os organismos mais utilizados como indicadores estão as bactérias do grupo coliforme. Os coliformes totais (CT) foram os primeiros indicadores da poluição humana adotados, no entanto como não são de origem exclusivamente do trato intestinal humano e de animais, não indicam necessariamente a presença de organismos patogênicos (JORDÃO E PESSÔA, 2011). Os coliformes fecais ou termotolerantes (CTer) são um subgrupo dos CT, composto praticamente de organismo de origem fecal (JORDÃO E PESSÔA, 2011).

A análise de coliformes totais presentes nas amostras de águas residuárias é considerada como um bom indicador microbiológico da qualidade da água, pois é facilmente detectável e quantificável (ABELHO, 2010), uma vez que as principais bactérias pertençam aos gêneros *Escherichia*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo (BRASIL, 2014).

Serão destacadas as possíveis aplicações de práticas de reuso urbano não potável, provenientes de um efluente industrial (laticínio) e de um efluente doméstico (águas cinzas).

### 2.5.4 Reuso de Efluente Industrial - Laticínio

As indústrias, de modo geral, estão expostas a dois instrumentos de exigências: as imposições ambientais e de saúde pública, e a necessidade de gerir os recursos hídricos. Para se adaptarem, buscam aprimoramento dos processos industriais e desenvolvem sistemas de gestão ambiental e estabelecendo sistemas e procedimentos para a gestão da demanda de água e a minimização da geração de efluentes (MIERZWA E HESPANHOL, 2005).

O crescente aumento do custo da água tratada, bem como critérios cada vez mais rigorosos de descartes de efluentes, tem incentivado as indústrias cada vez mais ao reaproveitamento da água industrial (FARIA, 2004). Esse tipo de atividade gera uma grande quantidade de efluentes e que se não forem tratados de maneira correta, ocasionam poluição e prejuízos aos corpos hídricos, tornando as exigências ambientais rigorosas (BORGES, COSTA & GONTIJO, 2019).

Além disso, os consumidores estão cada vez mais exigentes e ambientalmente conscientes. A necessidade crescente pela preservação do meio ambiente leva a um movimento de conscientização da sociedade no sentido de cada vez mais, consumir produtos e serviços que gerem menor impacto ambiental, exigindo uma adequação por parte das empresas/indústrias (RABELO & ALVES, 2016).

Os resíduos industriais podem se apresentar na forma líquida, conhecida como efluente industrial ou água residuária; na forma sólida, também chamada de resíduo sólido industrial ou como emissões atmosféricas. Toda a água utilizada pela indústria durante seu processo produtivo e depois dele, seja na lavagem de equipamentos, nos refeitórios, nos banheiros ou na higienização dos funcionários torna-se contaminada pelo processo industrial gerando o efluente líquido (SCHOENINGER, 2005).

Os efluentes líquidos industriais têm origem nas águas utilizadas na área de utilidade e/ou nos processos industriais. Suas características dependem da natureza da indústria (tipologia), das matérias-primas processadas, das etapas de transformação utilizadas no processo, da incorporação de substâncias indesejáveis à água (como detergentes, solventes, pigmentos, etc.), do porte da indústria e do modelo de gestão empregado (CAMMAROTA, 2011).

Muitos processos industriais dependem da disponibilidade de água em grandes quantidades. Os maiores consumidores de água, ao nível das indústrias de transformação, são as papel (39%), produtos alimentares e bebidas (20%), metalúrgicas (11%), produtos químicos (10%) e têxteis (4%) (MARECOS, 2010).

Devido a essa extrema diversidade existente, é necessário o entendimento do processo em estudo, das operações e das características de seus efluentes individuais para identificar a principal origem de poluição, propor uma estratégia de redução de poluição e avaliar a necessidade de sistema de tratamento de águas residuárias (FREITAS, 2002).

As indústrias lácteas, no Brasil, começaram a se desenvolver a partir da crise de 1929, com a queda das importações e o aumento da valorização de produtos nacionais. Nas décadas seguintes, de 50 e 60, houve o crescimento com a instalação da indústria e de equipamentos, surgimento do leite B, invenção de novas embalagens, e a chegada de multinacionais ao país. Em meados das décadas de 70 e 90, devido a abertura de mercados internacionais, a criação do MERCOSUL, o fim da intervenção governamental no preço do leite e a estabilização da

economia mundial; houve uma enorme contribuição para que no ano de 2001 o Brasil já estivesse entre os maiores produtores mundiais de leite (MAGANHA, 2006).

A indústria de laticínios representa uma atividade de grande importância na economia mundial e brasileira e de acordo com dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), em 2016, Brasil já era o 5º maior produtor de leite em nível internacional, ficando apenas atrás da Índia, Estados Unidos da América, China e Paquistão. Estima-se que a produção atual de leite no Brasil seja de 33,5 bilhões de litros anuais, ocupando papel significativo no abastecimento de alimentos e na geração de empregos (IBGE, 2018).

As empresas de laticínios apresentam uma heterogeneidade no que diz respeito aos produtos fabricados, às tecnologias que são empregadas e ao tamanho, existindo desde pequenos laticínios até multinacionais e grandes cooperativas (MACHADO et al., 2002).

Dados do Ministério da Agricultura mostraram que existem aproximadamente 2 mil indústrias processadoras de leite registradas no Serviço de Fiscalização Federal (SIF) (ZOCAL, 2016). Dentre os principais laticínios no Brasil, a Nestlé se destaca como a maior produtora, com cerca de 1,6 milhões de litros de leite processado, seguida pelos Laticínios Bela Vista (1,4 milhões de L) e a Cooperativa UNLUM (Cooperativas Frisia, Castrolanda e Capal) (1,1 milhões de L) (PILA, 2018).

O alto consumo de água em laticínios é relacionado à necessidade de manutenção das condições sanitárias e de higiene, e deve-se, principalmente, às operações de limpeza, lavagem da massa láctea, resfriamento e geração de vapor (MAGANHA, 2006). De acordo com Vourch et al. (2008), esse consumo irá depender do volume de leite processado, da qualidade da água requerida para os diferentes processos industriais, além das práticas de gerenciamento da água na indústria.

Apesar de ser uma atividade economicamente e socialmente importante, o setor de laticínios deve ter seus efluentes tratados para não contribuírem com o aumento da poluição hídrica (FIGUEIREDO et al., 2015), uma vez que são gerados de 1 a 6 litros de despejos para cada litro de leite processado (MAGANHA, 2006), contendo poluentes orgânicos e inorgânicos, que podem estar solúveis na água ou em suspensão na forma de partículas, sólidas ou líquidas (CAMMAROTA, 2011).

Em muitos laticínios, o soro do leite leva a mesma destinação dos demais efluentes, sendo este o principal agente poluidor desse tipo de indústria, pois para produzir 1 kg de queijo são necessários 10 L de leite, o que gera 9 L de soro (LEITE, BARROZO & RIBEIRO, 2012). Devido ao volume, ao baixo aproveitamento e ao potencial poluidor (ROHLFES et al., 2011), o soro, o leite e o leite ácido, devem receber destinação diferente e adequada (BUSS & HENKES, 2015).

As características dos efluentes de laticínios dependem do teor de matéria orgânica, da elevada concentração de óleos e graxas, dos altos teores de nitrogênio e fósforo (no uso de produtos para limpeza e desinfecção), das grandes variações no pH (provenientes de substâncias utilizadas nas operações de limpeza), alta condutividade elétrica, e variações na temperatura provocadas por etapas produtivas específicas (MAGANHA, 2006).

As características dos efluentes de laticínios são relacionadas com os principais produtos processados ou com os processos produtivos, conforme a Tabela 4 (GUTIERRES et al., 1991; ANDERSON, KASAPGIL & INCE, 1994; MONRROY et al., 1994; DANALEWICH et al., 1998; GAVALA et al., 1999; ARBELI et al., 2006; JANCZUKOWICZ et al., 2008).

Tabela 4 – Características dos efluentes gerados em função dos produtos de laticínios.

<i>Produto ou Origem</i>	<i>DQO</i> (mg/L)	<i>DBO</i> (mg/L)	<i>SST</i> (mg/L)	<i>NTK</i> (mg/L)	<i>P</i> (mg/L)	<i>Gorduras</i> (mg/L)
Sorvete	4934	nm	1120	350	nm	610
Produtos diversos	18045	8236	7175	329	637	4890
Queijos*	1466	2909	1910	62	134	ni
Queijos**	1887	2817	853	83	68	ni
Queijos***	1175	1570	326	74	52	ni
Embalagem de leite	1500-5000	1000-3000	200-700	50-60	4-6	300-1000
Produtos variados <sup>1</sup>	4500	2300	816	56	33	ni
Queijos	60000	-	2500	830	280	ni
Processamento térmico	3470	14639	3821	ni	ni	-
Manteiga	8925	2423	5066	ni	ni	2882
Recepção de leite	2542	797	653	ni	ni	1056
Produção de queijo	11753	3456	939	ni	ni	330
Soro doce	73445	29480	7152	ni	ni	994
Soro ácido	58549	26766	8314	ni	ni	491
Produtos variados <sup>2</sup>	4441	1748	1071	ni	ni	573

Fonte: GUTIERRES et al., 1991; ANDERSON, KASAPGIL & INCE, 1994; MONRROY et al., 1994; DANALEWICH et al., 1998; GAVALA et al., 1999; ARBELI et al., 2006; JANCZUKOWICZ et al., 2008.

\* cheddar, *colby*, *monterrey jack* e queijo com teor reduzido de gorduras

\*\* provolone e mussarela

\*\*\* parmesão romano e cheddar

<sup>1</sup> iogurte, queijo, manteiga, embalagem de leite (esterilizado e pasteurizado).

<sup>2</sup> embalagem de leite, manteiga, queijo (*hard cheese*), cottage, soro doce, soro ácido.

Devido às técnicas de tratamento existentes nas indústrias, um efluente tratado pode apresentar características físicas, químicas ou biológicas semelhantes ou até melhores que as da água bruta, da mesma forma que efluentes de determinados processos, podem apresentar qualidade adequada à outros processos, sem a necessidade de tratamento (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

Segundo Figueiredo et al. (2015), os efluentes gerados em indústrias lácteas devem ser tratados adequadamente antes do descarte, uma vez que a sua disposição inadequada no solo causa danos como a salinização, sodicização, alteração no pH, entre outros. Esses efluentes são produzidos de forma intermitentemente, sendo que suas características e fluxo variam de uma indústria para outra dependendo do processo e dos modos de operação que cada uma executa.

Qualquer indústria de laticínios, sem exceções, gera resíduos sólidos, líquidos e emissões atmosféricas passíveis de causar impactos significativos no meio ambiente. Por isso, a legislação ambiental exige que todas as indústrias os tratem de forma adequada. Uma das alternativas é fazer o controle dos processos e buscar alternativas de reutilização de seus resíduos, reduzindo assim, os custos com o tratamento e disposição final (BUSS & HENKES, 2015).

Alguns processos industriais, mais especificamente as indústrias de alimentos, não permitem a utilização de águas de reuso em seus processos de produção, mas há a possibilidade de reutilização da água em processos que exigem qualidade de água menos nobres, como lavagem e limpeza de pisos e janelas, descargas sanitárias em banheiros, entre outros.

#### *2.5.4.1 Tratamentos de Efluentes em Laticínios*

O conhecimento da natureza do efluente é essencial para o projeto e análise de instalações de tratamento. Para isso é necessário realizar a caracterização do efluente de determinada empresa ou setor, utilizando os principais parâmetros físico-químicos e/ou biológicos, normalmente analisados conforme as características da fonte (BELTRAME, LHAMBY e BELTRAME, 2016).

Para Philipi Jr. & Malheiros (2005), o conhecimento das características qualitativas e quantitativas dos efluentes, em conjunto com análises de outros aspectos ambientais, sociais e legais da bacia hidrográfica, são essenciais para o planejamento de sistemas de águas residuárias, pois apontarão quais os sistemas de tratamento de efluentes mais adequados para ser implantado na indústria.

O gerenciamento adequado dos efluentes é importante para minimizar os impactos ambientais. O lançamento de resíduos líquidos nos corpos receptores deverá obedecer aos limites estabelecidos de acordo com as condições da qualidade da água, conforme sua classe

de padrões de lançamento de efluentes (NUNES, 2008). Esses padrões de emissão e qualidade são especificados via legislação: em nível Federal vige a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 (CAVALCANTI, 2009).

Em geral, efluentes de laticínios são tidos como de difícil degradação, principalmente em função da presença de gorduras emulsionadas em sua composição. Além disso, tais efluentes são nutricionalmente desbalanceados em relação a microrganismos envolvidos em sua degradação (SPEECE, 1996).

Entretanto, a ausência de tratamento dos efluentes nesse tipo de indústria podem gerar diversos impactos nos corpos receptores, que incluem:

- i. Alteração do pH: resultante da fermentação e da presença de detergentes a base de hipoclorito;
- ii. Aumento da turbidez da água: devido à presença de sólidos em suspensão;
- iii. Aumento da matéria orgânica: que pode promover uma situação de anaerobiose e até mesmo consequências mais graves, como a eutrofização, causadas pela proliferação excessiva de algas devido à presença de nitrogênio e fósforo (POKRYWIECKI et al., 2013).

O tratamento do efluente gerado em indústria de laticínio pode ser dividido em físico, químico e biológico.

O tratamento físico é constituído de operações unitárias caracterizadas por separação de fases, como gradeamento, peneiramento, sedimentação, flotação, filtração, adsorção e aeração, viabilizando a depuração do efluente por processos nas fases posteriores.

Já o tratamento químico, como as etapas de precipitação química, acerto de pH, troca iônica e oxirredução, possibilitam a modificação da estrutura de compostos orgânicos, tornando possível sua degradação biológica, além de remover também sólidos em suspensão.

E por fim, o tratamento biológico, que é caracterizado por remover a matéria orgânica presente no efluente por metabolismo de oxidação e síntese de células, em presença ou ausência de oxigênio molecular. Citam-se como os sistemas mais utilizados os lodos ativados, os filtros biológicos, as lagoas de estabilização e a digestão anaeróbia. Podem ainda ser divididos em duas classes distintas: aeróbio e anaeróbio. No processo aeróbio, utilizam-se de lodos ativados, lagoas aeradas, lagoas de estabilização e filtros biológicos. Já no processo anaeróbio são utilizadas as lagoas anaeróbias e os reatores anaeróbios de fluxo ascendente (CAVALCANTI, 2012).

No que diz respeito aos níveis de tratamento, de efluente de indústria de laticínio, estes são classificados em preliminar, primário, secundário e terciário (VON SPERLING, 2014).

O tratamento preliminar é a primeira operação unitária do tratamento de efluentes. Utilizam-se geralmente grades, peneiras e caixa de areia para a remoção dos sólidos grosseiros presentes no efluente (CAVALCANTI, 2012).

As grades são usadas para proteger dispositivos como bombas, registros e tubulações, evitando o entupimento e aspecto desagradável nas unidades do sistema de tratamento, podendo ter uma limpeza mecânica ou manual. O espaçamento entre as barras pode variar entre 0,5 e 2 cm. As caixas de areia têm como objetivo reter substâncias inertes, como areias e sólidos minerais sedimentáveis, originárias de águas residuárias. Elas ajudam a evitar abrasão nos equipamentos e tubulações (bombas, válvulas, registros) (GANDHI, 2004).

Como tratamento primário, destacam-se as caixas de retenção de óleos e gorduras, decantadores, filtros e flotores (CAVALCANTI, 2012). Segundo Jordão & Pessoa (2011), esses tratamentos servem para evitar a obstruções dos coletores, evitar aderência nas peças especiais da rede de esgotos e o acúmulo nas unidades de tratamento provocando odores desagradáveis, evitando aspectos desagradáveis nos corpos receptores.

No processo de sedimentação, separa-se o lodo do efluente líquido, e as partículas sólidas sedimentam. Os efluentes fluem por meio dos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão, sedimentem gradualmente no fundo, podendo ser necessário a presença de um removedor de escumas (materiais flutuantes) (GANDHI, 2004).

O tratamento secundário relaciona-se aos processos de tratamento biológicos dos efluentes, que podem ser aeróbios e anaeróbios. Seu objetivo é a conversão de matéria orgânica biodegradável em sólidos inorgânicos, como por exemplo, sulfatos e hidróxidos; gases e materiais biológicos sedimentáveis (CAMMAROTA, 2011).

No tratamento aeróbio são utilizados filtros biológicos, biodiscos, lagoas aeróbias aeradas e lagoas aeróbias facultativas. Nestes processos, a aeração é essencial, pois o oxigênio possui baixa solubilidade em água. Por isso, para suprir o oxigênio consumido pelas bactérias, às vezes é necessário alimentar oxigênio ao processo (VON SPERLING, 2014).

Já o tratamento anaeróbio possui um baixo consumo energético, por não necessitar de aeração, bem como a menor produção de sólidos, além da produção de biogás que pode ser utilizado como fonte geradora de energia (DEMIREL et al., 2005). Neste contexto, o biodigestor tem se destacado como um tipo de reator biológico anaeróbio que promove a degradação da matéria orgânica, trazendo como produtos o biofertilizante e o biogás (KUNZ & OLIVEIRA, 2008).

A tecnologia da biodigestão anaeróbia representa uma alternativa promissora na solução de um dos maiores problemas enfrentados pelas indústrias alimentícias, que é a contaminação ambiental da atividade. Ademais, possibilita a geração de renda com o aproveitamento de subprodutos de valor agregado gerados, que podem produzir ganho econômico quando

transformados em energia elétrica e ou térmica, créditos de carbono e biofertilizante. No aspecto sanitário e ambiental evita a contaminação de rios e solos, a liberação de odores e reduz a carga patogênica do material. Além destes aspectos, promove o sequestro do gás metano seguido da conversão deste em gás carbônico através da queima (BARBOSA & LANGER, 2011; MANNING & HADRICH, 2015).

O biodigestor é composto basicamente de duas partes: uma câmara fechada, onde fica armazenada e ocorre a digestão da biomassa, e um gasômetro que serve para armazenar o biogás gerado. Dentro do biodigestor, que funciona na condição anaeróbia, a biomassa entrará em contato com microrganismos, que em condições específicas, promoverá a degradação da matéria orgânica. Os subprodutos gerados serão o biofertilizante e o biogás, que ficarão previamente armazenados no biodigestor (KUNZ & OLIVEIRA, 2008).

Existe uma série de modelos de biodigestores, cada um com peculiaridades, porém os mais difundidos são o chinês, o indiano e o canadense (FERREIRA et al., 2011), podendo ser classificados de acordo com o fornecimento de biomassa: os contínuos (alimentação contínua) e os de batelada (fornecimento de biomassa apenas no início do processo de biodigestão com o esvaziamento no final do processo) (KHALID et al., 2011).

O modelo canadense é o mais difundido atualmente no Brasil, devido a sua fácil instalação, custo mais acessível e menor propensão a corrosão pela água e pelo ácido sulfúrico que estão presentes no biogás. Já os modelos chinês e indiano são menos explorados devido ao fato de exigirem mão de obra mais especializada para a construção, e por exigirem alocações de quantidades maiores de recursos o que aumenta o seu custo (COSTA & SOTO, 2018).

Moreno (2011) destaca que os biodigestores do tipo canadense, como apresentado na Figura 14, são formados por um sistema constituído por um tanque de alimentação, um tanque revestido por geomembrana de alta densidade, um gasômetro inflável também de geomembrana, e um tanque de saída. O biogás formado tem sua saída no topo do gasômetro. Tal sistema pode ser construído com geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) tornando o equipamento de custos mais atrativo.

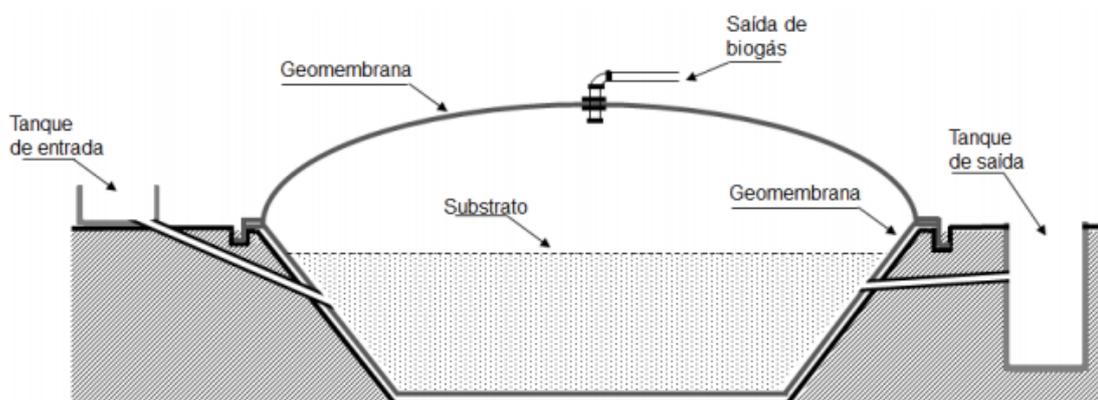


Figura 14: Diagrama simplificado de um biodigestor do tipo canadense.

Fonte: NOGUEIRA et al., 2016.

O tratamento terciário consiste em um tratamento mais avançado do efluente, pois deseja-se remoções adicionais de poluentes específicos nas águas residuárias antes do despejo em corpo receptor, ou quando se trata de um sistema fechado e há necessidade de recirculação da água residuária. Como tratamento terciário, pode-se citar o tratamento por membranas pelos processos de microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), osmose reversa (OR) e biorreatores com membranas (BRM) (CAVALCANTI, 2012). A adsorção é também uma tecnologia utilizada como tratamento terciário (BARROS, 2012). Outra modalidade de tratamento que vem sendo utilizada são os sistemas de lodos ativados, amplamente empregados quando há necessidade de elevada qualidade dos efluentes e se dispõe de áreas reduzidas, pois possuem boa taxa de remoção da matéria orgânica por microrganismos aeróbios (VON SPERLING, 2002).

Uma tecnologia que também está sendo bastante difundida, utilizada como tratamento terciário, é a utilização de Sistemas *Wetlands* Construídos, ecossistemas artificiais que utilizam plantas aquáticas e substratos (brita, areia, bambu, casca de arroz, entre outros), combinando processos químicos, físicos e biológicos (ANJOS, 2003).

A existência de estações de tratamento de esgotos nas proximidades de zonas industriais contribui para a implantação de programas de reuso, uma vez que aumenta o potencial de viabilizar esses sistemas de distribuição compatíveis com a demanda industrial. Essas práticas de reuso e conservação devem, também, ser estimulados nas próprias indústrias, através de utilização de processos industriais e de sistemas de lavagem com baixo consumo de água, assim como em estações de tratamento de água para abastecimento público, através da recuperação e reuso das águas (HESPANHOL, 2008).

Para Calda & Samudio (2016), a utilização da água de reuso pelas indústrias propicia diversos benefícios econômicos, ambientais, sociais e estratégicos visando uma atividade de maior abrangência, que é o controle de perdas e desperdícios, bem como, a minimização da produção de efluentes e do consumo de água. No Brasil, apesar dos benefícios oriundos da utilização da água de reuso, o baixo índice de tratamento de esgoto nos municípios e a falta de uma política que integre o uso planejado de esgoto tratado à gestão dos recursos hídricos, são os principais entraves para a prática do reuso no país.

#### 2.5.5 *Reuso de Efluente Doméstico - Águas Cinzas*

Nuvolari (2003) descreve a composição do esgoto doméstico, sendo constituído por: sabões e detergentes biodegradáveis e não biodegradáveis (a maioria dos detergentes contém o nutriente fósforo); cloreto de sódio (7 a 15 g/hab/dia, eliminado através da urina); fosfatos (1,5 g/hab/dia, eliminado através da urina); sulfatos; carbonatos; ureia, amoníaco e ácido úrico (14 a 42 g/hab/dia); gorduras; ligamentos da carne e fibras vegetais não digeridas; mucos,

células de descamação epitelial; vermes, bactérias, vírus, leveduras, entre outros; areia, plásticos, cabelos, sementes, entre outros.

As águas cinzas é uma das classificações dos tipos de esgotos sanitários existentes, e consistem naquelas provenientes de pias, chuveiros, banheiras e lavanderia. Em residências, esse tipo de efluente é o que possui maior porcentagem de geração, já que o consumo de água é relacionado basicamente à higiene e para alimentação (ANA, 2005).

Sua constituição pode variar em qualidade de acordo com a localidade e nível de ocupação da residência, faixa etária, estilo de vida, classe social e costumes dos moradores (JEFFERSON et al., 1999; NSW HEALTH, 2000). Chanakya & Khuntia (2014), afirmam que elas representam cerca de 67% do volume total das águas residuárias domésticas geradas.

Outros fatores observados por Eriksson et al. (2002), que contribuem para as características da água cinza são: a qualidade da água de abastecimento e o tipo de rede de distribuição, tanto da água de abastecimento quanto da água de reuso.

Henze & Ledin (2001) dividem as águas cinzas em duas categorias distintas: águas cinzas claras e águas cinzas escuras. As águas cinzas claras são águas residuárias provenientes de chuveiros, de lavatórios e de máquinas de lavar roupas, e as águas cinzas escuras incluem as águas provenientes de pias da cozinha e de máquinas de lavar louças. Além dos tipos de água cinzas existem também as águas marrom e amarela, em que as águas marrons são geradas a partir dos vasos sanitários, contendo basicamente fezes, enquanto que, as amarelas, são geradas a partir de dispositivos que separam a urina das fezes como o mictório. A água negra é a mistura da água marrom com a água amarela, conforme pode ser visualizada na Figura 15 (GONÇALVES, 2006).

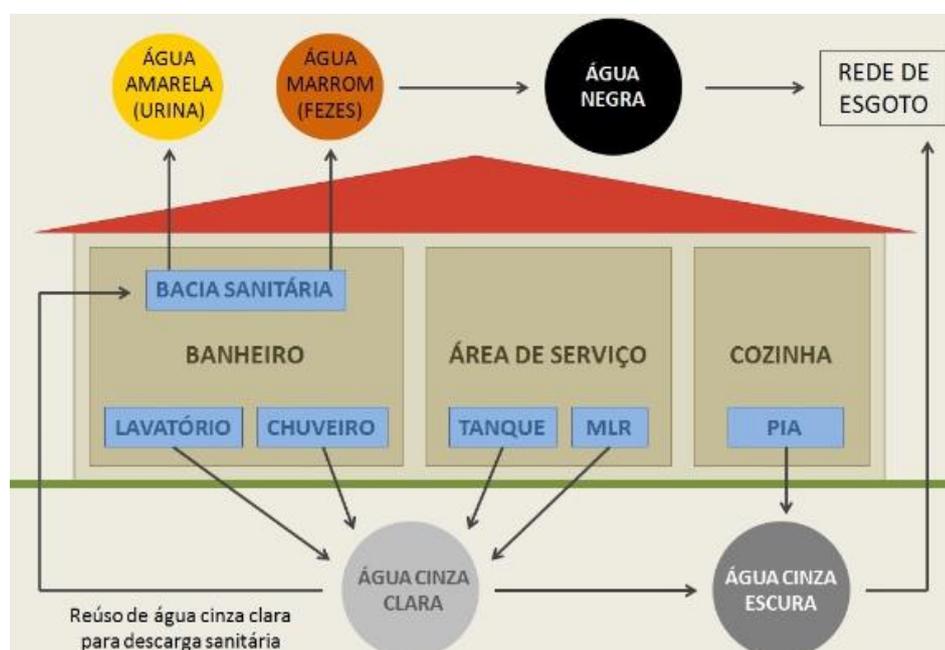


Figura 15 – Esquema do esgoto doméstico e indicação de possíveis usos para águas cinzas após tratamento.

Fonte: SILVA, 2013.

Em uma pesquisa realizada por Li et al. (2009), o volume de água cinzas gerado diariamente pode variar 90 L a 120 L por pessoa, dependendo do estilo de vida, costumes e hábitos, estruturas populacionais (idade e sexo), instalações de água e da disponibilidade hídrica. Entretanto, Feitosa (2011) afirma que em comunidades com escassez hídrica de baixa renda ou que se utilizem a captação da água pluvial, o volume de água cinza diário é reduzido para uma faixa de 20 L a 30 L por pessoa. A reutilização dessas águas tratadas contribui para a redução do consumo de água potável, reduzindo também o volume de contaminantes do solo e dos corpos d'água (ALVES et al., 2009).

Sistemas de reuso de águas cinzas são utilizados em países que incentivam a conservação de água potável devido à sua escassez, como a Alemanha, Estados Unidos e o Japão. May (2009) afirma que uma das alternativas que tem demonstrado bastante eficácia na conservação de água potável é o reuso de águas servidas, que é um importante instrumento de gestão ambiental do recurso água.

#### *2.5.5.1 Sistemas e Etapas de Tratamento de Águas Cinzas por uma Wetland*

A análise das características do efluente, conjuntamente com os requisitos de qualidade requeridos para a aplicação de reuso desejada, geralmente define o tipo de tratamento a ser adotado, pois cada tratamento possui suas vantagens e desvantagens. Devido à grande variabilidade tanto da fonte quanto da própria finalidade a que se destina o efluente tratado, ou o tipo de reuso pretendido, uma gama de sistemas ou sequências de processos são possíveis de serem concebidos (MANCUSO e SANTOS, 2003).

As características dos tratamentos são relacionadas com a área necessária, eficiência obtida no tratamento, utilização ou não de equipamentos mecanizados, com consequente consumo ou não de energia e sofisticação ou simplicidade de operação e implantação. As técnicas existentes podem contemplar tanto comunidades de pequeno porte até megalópoles, cada uma com suas características distintas de clima, topografia, preços de terrenos, corpo d'água a ser utilizados para lançar os efluentes tratados (NUVOLARI et al., 2003).

Os processos desenvolvidos podem variar desde sistemas simples em residências até séries de tratamentos avançados para reuso em larga escala (JEFFERSON et al., 1999).

Os chamados sistemas de tratamento biológico de água cinza, utilizando plantas, combinam processos físicos, químicos e bioquímicos, idênticos aos que ocorrem nos habitats naturais, e propiciam o tratamento das águas residuárias, é objeto desse estudo. Entretanto, a sua maioria requer um pré-tratamento, de simples operação, peneiramento ou até mesmo uma sedimentação primária. Para alguns sistemas, dependendo da finalidade do reuso, um tratamento terciário avançado é requerido (COSTA, 2003).

O esgoto bruto necessita de um pré-tratamento antes de ser aplicado em sistemas de tratamento de esgotos com plantas, para promover uma decantação e/ou filtração, evitando a colmatação precoce, uma vez que os teores de sólidos do esgoto sofrem tratamentos físicos e bioquímicos e são reduzidos consideravelmente, auxiliando na eficiência e no tempo de vida funcional do leito com plantas (PITALUGA, ALMEIDA & REIS, 2015). Mediante isso, os tanques sépticos são considerados uma ótima alternativa e um dos mais utilizados em estações de tratamento de esgotos com plantas, nas edificações residenciais e em pequenas comunidades (PITALUGA, ALMEIDA & REIS, 2015).

O tanque séptico é uma unidade de tratamento preliminar de esgotos destinado a receber as contribuições de um ou mais domicílios, dando aos esgotos o tratamento compatível com a sua simplicidade e custo. Ele é projetado para receber todos os rejeitos domésticos de edificações, desde que o esgoto da cozinha passe antes por uma caixa de gordura, permitindo a sedimentação dos sólidos e a retenção do material graxo contido nos esgotos, transformando-os bioquimicamente em substâncias e compostos mais simples e estáveis (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Durante os últimos 20 anos, considerável interesse tem sido dedicado ao potencial de uso de uma variedade de sistemas biológicos naturais para ajudar na purificação da água de maneira controlada. A utilização de plantas no tratamento de esgoto representa uma tecnologia emergente, eficiente, estética e de baixos custos energéticos, que está se revelando uma boa alternativa, comparada com outras opções de tratamento (COSTA et al., 2018). Além disso, oferece vantagens para a implementação, devido à facilidade de integração paisagística e a simplicidade na construção e operação (JOURJON et al., 2004; ARIENZO et al., 2009).

Esses sistemas são apresentados na literatura com diferentes nomenclaturas, como no inglês *Wetland*, que em livre tradução significa “terras úmidas”. Já na língua portuguesa, outros nomes são utilizados como Sistemas de Alagados Construídos (SAC), *Wetlands* Construídos (WC), Tratamento por Zona de Raízes, Banhados Construídos, Jardins Flutuantes, Sistemas Naturais para Tratamento de Esgoto, dentre outras (DORNELAS, 2008).

Um sistema *Wetland* consiste em uma modalidade de tratamento de esgoto em sistemas planejados para operar por meio de macrófitas aquáticas cultivadas em substratos, e que em condições adequadas, desencadeiam-se processos físicos, químicos e bioquímicos promovendo o tratamento das águas residuárias por estabilização da matéria orgânica carbonácea presente (MATOS et al., 2010), que objetiva principalmente a remoção de matéria orgânica e eventualmente, de nutrientes como nitrogênio e fósforo, simulando um ecossistema já existente na natureza (VON SPERLING, 2005).

Estes sistemas apresentam como componentes principais as plantas, os substratos, os microrganismos e a coluna d'água, e a eficácia dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nesse tipo de tratamento, dependem da interação desses fatores (COSTA, 2003).

As plantas, definidas como macrófitas, funcionam como filtros (absorvendo os macros e micros nutrientes), permitindo a sedimentação das partículas em suspensão, além de realizar a fotossíntese, que permite a disponibilização de Oxigênio (O<sub>2</sub>) aos microrganismos, que se fixam na superfície das raízes e no substrato, realizando a depuração da matéria orgânica (COSTA, 2003).

Conhecida popularmente como Taboa, a *Typha sp.* é uma planta aquática, emergente, perene, rastejante, de fácil cultivo, que cresce em brejos e regiões alagadas, dotada de rizomas e que pode alcançar 4 metros de altura. Possui alta capacidade de extração de nutrientes, podendo ser utilizada como filtro biológico no tratamento de esgotos, capaz de remover alguns metais pesados e atuar na fitoestabilização para fixar os leitos dos rios e lagoas, controlando a erosão. Desenvolve melhor em substrato rico em matéria orgânica e é tolerante à salinidade e também em meios aquáticos onde prevalece pH entre 4,8 e 8,7. A presença dos rizomas e raízes possibilita a redução na velocidade do escoamento e a melhor distribuição do esgoto, aumentando o tempo de contato entre a água e as raízes das plantas e trazendo melhores condições para a sedimentação dos sólidos em suspensão (OLIVEIRA et al., 2018).

O substrato é definido como um material inerte, tais como solo, areia, brita ou cascalho, e tem a função principal de ser um meio filtrante, além de servir como um meio de suporte para formação de filmes biológicos e fixador de raízes (COSTA, 2003).

A seleção do substrato depende do tipo de esgoto (domiciliar, industrial), do regime hidráulico escolhido (fluxo superficial, fluxo subsuperficial) e do poluente principal a ser removido (TONIATO, 2005).

Já os microrganismos, são os constituintes capazes de usar os componentes poluidores dos esgotos para seu crescimento e reprodução, modificando a qualidade da água residuária por meio de transformações químicas, físicas e biológicas. Fungos, protozoários e as bactérias são capazes de usar os constituintes poluidores dos esgotos em benefício de seu crescimento e reprodução, modificando a qualidade dos esgotos (COSTA, 2003).

Outro parâmetro a ser considerado são as condições climáticas o qual o sistema é submetido. O tratamento do esgoto em temperaturas mais elevadas, além de possibilitar maiores perdas por evapotranspiração, proporciona atividade microbiológica mais intensa, aumentando a capacidade de depuração do esgoto, enquanto em temperaturas tendendo a 0° C a eficiência do tratamento é afetada em todos os mecanismos (FONSECA, 2005).

Existem WC naturais e construídos. Os pântanos, mangues e brejos são exemplos de sistemas naturais, enquanto que um sistema construído é aquele cuja finalidade é o controle da poluição e o manejo de resíduos (DORNELAS, 2008).

Nesse tipo de sistema há o controle pelo homem sobre os elementos atuantes, e ao projetá-lo, tem-se a liberdade para definir a composição do substrato, o tipo de vegetação, o local, o sistema hidráulico e pré-determinar o tempo de detenção hidráulica, objetivando uma melhor eficiência em consonância com custos, sustentabilidade, conforto e estética (SALATI, 2003).

Essa modalidade de tratamento, de acordo com Freitas (2006), é construída em um ambiente planejado e adaptado para ser operado com adoção de técnicas simples, a fim de depurar a matéria orgânica, em condições controladas e com baixa probabilidade de contaminação ambiental (FREITAS, 2006).

Segundo Oliveira et al. (2018), esses sistemas são considerados semelhantes a um bio-filtro, com culturas fixas em suportes, que servem de base para a sustentação e enraizamento das plantas, apresentando a capacidade de remover os sólidos em suspensão e a matéria orgânica de forma bastante satisfatória, além de absorver água e nutrientes. Essas técnicas são empregadas de acordo com a peculiaridade do efluente a ser tratado, bem como a eficiência esperada na remoção de determinados compostos (SALATI, 2003).

Esses sistemas vão de encontro às primícias das ações sustentáveis, pois além de ser uma modalidade de tratamento de esgoto autossustentável (uma vez que não necessita da adição de outros elementos, como produtos químicos, injeção de ar, dentre outros exemplos), o sistema é dependente apenas de fontes renováveis de energia, como a radiação solar, a energia eólica, a energia química livre das precipitações e a energia potencial armazenada na biomassa e no substrato (KADLEC E KNIGHT, 1996).

De acordo com Almeida, Pitaluga & Reis (2010), os WC podem ser implantados em locais em que o esgoto é gerado, pois são facilmente operados, economizam energia e são mais flexíveis e menos susceptíveis às variações das taxas de aplicação de esgotos. Além disso, são desenhados e operados para cumprir certos padrões de desempenho de forma a atender a legislação estabelecida para a disposição final de efluentes (SALATI, 2003; FONSECA, 2005).

As modalidades de WC são classificadas da seguinte forma (VON SPERLING, 2005; DORNELAS, 2009):

- i. WC de fluxo superficial: rasos e vegetados, responsáveis pela redução nas quantidades de material orgânico, sólidos suspensos, nutrientes e organismos patogênicos; água flui livremente entre as folhas e caules das plantas expostas

- ao ar; apresenta maior concentração de oxigênio causando maior inativação de organismos patógenos;
- ii. WC de fluxo subsuperficial horizontal: capacidade de processamento menor do que um de fluxo vertical e exige espaço, uma vez que o efluente percola horizontalmente abaixo da superfície livre; indicado para remoção de sólidos suspensos, remoção de DBO e desnitrificação;
  - iii. WC de fluxo subsuperficial vertical: as macrófitas aquáticas são plantadas diretamente no substrato e o efluente é disposto intermitentemente sob a superfície do leito, inundando-o e percolando verticalmente ao longo de todo o perfil vertical, sendo coletado no fundo por meio de um sistema de drenagem; promove um grande arrasto de oxigênio para o interior do reator auxiliando na degradação da matéria orgânica;
  - iv. WC híbridos: combinação de modalidades de WC de fluxos superficial e subsuperficial, para otimização do processo de tratamento de esgotos.

Segundo Naime & Garcia (2005), Parkinson, Siqueira & Campos (2004), Philippi & Sezerino (2004), Arias, Del Bubba & Brix (2003), Salati (2003), USDA (2002) e USEPA (2004), os *Wetlands* possuem as vantagens e desvantagens apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Vantagens e desvantagens dos Sistemas *Wetlands* de tratamento de esgotos.

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Baixo custo;</li> <li>•Fácil manutenção e operação;</li> <li>•Efetivo e seguro;</li> <li>•Eficiência elevada no tratamento (normalmente cerca de 65% a 85%) no que se refere a redução da carga orgânica poluidora e remoção de patógenos;</li> <li>•Fornece área verde, recreativa e educacional;</li> <li>•Biomassa gerada pode ser utilizada para geração de renda.</li> <li>•Não biossólidos residuais ou lodo que possa requerer subsequente tratamento e disposição.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Demanda de área para construção;</li> <li>•Possíveis problemas com pragas nas tipologias superficiais;</li> <li>•Eficiência pode ser comprometida pelas condições climáticas, como chuvas sucessivas ou secas prolongadas;</li> <li>•Alguns picos de vazão podem prejudicar o sistema, podendo causar afloramento e empoçamento do esgoto;</li> <li>•Podem ocorrer obstruções nas tubulações do sistema de drenagem, podendo causar maus odores provenientes de afloramento do esgoto na camada superficial.</li> </ul>

Fonte: NAIME & GARCIA (2005), PARKINSON, SIQUEIRA & CAMPOS (2004), PHILIPPI & SEZERINO(2004), ARIAS, DEL BUBBA & BRIX (2003), SALATI (2003), USDA (2002) E USEPA (2004).

É a finalidade do tratamento de efluentes através de *Wetlands* Construídos que vai determinar a escolha do substrato, o tipo de fluxo de escoamento, as macrófitas, bem como a utilização de unidades de tratamento primário que antecedem o sistema (PHILIPPI & SEZERINO, 2004).

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos para a montagem e execução do experimento, bem como a aquisição de dados.

O fluxograma do experimento é apresentado na Figura 16.

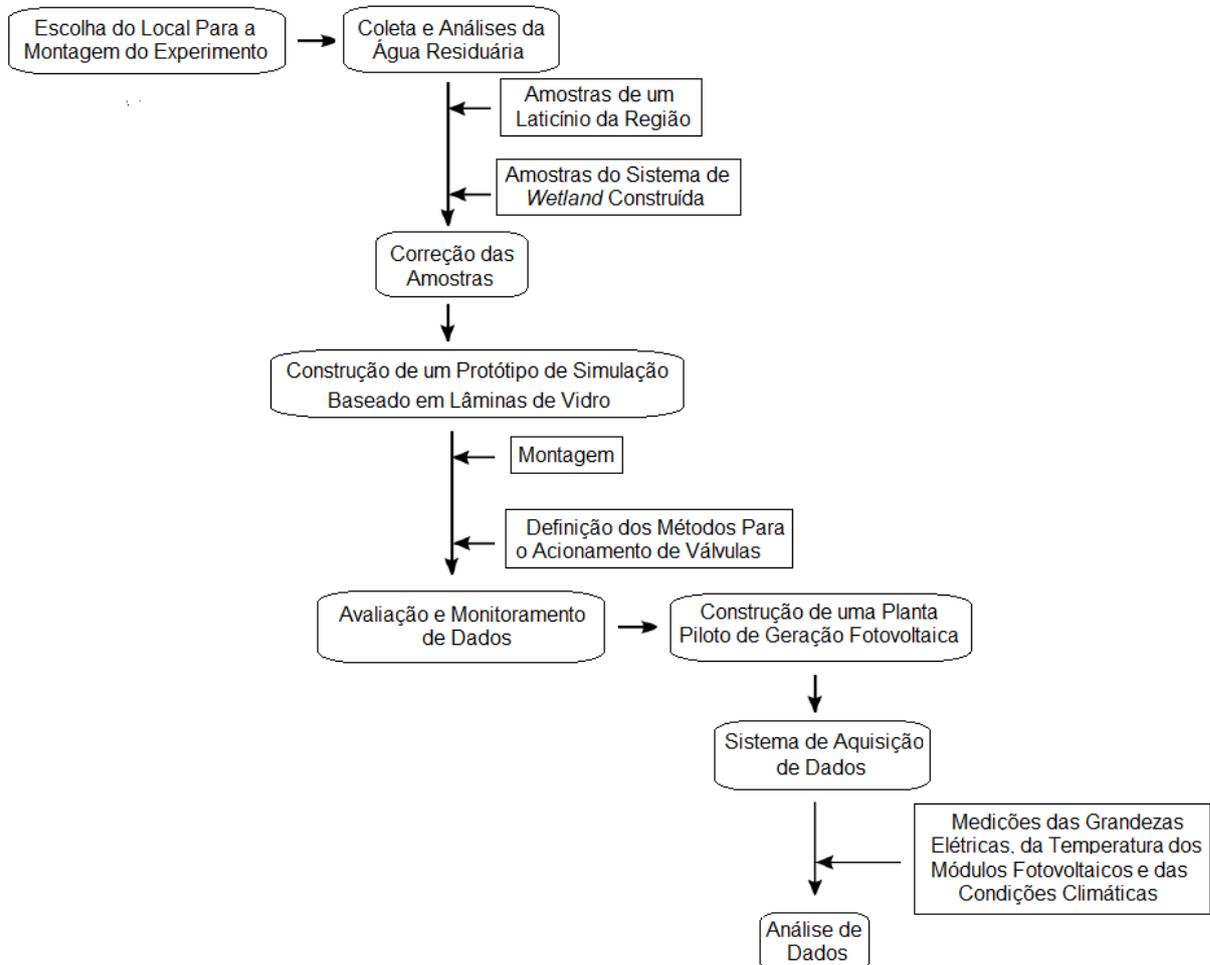


Figura 16 - Etapas de desenvolvimento do experimento.

### 3.1 Local de Estudo

Para a realização desse trabalho, foi construído um protótipo de simulação do comportamento do sistema fotovoltaico em contato com os efluentes estudados, localizado no pátio, e utilizou-se a estrutura de uma planta piloto construída e instalada, sobre o telhado de aço galvanizado do Laboratório do Núcleo de Pesquisa (NEXT), ambos localizados no Campus Goiânia do Instituto Federal de Goiás (IFG), no Setor Central, Goiânia - GO, na latitude  $16^{\circ} 39' 53,21441''$  S e longitude  $49^{\circ} 15' 17,11999''$  W, como pode ser observado na Figura 17.



Figura 17 – Local de estudo no IFG (Câmpus Goiânia).

Fonte: GOOGLE EARTH, 2017, adaptada.

Localizada na região Centro-Oeste do Brasil, Goiânia, a capital do estado de Goiás, possui um clima tropical com temperatura média de 23,1°C, e uma pluviosidade média anual de 1414 mm. A região possui ainda, duas estações bem definidas: uma seca, de maio a setembro, com umidade relativa do ar bastante baixa podendo alcançar mínimas da ordem de 15%; e uma chuvosa, de outubro a março (INMET, 2018).

### 3.2 Coleta e Análises da Qualidade da Água Residuária

As amostras dos efluentes utilizadas nesse estudo foram provenientes da ETE de um laticínio, próximo à região, e de um Sistema WC, que utiliza a macrófita Taboa (*Typha domingensis*) como tratamento para um esgoto doméstico; devido à disponibilidade, fácil acesso e facilidade de transporte e de manuseio dos efluentes.

Após a obtenção, foram realizadas análises físico-químicas das águas residuárias em questão, avaliando principalmente os efeitos de possíveis incrustações, corrosão e partículas de gordura (foco do trabalho), produzidas por componentes minerais ou resíduos de qualquer natureza, presentes nas amostras.

### 3.2.1 Amostras de um Laticínio Próximo a Região

Para a realização desse trabalho, um laticínio situado próximo nas proximidades de Goiânia – GO cedeu uma amostra do efluente ao estudo.

A empresa conta com uma estação de tratamento de efluentes própria, onde o efluente é tratado em meio anaeróbio, devido à adoção de um reator em lagoa coberta, do tipo canadense (reator BVF®), com um sistema *gen-set* para a utilização de biogás, seguido de polimento aeróbio (Sistemas WC) para atender aos padrões de descargas nos corpos hídricos.

Nesse sistema, a ETE conta com capacidade de tratamento de 230 m<sup>3</sup>/h em média e os efluentes são predominantemente das plantas de fabricação de laticínios (leites, bebidas lácteas, leite condensado, creme de leite, leite em pó e queijo), pedaços de frutas, essências e condimentos diversos que são diluídos nas águas de lavagem de equipamentos, tubulações, pisos e demais instalações da indústria (MACHADO, 2002).

As amostras foram coletadas em recipientes de capacidade de 50 L e acondicionadas em temperatura ambiente. Após a obtenção do efluente, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório KBF Química - Soluções Tecnológicas Ambientais, localizado em Goiânia – GO, parceira no estudo, para análises laboratoriais.

Os parâmetros avaliados foram: pH, alcalinidade, CE, dureza total, fósforo total e DBO, conforme metodologias determinadas pela NBR 5762 (ABNT, 1997) e pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017).

### 3.2.2 Amostras do Sistema de Wetland Construído

Foram coletadas amostras de uma *Wetland* Doméstica (estação experimental) em uma chácara no Jardim Olimpo, no município de Aparecida de Goiânia, Goiás (Figura 18).



Figura 18 – Localização da estação de tratamento de esgoto experimental.

Fonte: GOOGLE EARTH, 2018, adaptada.

Essa unidade conta com três residências unifamiliares, cujas instalações hidrosanitárias contemplam um chuveiro, um lavatório, três tanques e três pias de cozinha. O esgoto gerado, que é predominantemente água cinza, passa por uma caixa de gordura, antes de ser encaminhado a um reservatório para, em seguida, ser distribuído nos leitos com plantas, conforme apresentado no fluxograma da Figura 19.

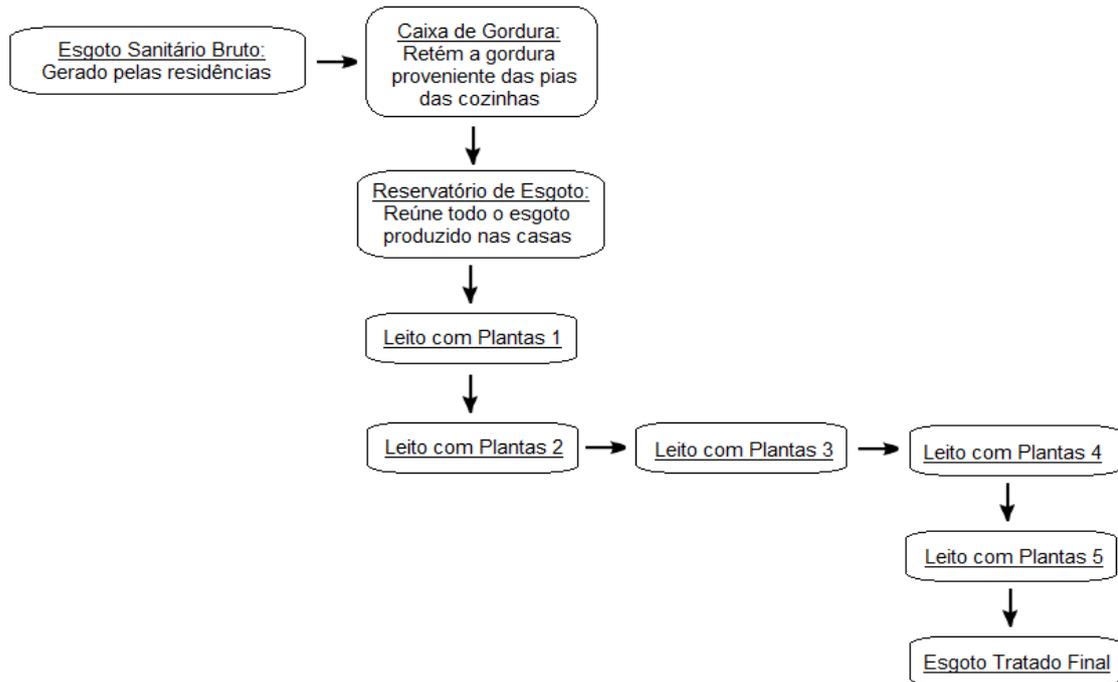


Figura 19 – Fluxograma da estação de tratamento de esgoto experimental.

Cada leito continha brita, em praticamente todo seu volume, uma fina camada de areia média e a planta da espécie *Typha domingensis* (Taboa). A Figura 20 mostra, respectivamente, o reservatório de esgoto (Figura 20A) e uma vista lateral dos leitos (1,2,3,4 e 5) com plantas (Figura 20B).



(A)



(B)

Figura 20 – (A) Reservatório de esgoto; (B) Vista lateral dos leitos com plantas.

As amostras foram coletadas no Esgoto Tratado Final, após o 5° Leito com plantas, em recipientes de capacidade de 50 L, acondicionadas em temperatura ambiente. De posse do efluente, as amostras foram conduzidas ao Laboratório KBF Química - Soluções Tecnológicas Ambientais, anteriormente citado, para análises laboratoriais.

Os parâmetros avaliados foram: dureza total, cloreto, CE, DBO, DQO, pH, ferro, fósforo total, OG, sólidos totais dissolvidos (SDT), sólidos suspensos totais (SST), turbidez, e coliformes totais, de acordo com as metodologias determinadas pela NBR 12 621 (ABNT, 1992), NBR 13 797 (ABNT, 1997) e pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017).

Foi realizada ainda uma análise de coliformes totais presentes na amostra, de acordo com as metodologias determinadas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017).

### 3.2.3 Correção das Amostras

Após a realização das análises físico-químicas dos efluentes em questão, foi verificada a necessidade de adoção de uma técnica de limpeza e correção dos elementos incrustantes, corrosivos e gordurosos, bem como para evitar a proliferação de algas, para a utilização em arrefecimento de sistemas fotovoltaicos.

Essa técnica adotada foi avaliada quanto ao tipo, quantidade e período de repetições dos processos de limpeza, mediante ao resultado da etapa anterior, sendo possível auxiliar e viabilizar a etapa posterior de simulação do contato do efluente com o vidro, para a limpeza da lâmina de vidro.

## 3.3 Protótipo de Simulação Baseado em Lâminas de Vidro

O desenvolvimento da pesquisa deu-se primeiramente pela construção e instalação de um protótipo para que simulasse o comportamento do sistema fotovoltaico em contato com os efluentes estudados, e utilizou-se uma estrutura construída, localizadas no pátio do Laboratório do NExT, Campus Goiânia do IFG, no Setor Central, Goiânia – GO, averiguando assim seus efeitos e danos no vidro.

### 3.3.1 Construção do Protótipo

Esse protótipo consistiu em um suporte de metal (estrutura inclinada), de aproximadamente 1,0 m de altura, com três chapas de vidro idênticas, de cerca de 1,0 m<sup>2</sup> cada, apoiadas sobre o mesmo e devidamente separadas.

A Chapa 1 foi utilizada sem a aplicação de água, para fins comparativos. Na Chapa 2, foi montado um sistema de acionamento de válvulas, composto por uma placa eletrônica e válvulas para o controle de vazão, para a aplicação de água de reuso proveniente do efluente industrial, na forma de lâmina d'água residual, através de um perfil de alumínio quadrado perfurado. Na Chapa 3, foi aplicado água de reuso proveniente do efluente industrial e duas vezes por dia (no início e no final do experimento), por um período de 5 min, adicionou-se uma técnica de limpeza e correção dos elementos incrustantes, corrosivos e gordurosos, bem como para evitar a proliferação de algas, não havendo contato entre o método de correção e o efluente de estudo.

A Figura 21 mostra a configuração em que o protótipo foi montado.

- 1 – Lâmina de vidro (Chapa 1)
- 2 – Lâmina de vidro (Chapa 2)
- 3 – Lâmina de vidro (Chapa 3)
- 4 – Placa eletrônica
- 5 – Calha para a captação do efluente
- 6 – Recipiente de coleta do efluente
- 7 – Reservatório do efluente
- 8 – Perfil de alumínio para a injeção de água sobre as lâminas
- 9 – Bomba centrífuga utilizada (para reabastecer o reservatório 7)
- 10 – Recipiente que continha o método de correção aplicado na terceira chapa de vidro (Chapa 3)

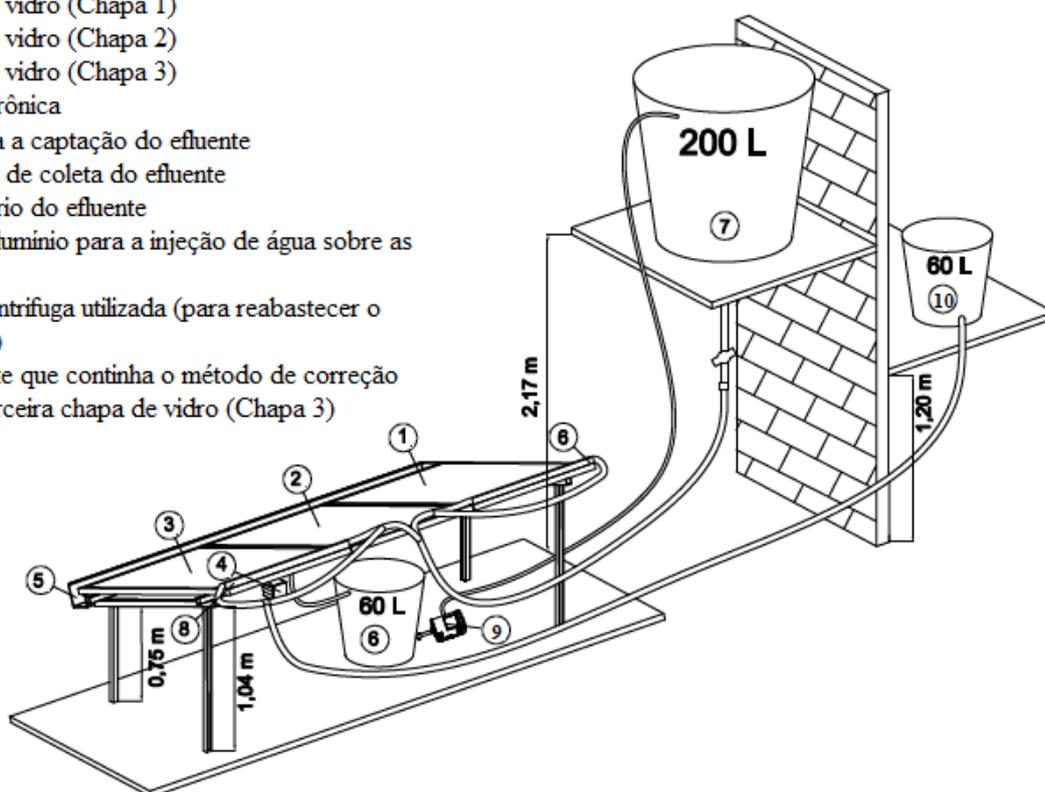


Figura 21 – Delineação do protótipo construído para a simulação de um sistema fotovoltaico.

O protótipo funcionou em regime contínuo, por um período de cinco horas por dia, das 10h às 15h, correspondendo ao horário mais quente do dia e mais atrativo aos métodos de melhoria de eficiência energética pelo arrefecimento, por um período de 20 dias, compreendido entre os meses de abril e maio de 2017.

Uma condição inicial (de *start*) do experimento foi previamente estabelecida, com as três chapas de vidro devidamente limpas e secas.

### 3.3.2 Acionamento de Válvulas

O controle e comando do acionamento das válvulas, utilizadas no estudo, foram realizados por uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre e de placa única, o Arduino (modelo Uno R3), projetada com um microcontrolador (ATmega328), com suporte de entrada/saída embutido, uma linguagem de programação padrão (linguagem C/C++), programado através de um ambiente de desenvolvimento integrado, com linguagem C/C++, acoplados à uma fonte de energia de 12 V conectadas à rede elétrica de 220 V como mostra a Figura 22.

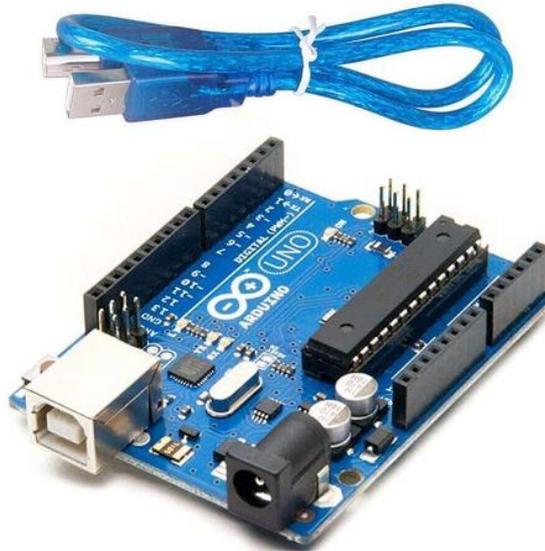


Figura 22 – Dispositivo de prototipagem eletrônica utilizado no estudo.

O microcontrolador foi programado para ler as informações de tempo do relógio RTC e, em horários determinados, acionar ou não as válvulas solenoides, controlado pela Shield para acionamento de Relés, onde cada relé foi conectado a uma válvula.

A Figura 23 mostra a placa desenvolvida, utilizada juntamente com o microcontrolador para acionamento de cargas de corrente alternada, as válvulas solenoides de 220 V.



Figura 23 - Placa *Shield* desenvolvida para o acionamento de relés.

Para esse acionamento, a placa desenvolvida possuía três relés 5 V, que foram acionados pelo Arduino através de saídas digitais. Três saídas digitais do Arduino foram utilizadas, onde cada uma delas foi conectada a um relé, permitindo que cada um dos relés fosse acionado de maneira independente. Além disso, a *shield* possui um RTC (*Real Time Clock* – Relógio de Tempo Real) que permitiu o controlador acionar os relés em horários específicos do dia.

### 3.3.3 Avaliação e Monitoramento dos Dados

Para cada uma das três chapas de vidro analisadas nesse estudo, foram medidos os percentuais de irradiação luminosa média que passam através das lâminas em relação aos índices de irradiação solar direta sobre cada uma delas, sempre às 16 horas, em 20 pontos demarcados em cada lâmina, por um período de 20 dias, monitorados entre os meses de janeiro e fevereiro de 2018, utilizando um medidor de energia solar digital, da marca TES – 1333 *Solar Power Meter*, fornecendo assim a potência recebida por unidade de área ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

Assim, juntamente com os aspectos visuais observados em cada placa, pode-se avaliar os efeitos provocados pela deposição, sobre as chapas de vidros de elementos incrustantes e gordurosos, presentes no efluente ou provenientes do ambiente.

## 3.4 Construção e Instalação da Planta Piloto de Geração Fotovoltaica

Para a instalação da planta piloto de estudo de geração fotovoltaica, foi escolhido o telhado acima do Laboratório do Núcleo de Pesquisas (NExT), no IFG, Campus Goiânia, utilizando uma estrutura já pré-existente e instalada, adotando técnicas de adequação ao estudo, conforme a Figura 24.

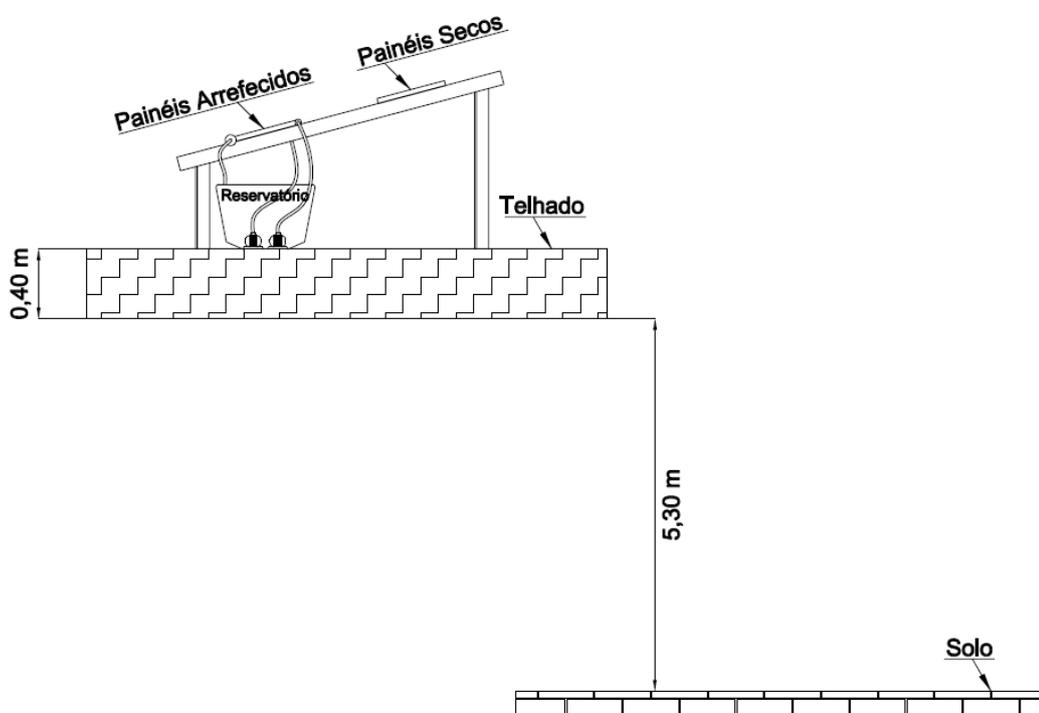


Figura 24 – Diagrama representativo da planta piloto de geração fotovoltaica.

O local escolhido se deve a alta incidência de radiação solar nos painéis, na maior parte do dia, com a ausência total de sombras provenientes de árvores aos arredores ou qualquer outra estrutura aparente (como edifícios e tubulações).

Além disso, considerou-se que para uma maior produção de energia, a posição ideal para instalação de painéis fotovoltaicos no Brasil é voltada para o norte geográfico em virtude da inclinação do eixo terrestre em relação à órbita solar, com uma inclinação do módulo em ângulo igual à latitude local e orientado ao norte geográfico (ANEEL, 2008), que na cidade Goiânia (Goiás) é de 16° de inclinação.

#### 3.4.1 Características Técnicas da Planta Piloto de Geração Fotovoltaica e Conexão com a Rede Concessionária de Energia

A planta piloto de geração fotovoltaica instalada era composta por quatro painéis solares da marca *Komaes Solar*, de 5 W de potência, 12 V, com cerca 500 cm<sup>2</sup> de área e aproximadamente 1kg cada, conforme ilustrado pela Figura 25.



Figura 25 - Painel solar utilizado no estudo, marca *Komaes Solar*, 5 W de potência, 12 V.

Os dados do fabricante referentes ao do módulo solar utilizado, em condições padrões, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados de fabricante do módulo solar em condições padrões.

<i>Parâmetros</i>	<i>Valores</i>
Potência Nominal Máxima	5W
Tensão Nominal	17,5V
Tensão em circuito aberto	21,5V
Corrente Nominal	0,29A

Fonte: *KOMAES SOLAR*, 2018.

O sistema contou com dois grupos homogêneos de painéis, um experimental e um de controle, sendo que cada grupo possuía dois painéis conectados em série: um para o estudo do comportamento do sistema fotovoltaico em contato com os efluentes estudados (sistema de arrefecimento), utilizados como fluidos de arrefecimento (Grupo 1), e outro grupo seco, utilizado para fins comparativos (Grupo 2).

Cada grupo de painéis estava ligado em um microinversor fotovoltaico monofásico (APSYSTEMS YC500 A/I), conectados a uma das fases da rede, no quadro de distribuição de energia do Laboratório NExT, uma vez que este está conectado ao quadro geral de distribuição de energia do IFG, como pode ser observado na Figura 26.

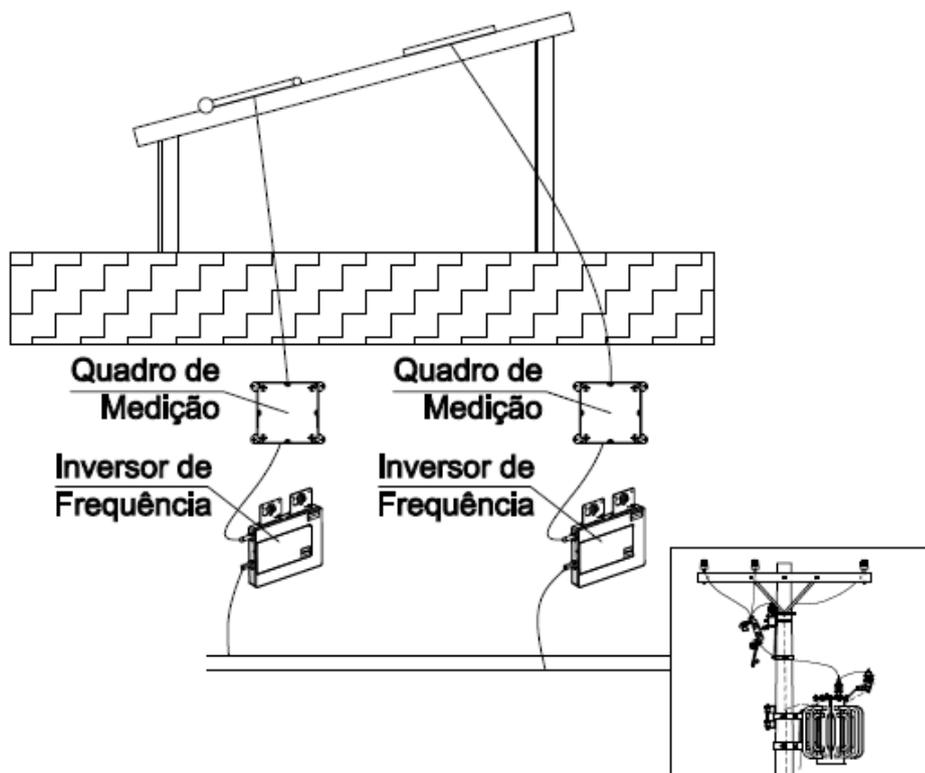


Figura 26 – Estrutura montada para aquisição de dados.

### 3.4.2 *Sistemas de Arrefecimento e Bombeamento da Planta Piloto de Geração Fotovoltaica*

Foi desenvolvido um sistema para o arrefecimento dos painéis fotovoltaicos do grupo experimental no mesmo telhado onde se encontra instalada a planta piloto de estudo, utilizando os efluentes anteriormente descritos como líquido de arrefecimento, armazenados cada um, em um reservatório de 50 L, localizado em uma altura inferior e abaixo da estrutura que contém os painéis a serem arrefecidos (para evitar a exposição ao sol), através da recirculação dos mesmos.

Um sistema de bombeamento aplicou diretamente a água residuária sobre os painéis, por meio de um perfil construído com um cano marrom de PVC, de 20 mm, onde foram feitos furos com uma broca de 3 mm, distantes aproximadamente 10 mm um do outro.

Após arrefecê-los, por meio de uma aplicação frontal, direta e laminar, o efluente foi captado por uma calha de PVC junto aos painéis, e por ação da gravidade, retorna aos reservatórios de 50 L.

Uma lâmina d'água residuária (cerca de 1,5 L por minuto) foi aplicada nos painéis fotovoltaicos, em regime contínuo, por um período de oito horas por dia, correspondendo ao período de radiação solar total diária para a região em estudo e ao período mais atrativo aos métodos de melhoria de eficiência energética pelo arrefecimento.

A Figura 27 mostra a configuração da planta piloto de geração fotovoltaica montada.

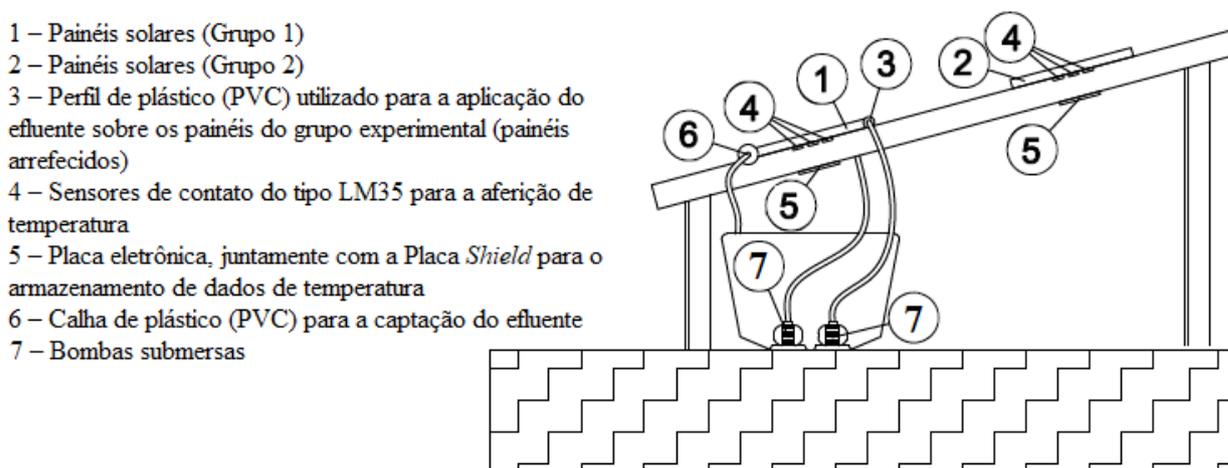


Figura 27 – Diagrama representativo da configuração da planta piloto de geração fotovoltaica montada.

Uma condição inicial (de *start*) foi previamente estabelecida, com ambos os grupos de painéis (experimental e de controle) limpos e secos. Foi observado também o estado do painel e a influência dos efluentes utilizados quanto à deterioração e embassamento, causados por substâncias incrustantes, corrosivas e gordurosas presentes nos mesmos.

### 3.4.3 Sistema de Aquisição de Dados

Nos dois conjuntos de painéis, sistema sem arrefecimento e sistema com arrefecimento, foram monitoradas as grandezas elétricas (tensão e corrente), as temperaturas dos módulos fotovoltaicos e as condições climáticas (temperatura ambiente, umidade relativa do ar e a irradiação solar).

Sabe-se que a potência produzida é um efeito final dos métodos de eficiência energética e, sendo assim, foram realizadas aferições diárias (às 10h, às 12h, às 14h e às 16h) de medidas de tensão, corrente, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, e irradiação solar, por um período de 30 dias para cada tipo de efluente analisado, monitoradas nos meses de outubro e novembro de 2018 (para o efluente industrial) e nos meses de janeiro e março de 2019 (para o efluente doméstico).

Além disso, a temperatura dos painéis foi monitorada em intervalos de 30 minutos durante todo o experimento.

#### *3.4.3.1 Medições das Grandezas Elétricas*

Para analisar a diferença da geração de energia nos dois grupos de painéis, experimental e de controle, e suas relações com os possíveis efeitos deteriorantes provenientes do efluente, foram utilizados multímetros, ou também chamados de multitestes: dois digitais, de modelo Md-1005 Icel; e dois analógicos, de modelo ET-3021<sup>a</sup> Minipa.

Os aparelhos de medição de grandezas elétricas foram conectados na saída das placas, antes da entrada nos microinversores, conectados cada um, em fases distintas da rede.

Foram monitorados nos equipamentos os dados de tensão e corrente, bem como a potência elétrica, o rendimento e a eficiência de conversão.

#### *3.4.3.2 Medições de Temperatura do Módulo Fotovoltaico*

Diariamente, foram verificadas as ações do efeito da temperatura sobre a potência dos painéis (dos painéis com arrefecimento e dos painéis sem arrefecimento), monitoradas nos meses de outubro e novembro de 2018 (para o efluente industrial) e nos meses de janeiro e março de 2019 (para o efluente doméstico), por um período de 30 dias, realizadas entre 09:00 e 17:00 horas, com intervalos de aquisição de dados de 30 minutos.

As leituras foram realizadas e armazenadas por dois *dataloggers* construídos a partir de um dispositivo de prototipagem eletrônica (descrito no tópico 3.3.2), os quais fizeram as aquisições de dados e disponibilizaram a um computador (via USB).

Medidas de temperatura foram realizadas por sensores de contato do tipo LM35, com uma tensão de saída analógica e faixa de medição de -55 °C a +150 °C com precisão de  $\pm 0,5$  °C, afixados com uma fita adesiva em contato com cada módulo fotovoltaico utilizado no estudo.

Como os dispositivos poderiam ficar sujeitos a diversos tipos de intempéries (como ventos e chuvas, por exemplo) que poderiam danificá-los, foi necessário colocá-los em caixas plásticas vedadas com tampas parafusáveis, abaixo da estrutura montada, com furos laterais para a passagem da fiação da alimentação energética e dos sensores tipo LM35.

Ao final de cada dia de medição, o cartão de memória era retirado do adaptador conectado à placa microcontroladora para um posterior tratamento dos dados.

### 3.4.3.3 *Medições das Condições Climáticas*

A temperatura ambiente e a umidade relativa do ar foram aferidas utilizando um Termo-higrômetro Digital, modelo am-208 *Alfa Mare*, acoplados a um sensor (termopar), colocados próximo a instalação Planta Piloto de Geração Fotovoltaica.

Já a irradiação solar, ou irradiância, foi aferida utilizando um medidor de energia solar digital, da marca TES-1333 *Solar Power Metter*, fornecendo assim a potência recebida por unidade de área ( $\text{W/m}^2$ ).

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia. Os resultados são apresentados em três etapas principais: análises físico-químicas dos efluentes estudados; resultados referentes ao protótipo de simulação baseado em lâminas de vidro; e resultados referentes à planta piloto de geração fotovoltaica.

#### 4.1 Análises Físico-Químicas dos Efluentes

As análises dos efluentes provenientes da Estação de Tratamento de um Laticínio próximo à região, e de um Sistema de *Wetland* Construído destinada ao tratamento de esgoto doméstico, foram realizadas a partir das características de cada efluente.

Devido à tipificação da origem de cada um, deu-se ênfase nos parâmetros mais impactantes para os problemas de corrosão, incrustação e deposição de partículas no reuso não potável, para a aplicação e arrefecimento em PVs.

Os resultados são apresentados a seguir.

##### 4.1.1 Efluente da Estação de Tratamento de um Laticínio Próximo a Região

Após a coleta das amostras, estas foram submetidas, em laboratório, às análises de pH, CE, alcalinidade, dureza total, fósforo total e DBO. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados dos parâmetros físico-químicos da Estação de Tratamento de um Laticínio.

<i>Parâmetros</i>	<i>Resultados</i>	<i>Unidade</i>	<i>Metodologia</i>
pH	7,36	U pH	ABNT NBR5762
Alcalinidade	15,00	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SM 3500-Ca
CE	95,65	μS/cm	SM 2510
Dureza Total	9,00	mg/L	SM 2510
Fósforo Total	3,50	mg/L	SM 4500-P
DBO	2,73	mg O <sub>2</sub> /L	SM 4500-H+

Pelos resultados dispostos na Tabela 6, observa-se que o pH do efluente analisado, foi de 7,36, bem próximo a neutralidade, atendendo a Resolução n° 430, de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2011), que complementa e altera a Resolução n° 357/2005 (CONAMA, 2005), que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de eflu-

entes, mantendo-se na faixa estabelecida entre 6,0 e 9,0, assim como o Decreto Goiano nº 1745 (GOIÁS, 1979), que dispõe sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente, estabelecendo um limite entre 5,0 a 9,0; e a Resolução Conjunta entre as Secretaria Estadual de Saúde de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente e Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SES/SMA/SSRH) nº 1/2017, que disciplina o reuso de água para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas, estabelecendo uma faixa aceitável de pH entre 5,0 a 9,0 (DOE, 2017).

Valores de pH entre 6,0 e 9,0 (MANCUSO & SANTOS, 2003; USEPA, 2004), 6,5 e 9,5 (PINJING et al., 2001), 6,9 a 9,0 (MIERZWA, 2002; CROOK E SURAMPALLI, 1996 ) e 7,0 e 9,0 (EBLE E FEATHERS, 1992) são aceitos como padrões de qualidade para águas de reuso em torres de resfriamento. Já valores de pH entre 6,0 e 9,0 (NBR 13969, 1997; USEPA, 2004; PIO, 2005; OENNING JUNIOR & PAWLOWSKY, 2007) são recomendados para águas de reuso em lavagem de pisos e veículos.

Nesse sentido, o resultado foi considerado favorável ao estudo, pois, baixos valores de pH potencializam a ocorrência de corrosão em tubulações, peças, e equipamentos, enquanto que altos valores de pH, facilitam o surgimento de incrustações nas tubulações e podem estar associados à proliferação de algas (VON SPERLING, 2005).

A alcalinidade do efluente analisado foi de 15,00 mg/L, considerada relativamente baixa. Entretanto, as Resoluções Conama nº 357 (CONAMA, 2005) e Conama nº 430 (CONAMA, 2011), bem como o Decreto Goiano nº 1745 (GOIÁS, 1979) e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017 (DOE, 2017), não fazem referência aos limites de desse parâmetro nos efluentes.

Valores de alcalinidade de até 350 mg/L podem ser utilizadas como padrões de qualidade para águas de reuso em resfriamento. Para vapor em caldeiras, são aceitos valores de até 350 mg/L utilizados em baixa pressão (< 10 bar) e 40 mg/L utilizados em alta pressão (> 50 bar) (ASANO et al., 2007). Sendo assim, o resultado foi considerável ideal ao estudo, não representando riscos potenciais de formação de incrustações e corrosões em encanamentos e tubulações para o experimento.

De acordo com o resultado observado, a condutividade elétrica encontrada na amostra foi de 95,65  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . As Resoluções nº 357/2005 e nº 430/2011 do Conama e o Decreto Goiano nº 1745/1979, no que diz respeito a condições de lançamento de efluentes, não apresentam limite máximo desse parâmetro analisado (GOIÁS, 1979; CONAMA, 2005; CONAMA, 2011).

Entretanto, a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017 permite CE de até 3,0  $\times 10^5$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  para o reuso de água para fins urbanos, em uso com restrição severa, como irrigação paisagística, lavagem de logradouros e outros espaços públicos privados, construção

civil e desobstrução de galerias de águas pluviais e rede de esgotos (DOE, 2017). Valores de CE entre 800 e 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  são aceitos como padrões de qualidade para águas de reuso em torres de resfriamento (USEPA, 2004).

Desse modo, considera-se o resultado encontrado para a CE propício ao experimento, pois esse baixo valor não indica a precipitação e deposição de sais nas tubulações e estrutura.

Pela Tabela 6, observa-se que a dureza total do efluente analisado foi de 9,00 mg/L, sendo este classificado pelo Ministério da Saúde como dureza branda, mole ou macia, pois possui valor menores que 50 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , (BRASIL, 2014).

As Resoluções nº 357/2005 e nº 430/2011 do Conama, o Decreto Goiano nº 1745/1979 e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017, no que diz respeito a condições de lançamento de efluentes, não apresentam limite máximo desse parâmetro analisado (GOIÁS, 1979; CONAMA, 2005; CONAMA, 2011; DOE, 2017). Entretanto considera-se esse parâmetro com um valor favorável ao estudo, uma vez que não apresenta propensão a incrustações, corrosão e deposição de substâncias que podem danificar a estrutura montada para o estudo (EUVRARD et al., 1997; FERNANDES et al., 2015).

Segundo os dados da Tabela 6, o valor do fósforo total no efluente foi de 3,50 mg/L, variando na faixa de fósforo total de 2,4 a 38,6 mg/L para a água residuária do leite (CHEN & LIU, 2012; BEEVI & SUKUMARAN, 2014).

As Resoluções Conama nº 357 (CONAMA, 2005) e Conama nº 430 (CONAMA, 2011), bem como o Decreto Goiano nº 1745 (GOIÁS, 1979) e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017 (DOE, 2017), não fazem referência aos limites desse parâmetro. Logo, o resultado encontrado foi considerado favorável ao estudo, pois, não potencializa a proliferação de microalgas.

Avaliando o dado obtido para a DBO, o valor de 2,73 mg  $\text{O}_2$  /L atendem às Resoluções Conama nº 357/2005 e nº 430/2011, que estabelecem que o valor máximo de concentração seja de 120 mg  $\text{O}_2$ /L, podendo este valor ser ultrapassado desde que os sistemas de tratamento reduzam a carga poluidora em termos de DBO em no mínimo 60% (CONAMA, 2005; CONAMA, 2011).

Atende também ao Decreto Estadual nº 1745 de 1979, que estabelece como padrão de lançamento para DBO o valor de 60 mg  $\text{O}_2$ /L (GOIÁS, 1979); e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017 (DOE, 2017), que permite valores menores ou iguais a 30,0 mg  $\text{O}_2$ /L para o reuso de água para fins urbanos, em uso com restrição severa.

Valores máximos de até 25 mg  $\text{O}_2$ /L para o parâmetro de DBO são aceitos como padrões de qualidade para águas de reuso em torres de resfriamento (MANCUSO, 2001; RIERA, SUÁREZ & MURO, 2013) e assim, considerou-se esse parâmetro favorável ao

experimento devido ao seu baixo valor, um indicativo de pouca matéria orgânica biodegradável.

A análise desses parâmetros faz desta água residuária, proveniente de efluente industrial (laticínio), um importante potencial para o reuso não potável em sistemas de arrefecimento de placas solares fotovoltaicas.

#### 4.1.2 Efluente do Sistema Wetland Construído Doméstico

Após a coleta, as amostras foram submetidas, em laboratório, às análises de dureza total, cloreto, CE, DBO, DQO, ferro, fósforo total, OG, pH, sólidos suspensos totais (SST), sólidos totais dissolvidos (STD) e turbidez.

Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados dos parâmetros físico-químicos do Sistema por Zonas de Raízes (*Wetland*).

<i>Parâmetros</i>	<i>Resultados</i>	<i>Unidade</i>	<i>Metodologia</i>
Dureza Total	86,00	mg/L	ABNT NBR1262192
Cloreto	31,00	mg/L	ABNT NBR 13797
CE	295,00	µS/cm	SM 2510
DBO	23,50	mg O <sub>2</sub> /L	SM 3500-Ca
DQO	43,00	mg O <sub>2</sub> /L	SM 5220
pH	6,84	U pH	SM 4500-H+
Ferro	0,49	mg/L	SM 3500-Fe
Fósforo Total	4,60	mg/L	SM 4500-P
OG	<0,30	mg/L	SM 5520
SDT	195,00	mg/L	SM 2540
SST	203,00	mg/L	SM 2540
Turbidez	11,00	NTU	SM 2130

Pelos resultados dispostos na Tabela 7, observa-se que a dureza total do efluente analisado foi de 86,00 mg/L, sendo este classificado pelo Ministério da Saúde com uma dureza moderada, pois possui valor entre 50 mg/L e 150 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (BRASIL, 2014).

As Resoluções nº 357/2005 e nº 430/2011 do Conama, o Decreto Goiano nº 1745/1979 e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017, não apresentam limite máximo para parâmetro (GOIÁS, 1979; CONAMA, 2005; CONAMA, 2011; DOE, 2017). Entretanto, considera-se esse parâmetro favorável ao estudo proposto, uma vez que não apresenta propensão a danos à estrutura quanto a incrustações, corrosões e deposição de substâncias.

Para o cloreto, concentração no efluente foi de 31,00 mg/L, atendendo as Resoluções Conama n° 357 (CONAMA, 2005) e Conama n° 430 (CONAMA, 2011), mantendo-se abaixo de 250 mg/L. Já o Decreto Goiano n° 1745 (GOIÁS, 1979) não faz referência aos limites desse parâmetro, e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH n° 1/2017, permite concentrações de até 106 mg/L para o reuso de água para fins urbanos com restrição moderada, e valores de até 350 mg/L para o reuso de água para fins urbanos com restrição severa (com exceção de combate a incêndio e lavagem interna de veículos) (DOE, 2017)..

Assim, o valor encontrado para esse parâmetro é considerado totalmente viável a esse estudo, pois consegue-se obter um melhor controle do experimento referentes a problemas de incrustações e corrosões.

De acordo com o resultado observado, a CE encontrada na amostra foi de 295,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . As Resoluções n° 357/2005 e n° 430/2011 do Conama e o Decreto Goiano n° 1745/1979, no que diz respeito a condições de lançamento de efluentes, não apresentam limite máximo desse parâmetro analisado (GOIÁS, 1979; CONAMA, 2005; CONAMA, 2011). Entretanto, a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH n° 1/2017, permite CE de até  $3,0 \times 10^5$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  para o reuso de água para fins urbanos, em uso com restrição severa (DOE, 2017).

Segundo o Ministério da Saúde (BRASIL, 2014), enquanto que as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , em esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , podendo variar devido a sua constituição e vazão. Desse modo, considera-se o resultado encontrado para a CE propício ao experimento, pois esse baixo valor não é indicativo de precipitação e deposição de sais nas tubulações e estrutura.

Para a DBO, o valor encontrado foi de 23,50 mg  $\text{O}_2/\text{L}$ , atendendo às Resoluções Conama n° 357/2005 e n° 430/2011, que estabelecem que o valor máximo de concentração seja de 120 mg  $\text{O}_2/\text{L}$ , podendo este valor ser ultrapassado desde que os sistemas de tratamento reduzam a carga poluidora em no mínimo 60% (CONAMA, 2005; CONAMA, 2011).

Atende também ao Decreto Estadual n° 1745 de 1979, que estabelece como padrão de lançamento para DBO o valor de 60 mg  $\text{O}_2/\text{L}$ , podendo este valor ser ultrapassado desde que os sistemas de tratamento reduzam a carga poluidora em no mínimo 80% (GOIÁS, 1979); e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH n° 1/2017, que permite valores menores ou iguais a 30,0 mg  $\text{O}_2/\text{L}$  para o reuso de água para fins urbanos, em uso com restrição severa (DOE, 2017).

Já para o parâmetro de DQO, valor encontrado foi de 43 mg  $\text{O}_2/\text{L}$ , os quais as Resoluções Conama n° 357 (CONAMA, 2005) e Conama n° 430 (CONAMA, 2011), o Decreto Goiano n° 1745 (GOIÁS, 1979) e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH n° 1/2017 (DOE, 2017), não fazem referência aos limites desse parâmetro em efluentes.

Segundo Nagamati, Santos & Mendes (2018), estes valores de DBO e DQO estão relacionados à geração de efluente com alta concentração de detergente, surfactantes e matéria orgânica, devido à cocção de alimentos (preparo de refeição) e lavagem de utensílios roupas. Nesse sentido, os resultados foram considerados favoráveis ao estudo, pois, baixos valores desses parâmetros são indicativos de pouca concentração da matéria orgânica total presente na amostra (biodegradável ou não).

O valor encontrado para o pH foi de 6,84, próximo a neutralidade, e portanto este encontra-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução nº 357 (CONAMA, 2005) e pela Resolução nº 430 (CONAMA, 2011), que é de 6 a 9; atende também ao Decreto Estadual nº 1745 e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017, que permitem valores de pH entre 5 e 9 (GOIÁS, 1979; DOE, 2017).

Sendo assim, o resultado foi considerado favorável ao estudo, pois, valores de pH próximos a neutralidade evitam a ocorrência de corrosões e incrustações em tubulações, peças, e equipamentos utilizados no experimento.

O valor encontrado no efluente em questão, para o parâmetro ferro, foi de 0,49 mg/L. As Resoluções Conama nº 357 (CONAMA, 2005) e Conama nº 430 (CONAMA, 2011) estabelecem que o valor máximo de concentração seja 15,0 mg Fe/L para lançamento na rede coletora pública, assim como o Decreto Estadual nº 1745 que determina, como condições de lançamento de efluentes, que o Ferro esteja nesse limite (GOIÁS, 1979). Entretanto, a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017 não faz referência ao limite desse parâmetro em efluentes (DOE, 2017).

Logo, considera-se o resultado encontrado para a o parâmetro ferro propício ao experimento, pois esse baixo valor não é indicativo de depósitos nas tubulações e estrutura, e de contaminação biológica.

Segundo a Tabela 7, o valor do fósforo total no efluente foi de 4,60 mg/L. Entretanto, as Resoluções nº 357/2005 e nº 430/2011 do CONAMA, o Decreto Goiano nº 1745/1979 e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017, não apresentam limite máximo para parâmetro (GOIÁS, 1979; CONAMA, 2005; CONAMA, 2011; DOE, 2017).

Em decorrência disso, no Brasil, a literatura clássica acerca do assunto aponta para uma faixa de concentração típica de fósforo total (P-total) nos esgotos bastante ampla, da ordem de 5,0 a 20,0 mg/L, variável de acordo com diferentes autores (DORNELAS, MACHADO & VON SPERLING, 2009; RANDALL et al., 2010; JORDÃO e PESSÔA, 2011). Assim, o resultado foi considerado favorável ao estudo, pois, não potencializa à proliferação de microalgas nos equipamentos utilizados no experimento.

O valor para o parâmetro de OG no efluente foi menor que 0,30 mg/L, atendendo aos padrões para lançamento direto de efluente tratado em corpo hídrico receptor, conforme apre-

sentado nas resoluções CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011, que estabelecem a concentração máxima permitida de 20 mg/L para óleos minerais, e 50 mg/L para óleos vegetais e gorduras animais (CONAMA, 2005; CONAMA, 2011). Entretanto, o Decreto Goiano nº 1745 (GOIÁS, 1979) e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017 (DOE, 2017), não fazem referência aos limites desse parâmetro.

Esse baixo valor pode ser atribuído a presença da caixa de gordura, como uma unidade de tratamento preliminar, que retém essas partículas, operando de maneira eficiente, evitando uma série de problemas causados por esses poluentes em sistemas de rede e tratamento de esgoto. Desse modo, resultado foi considerado favorável ao estudo, pois, não favorece a deposição de partículas de gordura e o embassamento na estrutura e nos equipamentos utilizados no experimento.

O valor de STD encontrado para o efluente foi de 195,00 mg/L, de acordo com a Tabela 7. Isso mostra que o tratamento neste quesito atende a Resolução Conama nº 357 e Conama nº 430 (CONAMA, 2005; CONAMA, 2011), que dispõem sobre as condições e os padrões de lançamento de efluentes, mantendo-se abaixo de 500 mg/L para STD. Já o Decreto Goiano nº 1745 (GOIÁS, 1979) e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017 (DOE, 2017), não fazem referência aos limites desse parâmetro.

Já o valor dos SST foi de 203,00 mg/L, o qual está intimamente ligado ao teor de turbidez. A Resolução Conama nº 357 (CONAMA, 2005), Conama nº 430 (CONAMA, 2011), o Decreto Goiano nº 1745 (GOIÁS, 1979) e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017 (DOE, 2017) não fazem referência aos limites de sólidos suspensos totais em efluentes.

O valor encontrado para o turbidez do efluente em questão foi de 11 NTU, um valor muito abaixo recomendado Resolução nº 357 (CONAMA, 2005), uma vez o efluente tratado se enquadra nos padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água, que permite valores de turbidez de até 40 NTU para classe I e até 100 NTU para classe II.

Nesse sentido, os valores encontrados para os parâmetros de SST e STD são considerados totalmente viáveis a esse estudo, pois não apresentam potencialidades para ocorrência de corrosões e o surgimento de incrustações em tubulações, peças, e equipamentos.

A análise de coliformes totais se mostrou positivo para os testes presuntivos e confirmativos na amostra, com cerca de 3 UFC/mL. A Legislação Brasileira não determina um limite desse parâmetro para os efluentes de estações de tratamento de esgoto. Todavia, a Resolução nº 357 aceita um limite de 10 UFC/mL, 500 UFC/mL e 2000 UFC/mL para os corpos d'água das Classes I, II e III, respectivamente (CONAMA, 2005).

Considerando a alternativa de reuso do efluente tratado final, para fim não potável, proveniente de um Sistema *Wetland* Construído Doméstico, no aproveitamento em arrefeci-

mento de placas solares fotovoltaicas, pode-se considerar que o presente efluente avaliado se encontra passível de aplicação para esta atividade.

## 4.2 Resultados Referentes ao Protótipo de Simulação Baseado em Lâminas de Vidro

### 4.2.1 Construção do Protótipo

Conforme a descrição metodológica, a Figura 28 mostra uma vista lateral do protótipo construído e instalado para a simulação do comportamento do sistema fotovoltaico em contato com os efluentes estudados, averiguando assim seus efeitos e danos no vidro; onde 1 são as lâminas de vidro, 2 é o perfil de alumínio para a injeção de água sobre as lâminas, 3 é calha para a captação do efluente, 4 é o recipiente de coleta do efluente, 5 é bomba centrífuga utilizada para reabastecer o reservatório 6 e 7 é o recipiente que continha o produto de correção aplicado na terceira chapa de vidro.



Figura 28 – Vista lateral das lâminas de vidro do protótipo construído.

#### 4.2.2 Avaliação e Monitoramento dos Dados

A Figura 29 mostra o oxidante utilizado como técnica de limpeza, o SOS Poder *Shock* O<sup>2</sup> Multiclor, um poderoso algistático, adequado à desinfecção, além de clarificante de superfícies. Fez-se uma solução com água tratada e o produto (segundo dados do fabricante, de 10 a 15 g/m<sup>3</sup>) e aplicaram-se periodicamente duas vezes por dia (no início e no final do experimento), por um período de 5 minutos cada.



Figura 29 – Oxidante SOS Poder *Shock* O<sup>2</sup> Multiclor, utilizado como técnica de limpeza.

A Figura 30 mostra o medidor de energia solar digital, da marca TES –1333 *Solar Power Meter*, com range de 1 a 2000 W/m<sup>2</sup> e exatidão de 10%, utilizado para medir os percentuais de irradiação solar direta sobre as lâminas, fornecendo assim a potência recebida por unidade de área (W/m<sup>2</sup>).



Figura 30 – Medidor de energia solar digital, da marca TES-1333 *Solar Power Meter*.

Por um período de 20 dias, entre os meses de abril e maio de 2017, após a aplicação do efluente da estação de tratamento de um laticínio próximo à região, em regime contínuo, para cada uma das três chapas de vidro analisadas nesse estudo, foram medidos os percentuais de irradiação luminosa média.

A Figura 31 mostra o gráfico das médias de potência recebida (Irradiância) por unidade de área, em  $W/m^2$ , ao longo dos 20 dias de experimento, da Lâmina 1 (controle, seca), Lâmina 2 (aplicou-se somente o efluente tratado) e Lâmina 3 (aplicou o efluente tratado e o método de correção).

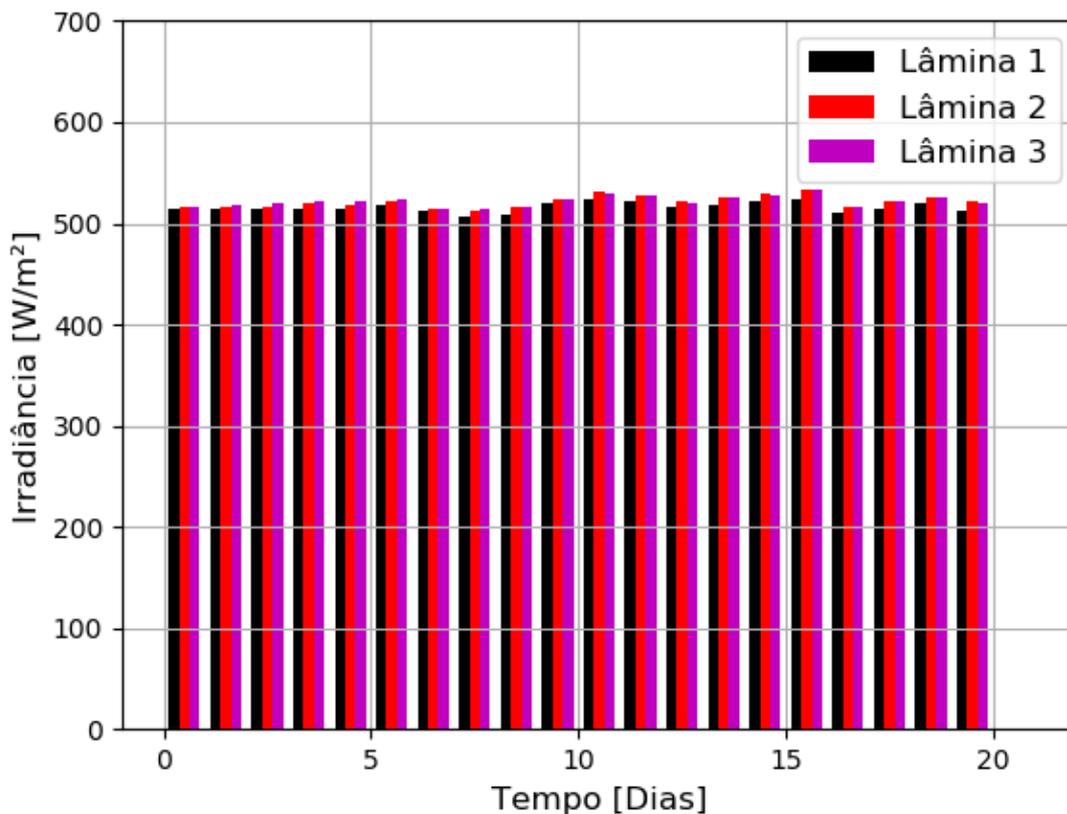


Figura 31- Resultado da Irradiância Média nas lâminas de vidro.

A partir da Figura 31, é possível concluir que as médias entre os três tratamentos são bem próximas uma da outra, uma vez que a média geral foi de  $516,24 W/m^2$  para a Lâmina 1 (controle, seca),  $521,62 W/m^2$  para a Lâmina 2, em que aplicou-se somente o efluente tratado, e  $522,01 W/m^2$  para a Lâmina 3, em que aplicou-se o efluentetratado e o método de correção.

Assim como foi verificado, esperava-se que a Lâmina 1 obtivesse um menor valor de irradiância devido a exposição à sujidade depositada na superfície, ocasionada principalmente pela poeira e poluição do meio.

Os valores bem próximos de irradiância encontrados para as Lâminas 2 e 3, podem ser atribuídos à passagem da água residuária tratada sobre as chapas de vidro. Entretanto, esperava-se que a Lâminas 3 obtivesse um maior valor significativo, uma vez que esta foi submetida a uma técnica de limpeza adicional, contribuindo para a melhoria da limpeza da mesma.

Foram observados os aspectos visuais em cada placa, como ilustra as Figuras 32 e 33.

De acordo com a Figura 32, pode-se perceber que a partir do 8º dia de experimento, houve a deposição de materiais particulados sobre as chapas de vidro, de coloração esbranquiçada, de características incrustante e gordurosa, em ambas as placas em que se aplicaram o efluente: Lâmina 2 (somente o efluente) e a Lamina 3 (efluente e o método de correção).



Figura 32 – Deposição de materiais particulados sobre as chapas de vidro.

De acordo com Trovatti (2004), pode-se encontrar uma grande variedade de substâncias dissolvidas na água. Trata-se na maior parte de óxidos e sais solubilizados em diferentes condições principalmente pH, temperatura e concentração. Em altas temperaturas, essas substâncias presentes no estado líquido superam os limites de solubilidade, e acontece a precipitação destas nas superfícies, formando então as incrustações.

Segundo Moruzzi et al. (2012), as incrustações ocorrem devido ao depósito de minerais que precipitam na parede do tubo e são arrastados para as superfícies, diminuindo a capacidade de condução hidráulica e causando problemas relacionados à alteração da qualidade da água.

Mesmo que seja um processo relativamente natural, alguns fatores favorecem o aparecimento de incrustações. Um deles é em locais onde ocorre perda de carga, muito comum em fluxos que necessitam passar por alguns obstáculos e válvulas e saídas de água, como conexões e torneiras (TORINO SOLUZIONI AMBIENTALI, 2018).

Além disso, a partir do 10º dia do experimento, conforme mostra a Figura 33, foram observadas manchas sobre as chapas de vidros, de coloração alaranjada, semelhante a ferrugem, em ambas as placas em que se aplicaram o efluente: Lâmina 1 (somente o efluente) e a Lamina 3 (efluente e o método de correção).

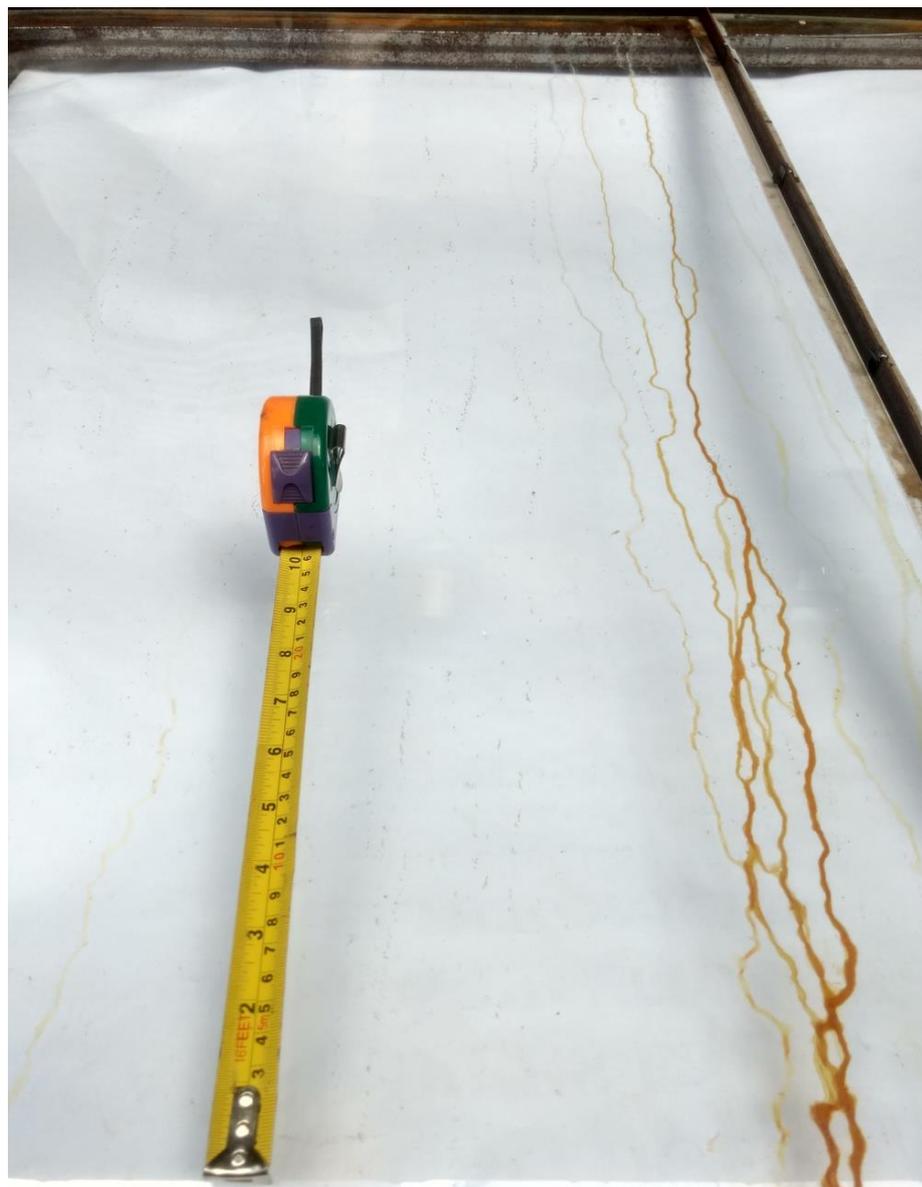


Figura 33 – Manchas de cor alaranjada sobre as chapas de vidro.

As formações calcárias que se formam e se acumulam, reduzem o diâmetro interno das tubulações e, conseqüentemente, ocorre à diminuição da vazão, devido ao aumento da perda de carga. Nesse processo ocorre o arraste das incrustações recém-formadas, o que resulta em um aspecto sujo, sabor ferruginoso e coloração amarelada na água (RUBIM, 2014).

Nas práticas de reuso, deve-se observar a qualidade das águas e sua potabilidade, se necessário, para garantia de saúde, evitar problemas de instalações como incrustações e corrosão, danos nas propriedades físicas e químicas dos produtos fabricados ou alterações da solubilidade dos reagentes (CONSELHO NACIONAL DE QUÍMICA, 2004).

Assim como descrito no tópico 4.1.1, o efluente proveniente da estação de tratamento de um laticínio próximo à região estava totalmente apto ao estudo, devido as suas características e a boa qualidade encontrada. Logo, esses problemas observados poderiam estar relacionados à interação do efluente utilizado com as estruturas metálicas utilizadas no experimento, como o perfil metálico de distribuição do efluente, bem como as conexões metálicas, em materiais de ferro e alumínio, e a utilização de uma bomba centrífuga com as paletas do rotor de metal, como exemplificam as Figura 34 e Figura 35.



Figura 34 – Exemplo de conexões metálicas utilizadas no experimento.



Figura 35 – Bomba centrífuga com paletas de metal utilizada no experimento.

Normalmente, essas incrustações são acumuladas em superfícies onde o escoamento é mais difícil, como em locais afastados do bombeamento ou em curvas da tubulação (SILVA, 2013), como observa-se na Figura 36.



Figura 36 – Incrustações nas conexões metálicas utilizadas no experimento.

Para comprovar que esses problemas observados estavam relacionados à interação do efluente tratado utilizado com as estruturas e conexões metálicas utilizadas no experimento, e para dar continuidade ao estudo, a planta piloto geração fotovoltaica foi inteiramente construída utilizando estruturas e conexões de plástico.

Segundo Rubim (2014), existem novos materiais de tubulações, com perfil tecnológico, que atendem às diversas necessidades dos clientes. Tubos e conexões em plástico PVC, por exemplo, facilitam a instalação e os reparos e provocam menos vazamentos. Além de ser um plástico leve, barato e de fácil aplicação, é muito utilizado em tubulações de água e esgoto.

### **4.3 Resultados Referentes à Planta Piloto de Geração Fotovoltaica**

#### *4.3.1 Construção da Planta Piloto*

Conforme a descrição metodológica, a Figura 37 mostra a planta piloto de geração fotovoltaica construída e instalada para o estudo do comportamento do sistema fotovoltaico em contato com os efluentes estudados (sistema de arrefecimento), onde 1 são os painéis solares, 2 é o perfil de plástico (PVC) utilizado para a aplicação do efluente sobre os painéis do

grupo experimental (painéis arrefecidos), 3 é calha de plástico (PVC) para a captação do efluente e 4 é o reservatório de efluente, contendo as bombas submersas utilizadas.



Figura 37 – Vista da planta piloto de geração fotovoltaica construída e instalada

#### 4.3.2 Avaliação e Monitoramento dos Dados

A Figura 38 mostra o sistema montado para a aquisição de dados elétricos da planta piloto de geração fotovoltaica construída e instalada, mostrando os medidores utilizados para o monitoramento dos parâmetros de tensão e corrente, sendo dois digitais, de modelo Md-1005 Icel; e dois analógicos, de modelo ET-3021<sup>a</sup> Minipa (1), os microinversores fotovoltaicos monofásico (APSYSTEMS YC500A/I) (2), conectados a uma das fases da rede (3), no quadro de distribuição de energia (4). Além disso, mostra também o medidor de temperatura ambiente e umidade relativa do ar (5), um Termo higrômetro Digital, modelo am-208 Alfa Mare.

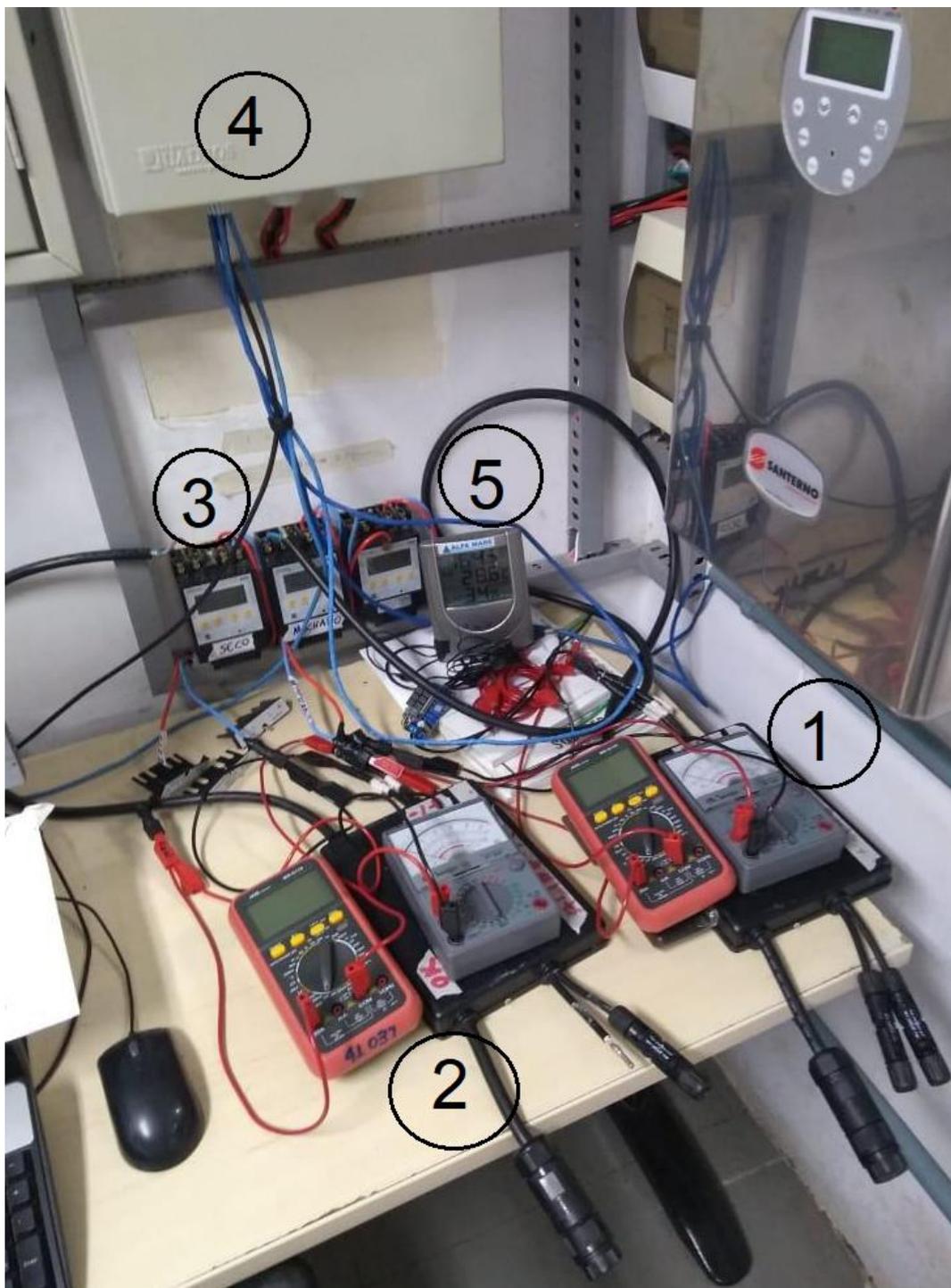


Figura 38– Vista do sistema de monitoramento de dados da planta piloto de geração fotovoltaica.

O medidor dos valores da intensidade de irradiação solar ( $\text{W/m}^2$ ) foi o mesmo utilizado na etapa anterior, da marca TES-1333 *Solar Power Meter*, com range de 1 a  $2000 \text{ W/m}^2$  e exatidão de 10%.

#### 4.3.2.1 Parâmetros elétricos e térmicos dos PVs com água de reuso industrial

As Figuras 39, 40, 41 e 42 mostram o comparativo entre as taxas de potência gerada no sistema fotovoltaico nos painéis com e sem sistema de arrefecimento, medidos entre os meses nos meses de outubro e novembro de 2018, nos horários das 10h, 12h, 14h e 16h, res-

pectivamente, com uma temperatura ambiente média de 30,45°C, uma umidade relativa média de 44% e uma irradiância média de 450,80 W/m<sup>2</sup>.

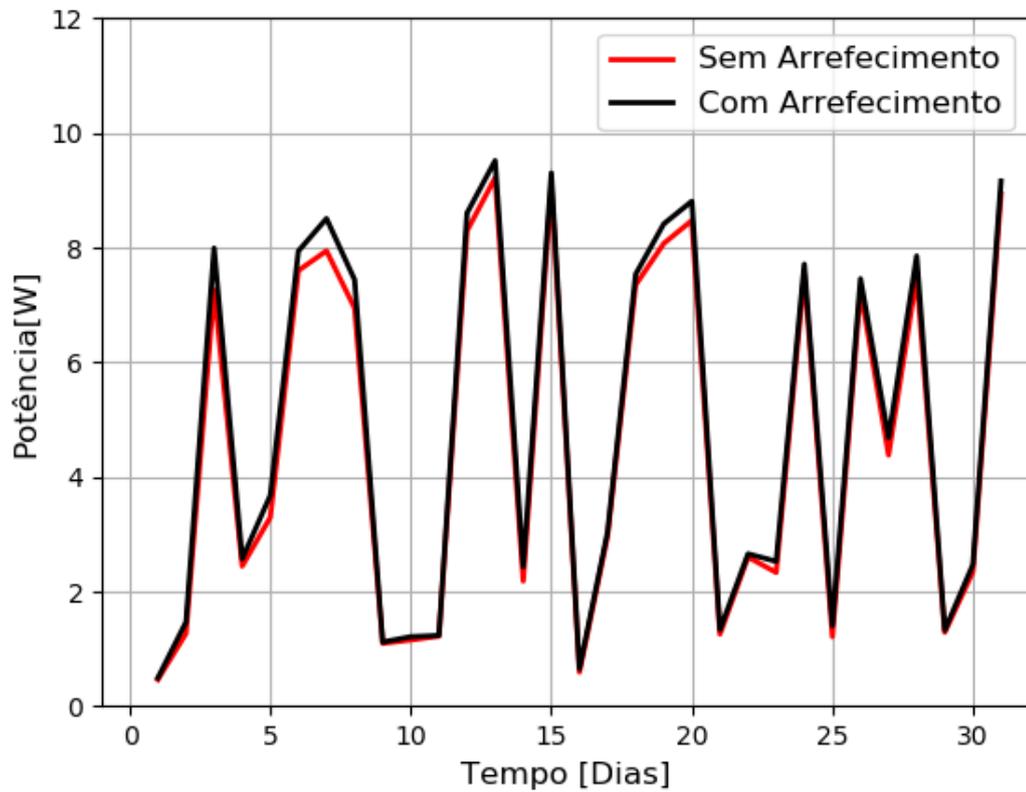


Figura 39 – Potência gerada pela planta piloto às 10h, com o uso do efluente industrial tratado.

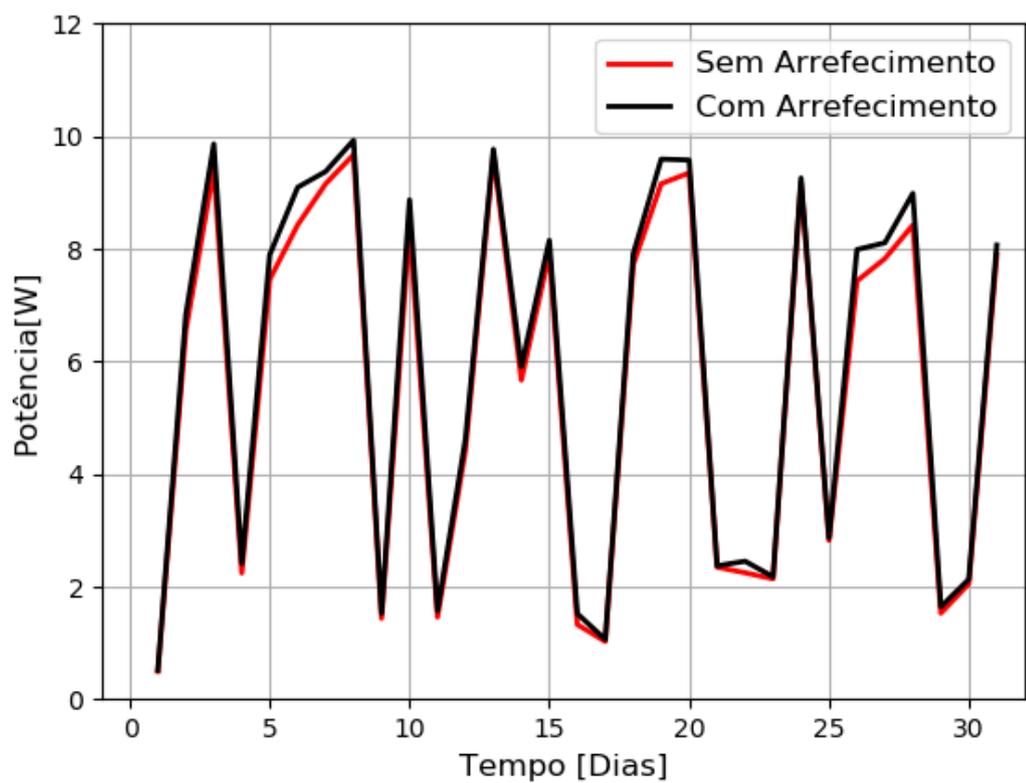


Figura 40 – Potência gerada pela planta piloto às 12h, com o uso do efluente industrial tratado.

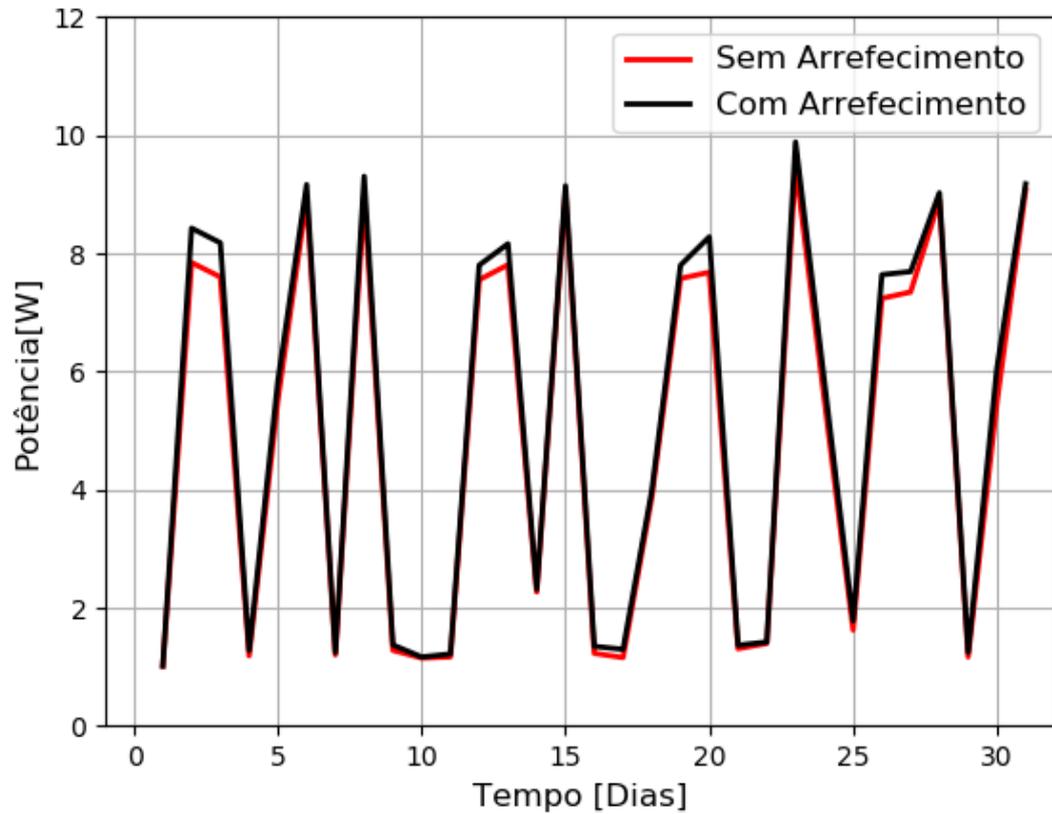


Figura 41 – Potência gerada pela planta piloto às 14h, com o uso do efluente industrial tratado.

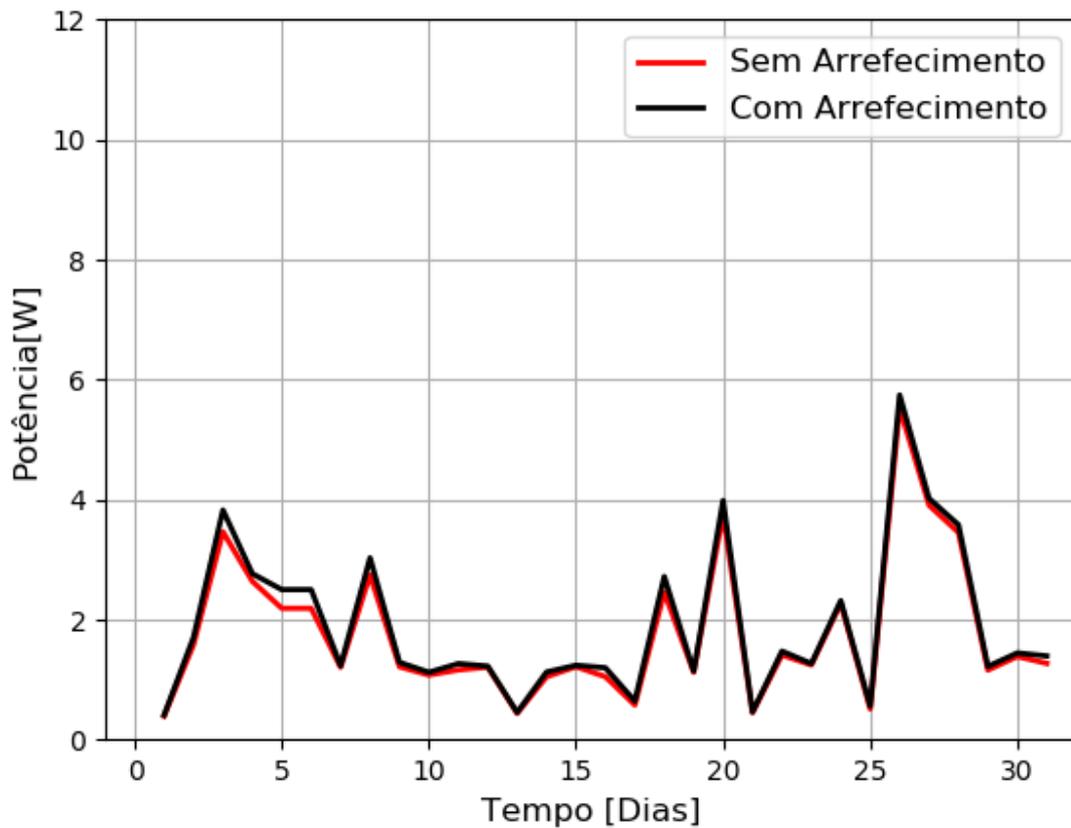


Figura 42 – Potência gerada pela planta piloto às 16h, com o uso do efluente industrial tratado.

As Figuras 43 e 44 mostram, respectivamente, a média diária da potência gerada pela planta piloto e a variação média de temperatura nos PVs com e sem sistema de arrefecimento durante todos os dias do experimento.

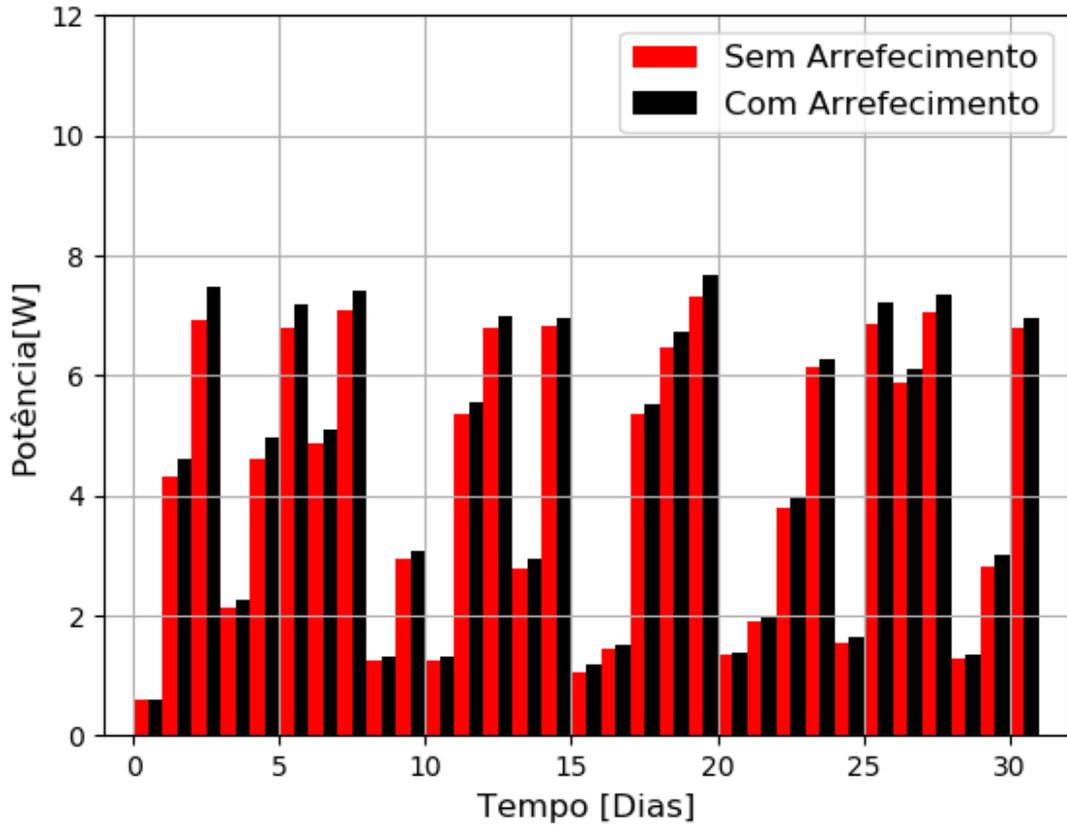


Figura 43 – Média diária da potência gerada pela planta piloto, utilizando efluente industrial tratado.

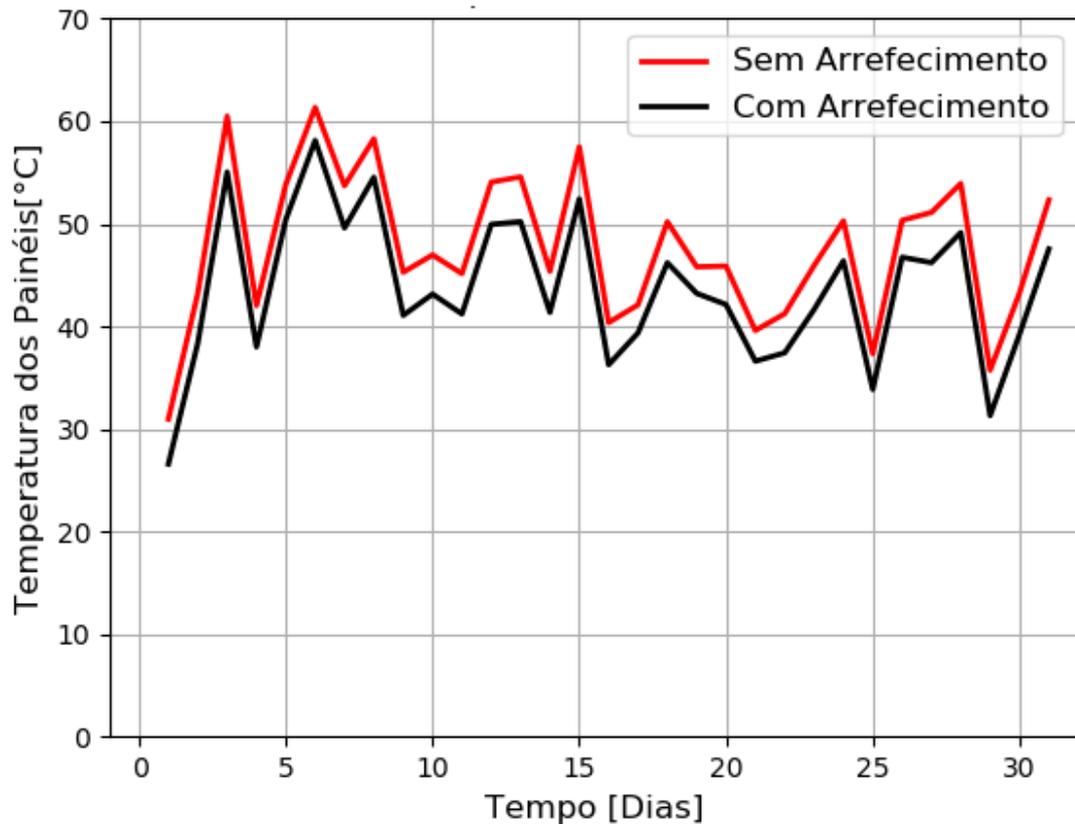


Figura 44 – Comparação do efeito da temperatura nos PVs com e sem sistema arrefecimento, utilizando efluente industrial tratado.

Pela análise dos gráficos anteriores, pode-se perceber que a potência do painel arrefecido é superior a do painel sem arrefecimento, uma vez que a média mensal do painel arrefe-

cido é 4,361 W e a media mensal do painel seco é 4,162 W; assim como a média das temperaturas, onde para os painéis sem arrefecimento é de 47,53°C e a média para os painéis com arrefecimento é de 43,54°C, conforme pode ser confirmado pela Tabela 8.

Tabela 8: Dados de Potência Média e Temperatura dos PVs com e sem sistema de arrefecimento, utilizando efluente industrial tratado.

<i>Dias do Experimento</i>	<i>Potência Média Diária (W)</i>	<i>Potência Média Diária (W)</i>	<i>Temperatura das Placas (°C)</i>	<i>Temperatura das Placas (°C)</i>
	<i>S/Arrefecimento</i>	<i>C/ Arrefecimento</i>	<i>S/ Arrefecimento</i>	<i>S/ Arrefecimento</i>
1	0,593	0,612	30,97	26,6
2	4,310	4,609	43,22	38,38
3	6,939	7,466	60,48	55,05
4	2,131	2,259	42,04	38,01
5	4,616	4,980	53,86	50,42
6	6,786	7,176	61,34	58,12
7	4,879	5,09	53,71	49,6
8	7,085	7,427	58,29	54,54
9	1,260	1,328	45,28	41,08
10	2,949	3,095	46,97	43,15
11	1,256	1,325	45,15	41,22
12	5,372	5,565	54,06	49,95
13	6,784	6,977	54,57	50,21
14	2,794	2,948	45,38	41,37
15	6,817	6,961	57,5	52,42
16	1,053	1,183	40,38	36,27
17	1,434	1,513	42,11	39,37
18	5,350	5,538	50,2	46,21
19	6,483	6,739	45,81	43,22
20	7,316	7,664	45,88	42,14
21	1,343	1,387	39,61	36,62
22	1,916	2,004	41,24	37,43
23	3,804	3,966	45,93	41,65
24	6,128	6,284	50,29	46,39
25	1,545	1,656	37,33	33,86
26	6,866	7,208	50,34	46,74
27	5,866	6,127	51,11	46,22
28	7,072	7,363	53,93	49,14
29	1,289	1,362	35,74	31,31
30	2,816	3,026	43,27	39,25
<b>Média</b>	<b>4,162</b>	<b>4,361</b>	<b>47,53</b>	<b>43,54</b>

Isso ocorre devido ao fluxo e ao resfriamento proporcionado pelo bombeamento da água de reuso, pois quando se aplica o efluente diretamente sobre o PV, com uma boa distribuição da água residuária na forma contínua de lâmina d'água na superfície do painel, proporciona uma redução da temperatura de operação do painel, absorvendo o calor gerado, em comparação com o painel de referência convencional.

A temperatura inicial dos painéis é igual à temperatura ambiente, podendo chegar até 65°C sem sistema de arrefecimento. O sensor de temperatura foi posicionado no centro dos painéis, uma vez que a área do painel era muito pequena, aproximadamente 500 cm<sup>2</sup> cada.

O fluxo de água aplicado sobre o painel fotovoltaico pode provocar variações súbitas de temperatura devido o caminho percorrido pela água de reuso. Mesmo assim, observa-se que o fluxo de água proporciona a diminuição da temperatura, e conseqüentemente o aumento de potência instantânea.

A Figura 45 mostra a eficiência global (média diária) dos dois sistemas analisados nesse estudo.

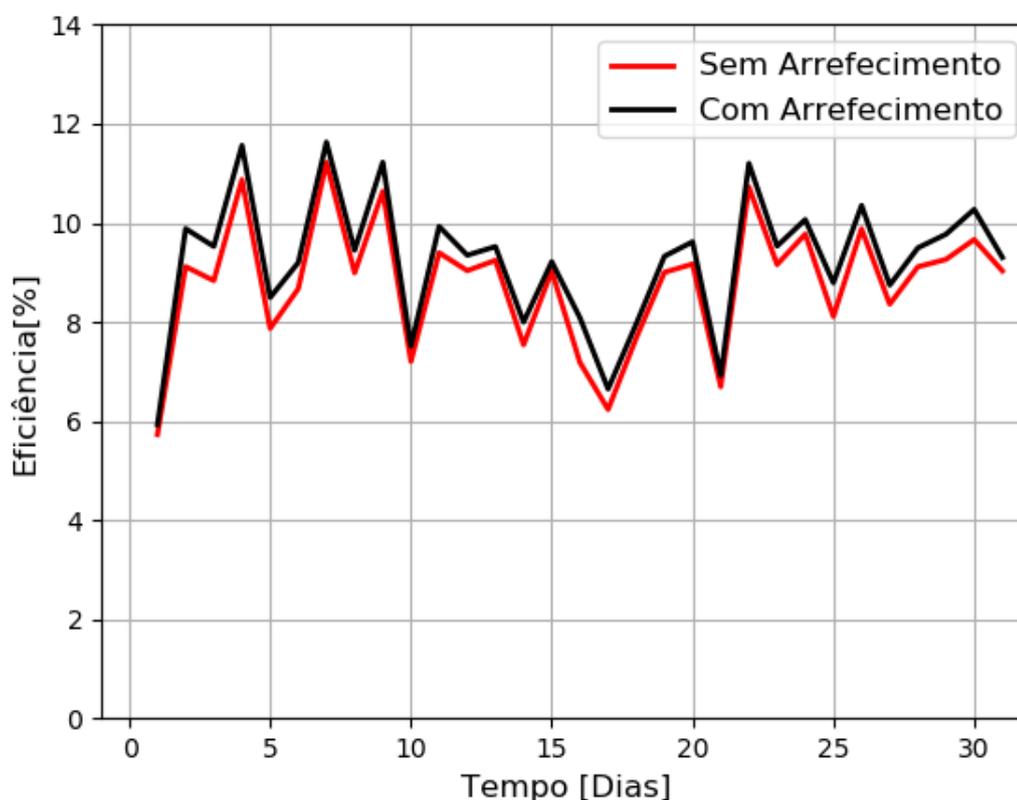


Figura 45 – Eficiência de conversão dos módulos fotovoltaicos em função dos dias, utilizando efluente industrial tratado.

Como pode ser visto na Figura 45, há uma melhoria notável na eficiência global do sistema arrefecido em comparação com o sistema convencional.

Segundo dados do fabricante, os módulos possuem uma eficiência de conversão de aproximadamente 8,89% e essa eficiência reduz em 0,4% - 0,5% para cada °C acima da temperatura padrão de operação de 25°C.

Segundo Duffie & Beckman (2013), para a condição de  $1000 \text{ W/m}^2$  a  $25^\circ\text{C}$ , o módulo fotovoltaico gera a maior potência possível, valor dado em  $\text{Wp}$  (Watt-pico). Porém, em situações reais a potência dependerá da temperatura e da intensidade da irradiância incidente.

Pela análise dos resultados, tem-se que os painéis arrefecidos com o efluente proveniente do laticínio possuem uma eficiência superior a 5,30% em relação aos painéis convencionais, uma vez que eles possuem uma eficiência média de conversão de 9,24% e 8,78% respectivamente.

Outro dado relevante no experimento foi que as eficiências relativas não obtiveram grandes variações no decorrer do experimento, uma vez que para os quinze primeiros dias, a eficiência foi de 5,26% e para os quinze dias finais foi de 5,33%, variando apenas 1,36%.

#### 4.3.2.2 Parâmetros elétricos e térmicos dos PVs com água de reuso de um sistema de Wetland Construído Doméstico

As Figuras 46, 47, 48 e 49 comparam as taxas de potência geradas nos dois sistemas fotovoltaicos de estudo, medidos entre os meses de janeiro e março de 2019, nos horários das 10h, 12h, 14h e 16h, respectivamente, com uma temperatura ambiente média de  $29,81^\circ\text{C}$ , uma umidade relativa média de 45% e uma irradiância média de  $393,98 \text{ W/m}^2$ .

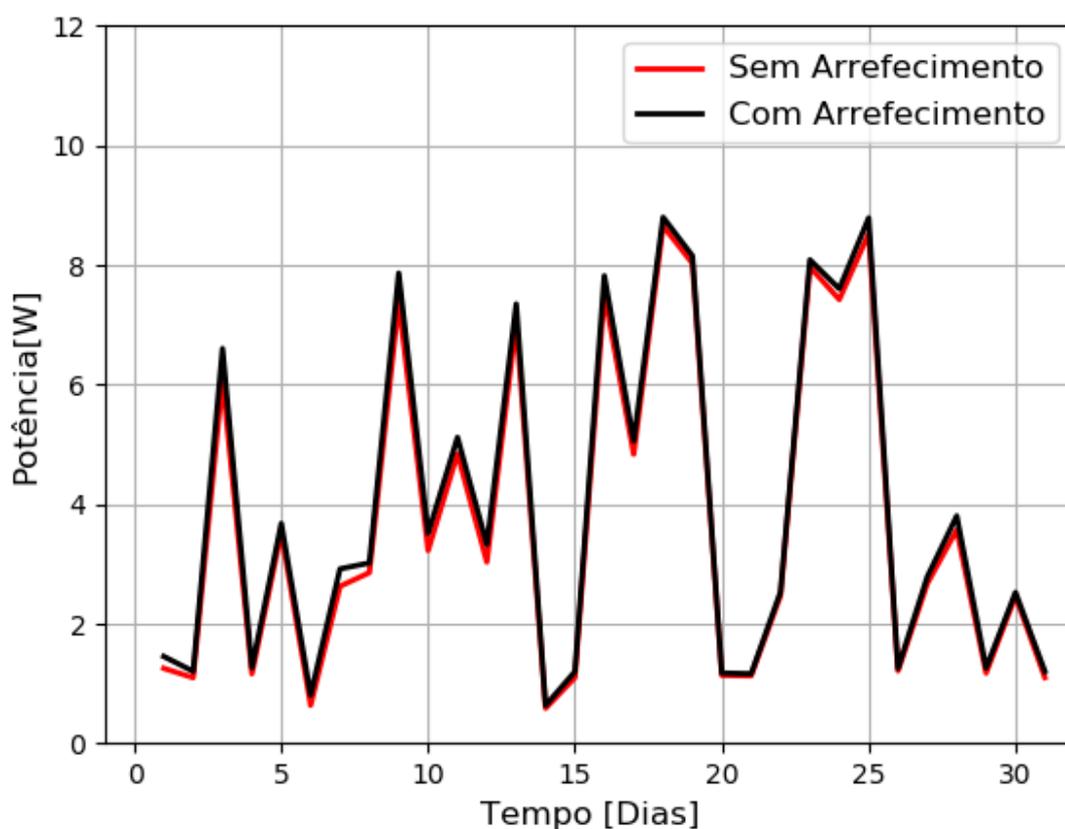


Figura 46 – Potência gerada pela planta piloto às 10h, com o uso do efluente doméstico tratado.

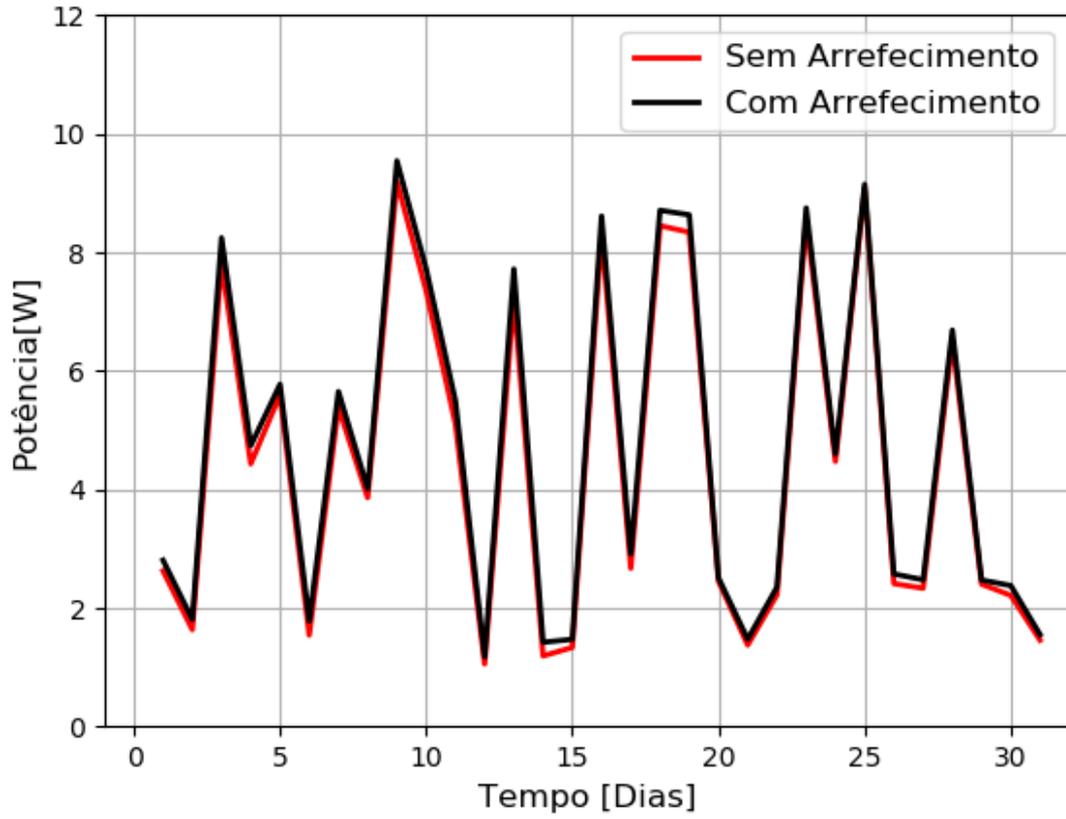


Figura 47 – Potência gerada pela planta piloto às 12h com o uso do efluente doméstico tratado.

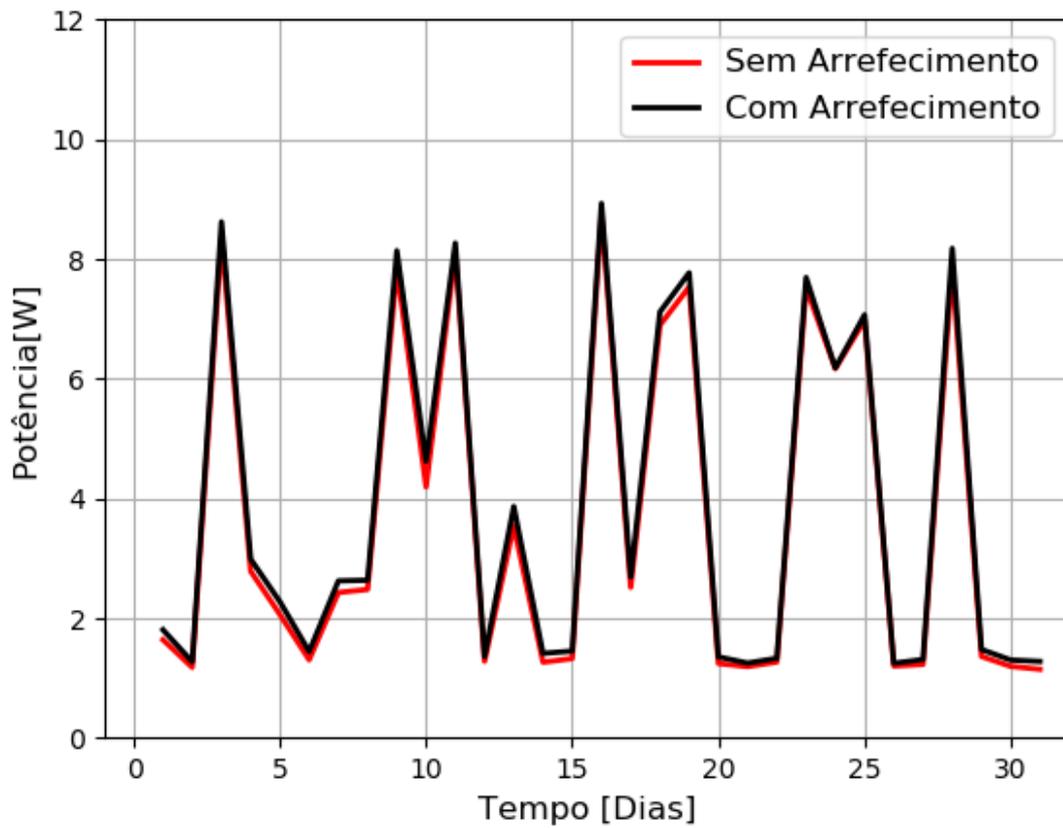


Figura 48 – Potência gerada pela planta piloto às 14h com o uso do efluente doméstico tratado.

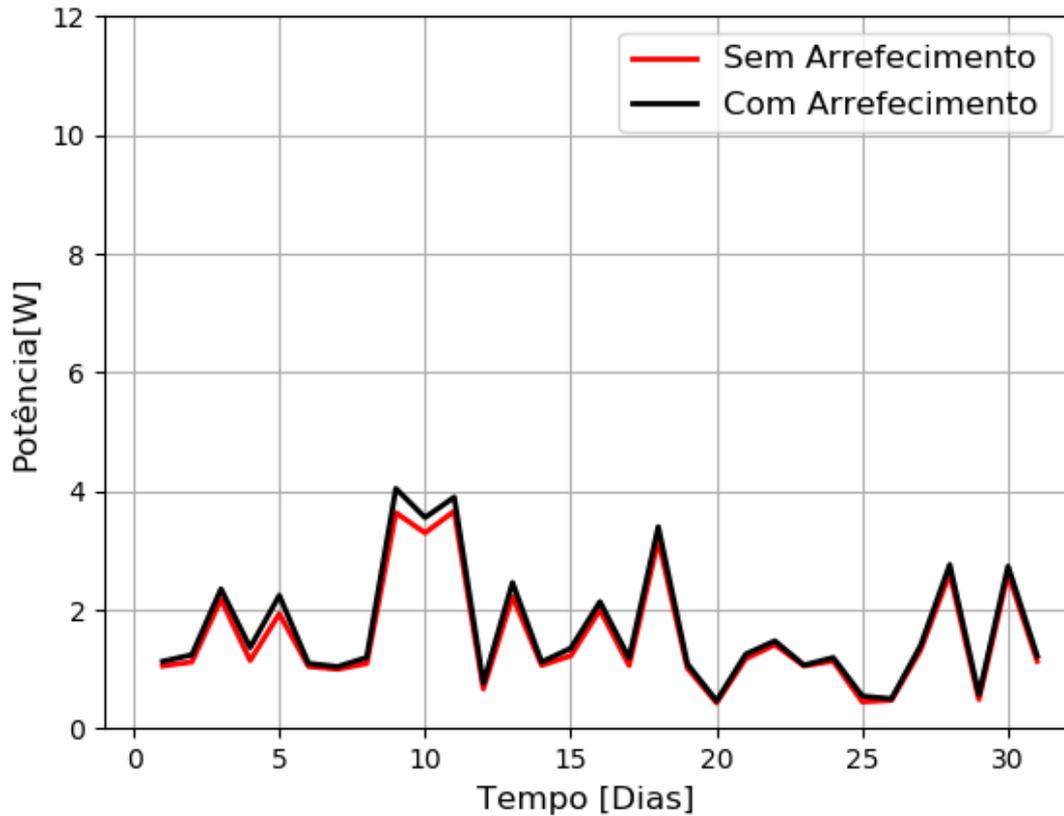


Figura 49 – Potência gerada pela planta piloto às 16h com o uso do efluente doméstico tratado.

As Figuras 50 e 51 mostram, respectivamente, a média diária da potência gerada pela planta piloto e a variação média de temperatura nos PVs com e sem sistema de arrefecimento durante todos os dias do experimento.

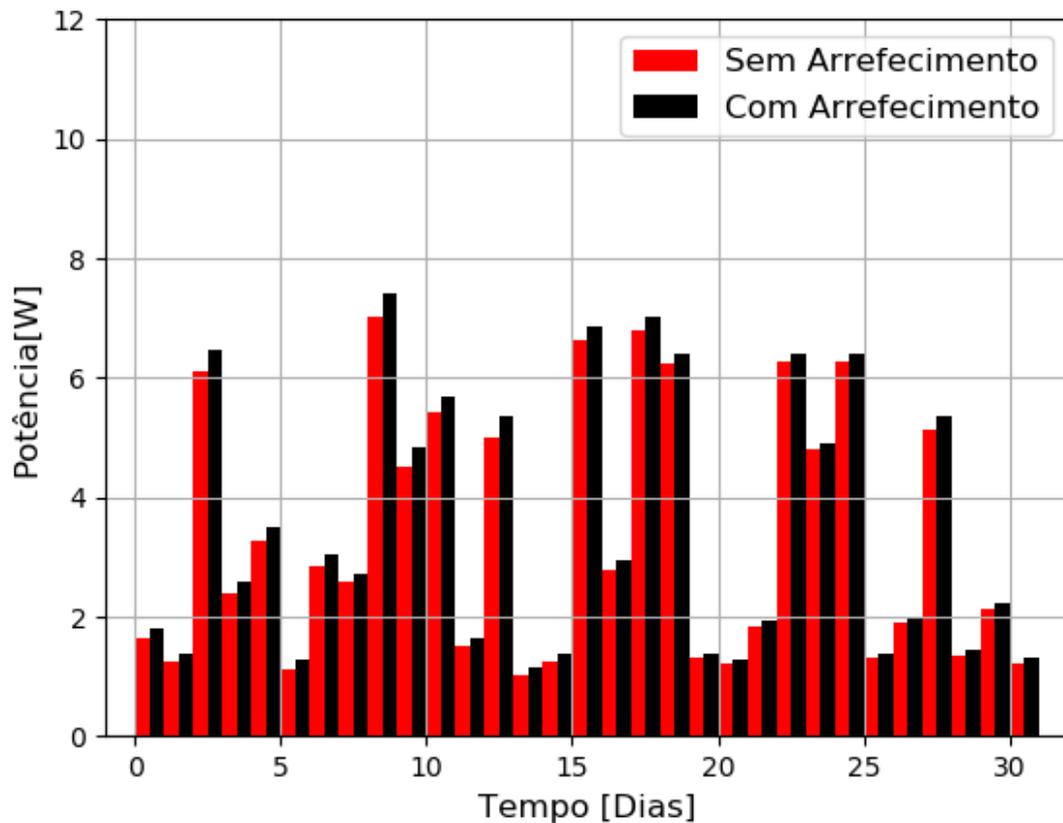


Figura 50 – Média diária da potência gerada pela planta piloto, utilizando efluente doméstico tratado.

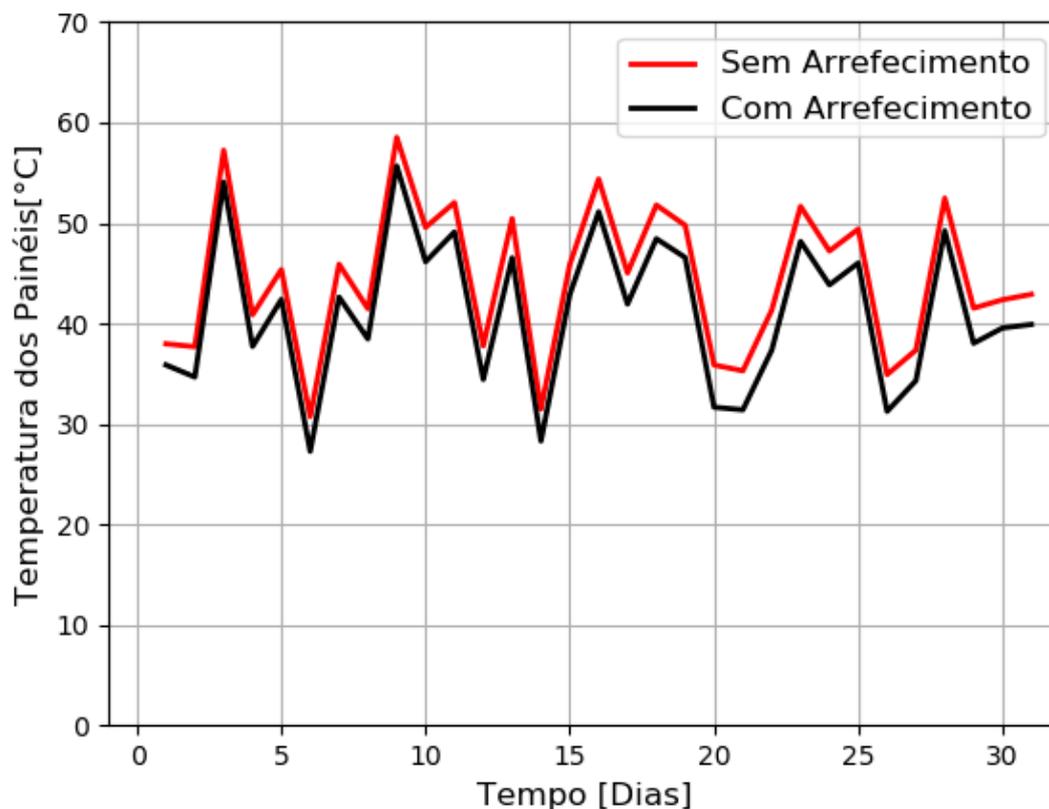


Figura 51 – Efeito da temperatura nos painéis com e sem sistema arrefecimento, utilizando efluente doméstico tratado.

Com a análise dos gráficos anteriores, nota-se que a potência gerada no sistema com arrefecimento é maior que nos painéis sem o sistema de arrefecimento, uma vez que os resultados experimentais mostram que a média mensal do painel seco é 3,434 W e a média mensal do painel arrefecido é de 3,608 W; assim como a média das temperaturas, onde para os painéis sem arrefecimento é de 44,45°C e a média para os painéis com arrefecimento é de 41,18°C, conforme pode ser confirmado pela Tabela 9.

Tabela 9: Dados de Potência Média e Temperatura dos PVs com e sem sistema de arrefecimento, utilizando efluente doméstico tratado.

<i>Dias do Experimento</i>	<i>Potência Média Diária (W)</i>	<i>Potência Média Diária (W)</i>	<i>Temperatura das Placas (°C)</i>	<i>Temperatura das Placas (°C)</i>
	<i>S/Arrefecimento</i>	<i>C/ Arrefecimento</i>	<i>S/ Arrefecimento</i>	<i>S/ Arrefecimento</i>
1	1,646	1,801	37,99	35,88
2	1,260	1,384	37,7	34,69
3	6,110	6,456	57,24	54,08
4	2,383	2,591	40,88	37,73
5	3,282	3,494	45,37	42,4
6	1,135	1,284	30,76	27,29
7	2,862	3,061	45,91	42,63
8	2,575	2,718	41,47	38,47
9	7,016	7,399	58,52	55,67
10	4,517	4,855	49,58	46,15

Continuação – Tabela 9: Dados de Potência Média e Temperatura dos PVs com e sem sistema de arrefecimento, utilizando efluente doméstico tratado.

<i>Dias do Experimento</i>	<i>Potência Média</i>	<i>Potência Média</i>	<i>Temperatura das</i>	<i>Temperatura das</i>
	<i>Diária (W)</i>	<i>Diária (W)</i>	<i>Placas (°C)</i>	<i>Placas (°C)</i>
	<i>S/Arrefecimento</i>	<i>C/ Arrefecimento</i>	<i>S/ Arrefecimento</i>	<i>S/ Arrefecimento</i>
11	5,433	5,697	52,04	49,11
12	1,511	1,659	37,78	34,45
13	5,011	5,350	50,45	46,54
14	1,029	1,150	31,5	28,32
15	1,249	1,371	45,88	42,9
16	6,647	6,876	54,38	51,12
17	2,773	2,963	45,03	41,93
18	6,796	7,007	51,79	48,44
19	6,231	6,412	49,78	46,57
20	1,319	1,378	35,88	31,68
21	1,220	1,288	35,31	31,42
22	1,846	1,925	41,33	37,35
23	6,276	6,400	51,66	48,17
24	4,802	4,896	47,22	43,85
25	6,261	6,388	49,4	46,03
26	1,328	1,396	34,93	31,27
27	1,892	1,996	37,36	34,33
28	5,141	5,359	52,48	49,23
29	1,36	1,447	41,54	38,04
30	2,124	2,237	42,37	39,56
<b>Média</b>	<b>3,434</b>	<b>3,608</b>	<b>44,45</b>	<b>41,18</b>

De maneira análoga a situação anterior, o sensor de temperatura foi posicionado no centro dos painéis e a temperatura inicial dos PVs é igual à temperatura ambiente, podendo chegar, nesse caso, até 63°C sem sistema de arrefecimento.

A redução da eficiência elétrica dos módulos fotovoltaicos pode ser parcialmente evitada pelo resfriamento com água ou com ar, uma vez que o aquecimento dos PVs é resultado principalmente da radiação solar absorvida que não é convertida em eletricidade. Assim, a refrigeração pode ser considerada interessante para manter a eficiência elétrica do PV em um nível satisfatório.

A Figura 52 mostra a eficiência global dos dois sistemas analisados nesse estudo.

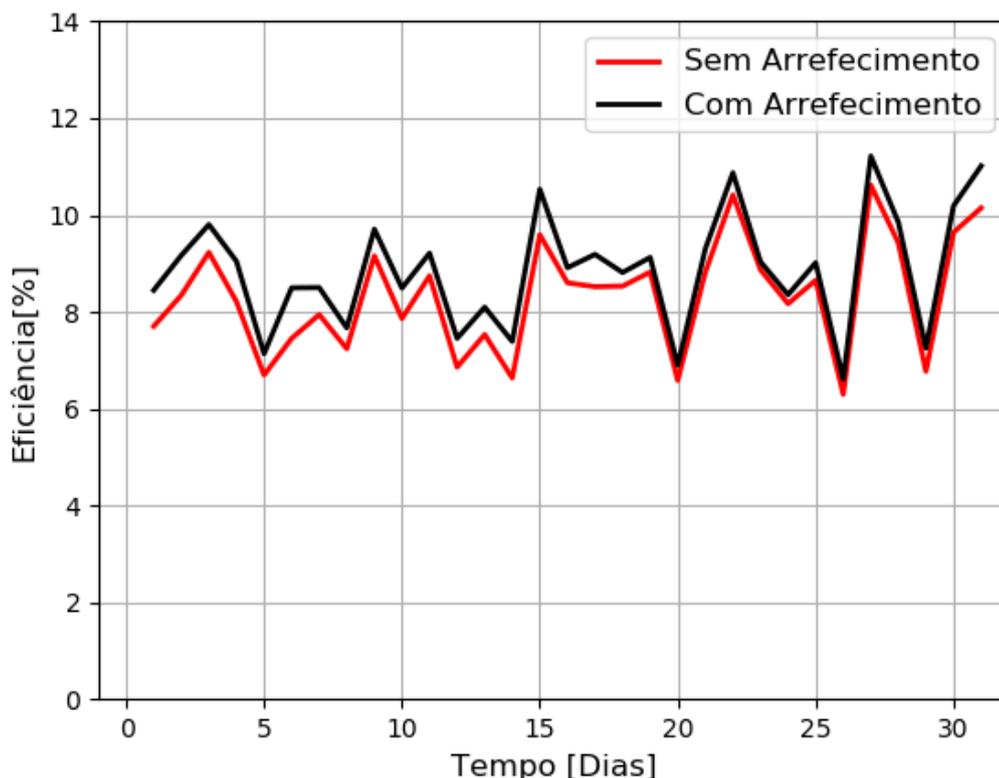


Figura 52 – Eficiência de conversão dos módulos fotovoltaicos em função dos dias, utilizando efluente doméstico tratado.

Como pode ser visto na Figura 52, há uma importante melhoria na eficiência global do sistema arrefecido, quando comparado com o sistema sem arrefecimento. A análise dos resultados mostra que os painéis com sistema de arrefecimento possuem uma eficiência superior a 6,51% em relação aos painéis sem o arrefecimento, uma vez que eles possuem uma eficiência média de conversão de 8,79% e 8,27%, respectivamente.

Diferentemente de como ocorreu anteriormente, as eficiências relativas obtiveram grandes variações no decorrer do experimento, uma vez que para os quinze primeiros dias, a eficiência foi de 8,41% e para os quinze dias finais foi de 4,61%, variando 45,17%.

Essa discrepância de valores pode ser justificada por um provável embaçamento no painel arrefecido, uma vez que observam-se valores percentuais das diferenças de temperatura entre os dois grupos de painéis maiores nos 15 dias finais do experimento, o que reforça essa ideia. Diante do exposto, faz-se a necessidade de uma limpeza do painel arrefecido.

#### 4.3.2.3 Resultado das Variáveis Qualitativas

Ao decorrer de 30 dias, período compreendido entre os meses de outubro e novembro do ano de 2018 para o efluente industrial, e período entre os meses de janeiro e março do ano de 2019 para o efluente proveniente de um sistema de *Wetland* Construído, foram observados a influencia dos fluidos de resfriamento estudados quanto à deterioração e embaçamento nos PVs.

As Figuras 53 e 54 mostram, respectivamente, o estado dos painéis no primeiro dia do experimento para o grupo de controle e para o grupo arrefecido, referentes ao efluente tratado industrial.



Figura 53 – Estado dos PVs no 1º dia do experimento, referentes ao uso do efluente industrial tratado para o grupo controle.



Figura 54 – Estado dos PVs no 1º dia do experimento, referentes ao uso do efluente industrial tratado para o grupo arrefecido.

As Figuras 55 e 56 mostram, respectivamente, o estado dos painéis no trigésimo dia do experimento para o grupo de controle e para o grupo arrefecido, referentes ao efluente tratado industrial.



Figura 55 – Estado dos PVs no 30º dia do experimento, referentes ao uso do efluente industrial tratado para o grupo controle.



Figura 56 – Estado dos PVs no 30º dia do experimento, referentes ao uso do efluente industrial tratado para o grupo arrefecido.

As Figuras 57 e 58 mostram, respectivamente, o estado dos painéis no primeiro dia do experimento para o grupo de controle e para o grupo arrefecido, referentes ao efluente tratado de uma *Wetland* doméstica.



Figura 57 – Estado dos PVs no 1º dia do experimento, referentes ao uso do efluente tratado de uma *Wetland* doméstica para o grupo controle.



Figura 58 – Estado dos PVs no 1º dia do experimento, referentes ao uso do efluente tratado de uma *Wetland* doméstica para o grupo arrefecido.

As Figuras 59 e 60 mostram, respectivamente, o estado dos painéis no trigésimo dia do experimento para o grupo de controle e para o grupo arrefecido, referentes ao efluente tratado de uma *Wetland* doméstica.



Figura 59 – Estado dos PVs no 30º dia do experimento, referentes ao uso do efluente tratado de uma *Wetland* doméstica para o grupo controle.



Figura 60 – Estado dos PVs no 30º dia do experimento, referentes ao uso do efluente tratado de uma *Wetland* doméstica para o grupo arrefecido.

Comparando as imagens das Figuras 53, 54, 55 e 56 através de uma análise qualitativa (observação e inspeção visual) podem-se perceber pequenos sinais de deposição de partículas perto na moldura dos painéis arrefecidos, na parte de baixo do painel, pelo o contraste com as partes brancas do fundo.

Entretanto, observa-se o mesmo efeito nos painéis sem o sistema de arrefecimento. Isso provavelmente deve-se a precipitação moderada de partículas de sujeira, provenientes de

folhas, galhos, fuligem, dejetos de aves e outros pequenos animais, poluição, poeira, além de outros tipos de partículas presentes no ar.

Assim, recomenda-se uma manutenção preventiva e periódica em ambos os conjuntos de painéis solares, para reduzir o risco de perdas na conversão de energia.

Assim, concluiu-se que a aplicação das duas águas residuárias em estudo, não afetaram os PVs quanto aos aspectos negativos, em especial, não provocou deterioração ou diminuição da sua vida útil por corrosão ou incrustações em sua superfície.

Isso foi resultado da eficiência nos tratamentos das águas residuárias avaliadas, comprovando a possibilidade de reutilizar o efluente tratado de um laticínio e o efluente doméstico tratado por um Sistema *Wetland* no resfriamento de painéis solares fotovoltaicos, se enquadrando no reuso para fins não potáveis.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo deste trabalho foi estudar a melhoria de eficiência energética em painéis solares fotovoltaicos, quando submetido a resfriamento com duas águas residuárias distintas, provenientes do tratamento de esgoto industrial e de esgoto doméstico.

Na primeira etapa do trabalho, as amostras dos efluentes provenientes da Estação de Tratamento de um laticínio, próximo à região de Goiânia - GO, e de um Sistema WC para um esgoto doméstico foram avaliadas conforme suas particularidades, por metodologias determinadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (normas específicas) e pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017).

A falta de normativa vigente com as orientações técnicas para o monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos voltados ao reuso não potável, para o arrefecimento de PVs, fez com que fosse adotado como referencia as Resoluções nº 357/2005 e nº 430/2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), assim como o Decreto Goiano nº 1745/1979 e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017. Nesse sentido, ambas as amostras se mostraram aptas para o aproveitamento e utilização em arrefecimento de placas solares fotovoltaicas.

Na segunda etapa, de desenvolvimento do protótipo para a simulação do contato dos efluentes com lâminas de vidro, foram observadas características de não conformidade pela deposição de materiais particulados (incrustação) e pelas manchas de coloração alaranjada (ferrugem) sobre as chapas de vidro, mostrando-se inadequada seu uso, em que se admitiu ser reações químicas devido a interação da água com as estruturas e conexões metálicas utilizadas no experimento.

Entretanto, na terceira etapa, a planta piloto de geração fotovoltaica foi construída utilizando estruturas e conexões de plástico para comprovar que os problemas anteriormente observados estavam relacionados à interação do efluente utilizado com as estruturas e conexões metálicas, uma vez que não se observou o mesmo efeito com a troca de materiais.

A planta piloto de geração fotovoltaica proporcionou dados para análise da eficiência energética na conversão direta de radiação solar luminosa em energia elétrica, através da aplicação das águas residuárias na superfície frontal dos painéis fotovoltaicos.

Nessas condições, sem o sistema de arrefecimento e com o sistema de arrefecimento, os PVs produziram, respectivamente, uma média mensal de 4,162 W e 4,361 W de potência utilizando o efluente tratado industrial; e 3,434 W e 3,608 W, utilizando o efluente do Sistema WC, promovendo o ganho de 5,30% e 6,51% na geração de energia.

Além de proporcionar uma maior geração de energia, o sistema de arrefecimento mantém as superfícies dos módulos fotovoltaicos limpas, diminuindo possíveis gastos com limpeza. Os pequenos sinais de deposição de partículas, observados nos dois conjuntos de painéis, devem-se a sujeira do meio, recomendando-se uma manutenção preventiva e periódica dos sistemas.

Diante do exposto, conclui-se que o presente trabalho atingiu, de forma satisfatória, os objetivos propostos, confirmando então que, possíveis fontes de águas de reuso, como os efluentes de indústria de laticínio e de efluentes domésticos (águas cinzas), tratados por Sistemas *Wetland* Construído, podem ser utilizadas como fluido de arrefecimento em painéis fotovoltaicos, uma vez que não foram observados impactos negativos, tais como corrosão ou incrustação, nos referidos PVs, podendo ser implementado em grande escala em locais que há grande potencial de água de reuso.

## 5.1 Contribuições do Trabalho

Este trabalho faz parte do Projeto de Pesquisa CNPQ 468544/2014-3, intitulado "Estudos de viabilidade técnica e econômica, do uso de água para melhoria da eficiência da conversão de painéis fotovoltaicos", que visa à pesquisa, o projeto e a implantação de uma estrutura laboratorial e usina de geração fotovoltaica, para subsidiar estudos técnicos e análises econômicas, para avaliar diferentes metodologias e soluções tecnológicas bem como as relações de custo benefício do uso de águas residuárias na melhoria da eficiência de conversão.

As contribuições do trabalho podem, assim, ser descritas:

### Artigos em congresso:

- Avaliação de água de reuso para utilização em melhoria de eficiência energética em painéis fotovoltaicos. Publicado na Conferência Internacional – Sustentabilidade na Gestão Ambiental. Inovação e desafios para os Países de Língua Oficial Portuguesa (SGA'19). Congresso realizado nos dias 4 e 5 de junho de 2019, em Lisboa, Portugal, ISBN978-989-20-9623-0.

## 5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como continuidade do trabalho, sugerem-se os seguintes temas:

- Análise da viabilidade econômica de implantação de sistemas de arrefecimento em plantas de geração solar fotovoltaica em estabelecimentos comerciais, residenciais e industriais com potencial utilização de água de reuso;

- Análises comparativas, referentes ao consumo energético, entre as diferentes formas de arrefecimento para PVs existentes;
- Estudos de otimização para minimização de vazão de água sobre o painel fotovoltaico, proporcionando um melhor rendimento do sistema;
- Estudos referentes à substituição de materiais, equipamentos e conexões de plástico, por outros materiais mais sustentáveis;
- Desenvolver mecanismo para melhora da distribuição de água na superfície do painel fotovoltaico;
- Realizar estudos, simulações e acompanhamento da temperatura da água residuária utilizada como fluido refrigerante em painéis, bem como sua influência no ganho energético.

## REFERÊNCIAS

- ABDULGAFAR, S. A.; OMAR, O. S; YOUSIF, K. M. Improving the efficiency of polycrystalline solar panel via water immersion method. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, v.3, n.1, 2014.
- ABELHO, M. **Protocolos de Microbiologia Ambiental**, Parte 3 Qualidade microbiológica da água. Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Coimbra. 2011.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 13969**: Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997
- ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 10899**. Conversão Fotovoltaica de Energia Solar. Rio de Janeiro. 2006.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12621**: Água - Determinação da dureza total - Método titulométrico do EDTA - Na método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, Brasil. 1992.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13797**: Água - Determinação de cloretos - Métodos titulométricos do nitrato de mercúrico e do nitrato de prata Rio de Janeiro: ABNT, Brasil. 1997.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5762**: Águas minerais e de mesa - Determinação de alcalinidade em água por titulação direta. 2p. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Dezembro de 1977.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – Procedimento, Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ACSELRAD, H.; LEROY, J. P. **Novas premissas da sustentabilidade democrática**. Rio de Janeiro: FASE, 1999. p. 17.
- ALMEIDA, E.; ROSA, A. C.; DIAS, F. C. L. S.; BRAZ, K. T. M.; LANA, L. T. C.; SANTO, O. C. E.; SACRAMENTO, T. C. B. Energia solar fotovoltaica: Revisão bibliográfica. **Engenharias**. 2016.
- ALMEIDA, G. S. Metodologia para caracterização de efluentes domésticos para fins de reuso: estudo em Feira de Santana, Bahia. 2007. 226 f. **Dissertação** (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador-BA, 2007.
- ALMEIDA, R. de A.; PITALUGA, D. P. da S, 2 REIS, Ricardo Prado Abreu. Treatment of wastewater by root zone preceded by septic tank. **Revista Biociências**, Unitau. v.16, n. 1, 2010.
- ALTENER. **Energia Fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projeto e instalações**, 2004.
- ALVES, W. C.; KIPERSTOK, A.; ZANELLA, L.; PHILIPPI, L. S.; SANTOS, M. F. L.; VALENTINA, R. S. D.; OLIVEIRA, L. V.; GONÇALVES, R. F. **Tecnologias de conservação em sistemas prediais**. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 219-294. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Disponível em: <[www.finep.gov.br/prosab/livros/prosab5\\_tema%205.pdf](http://www.finep.gov.br/prosab/livros/prosab5_tema%205.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2017
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Conservação e Reuso da Água em Edificações**. São Paulo: Prol, 2005. 152 p.
- ANA P. S. LOURES, A. P.S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; PEREIRA, O.G. Remoção de fósforo em sistema de tratamento de esgoto doméstico, por escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.706–714, 2006.

ANDERSON, G. K.; KASAPGIL, B.; INCE, O. Comparison of porous and nonporous media in upflow anaerobic filters when treating dairy wastewaters. **Water Research**, v.28. n.7., p.1619-24, 1994.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Capacidade de Geração no Brasil**. BIG - Banco de Informações de Geração. Brasília, 2017.

ANEEL – Agência Nacional de Energia. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília 3<sup>a</sup> ed., 2008

ANEEL – Agência Nacional de Energia. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília 2<sup>a</sup> ed., 2005

ANJOS, J. A. S. A. Avaliação da eficiência de uma zona Alagadiça (Wetland) no controle da poluição por metais pesados: O caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA. **Tese** (Doutorado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo), 2003. p. 328.

APH – American Public Health Association. et al. **Standard methods for the examination of water and wastewater analysis**. 23 rd ed. Washington, 2017

ARBELI, Z.; BRENNER, A. ABELIOVICH, A. Treatment of highstrength dairy wastewater in an anaerobic deep reservoir: Analysis of themethanogenic fermentation pathway and the rate-limiting step. **Water Research**. v.40, n.19, p.3653-9, 2006.

ARIAS, C. A., DEL BUBBA, M., BRIX, H. Phosphorus removal bysands for use as media in subsurface flow constructed reed beds. **Water Research**, v. 35, n. 5, p. 1159-1168, 2001.

ARIENZO, M; CHRISTEN, E; QUAYLE, W. Phytotoxicity testing ofwinery wastewater for constructed Wetlandtreatment. **Journal of hazardous materials**, v.169, p. 94-99, 2009.

ASANO, T.; METCALF & EDDY; LEVERENZ, H. L.; TSUCHIHASHI, R.; TCHOBANOGLIOUS, G. **Water Reuse: issues, technology, and applications**. New York-USA: McGraw-Hill Professional, 2007.

ASTM – American Society for Testing and Materials. 2012. G173-03. **Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface**. EUA.

AYRES, F. M. **Apostila de águas naturais**. Florianópolis-SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unoesc & Ciência - ACSA**, v. 2, n. 1, p. 87-96, 2011.

BARROS, H. M. M.; VERIATO, M. K. L; SOUZA, L. P.; CHICÓ, L. R.; BAROSI, K. X. L. Water reuse in agriculture. **Revista Verde Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v.10, n.5, p. 11 - 16, 2015.

BARROS, K. K.; NASCIMENTO, C. W. A.; FLORENCIO, L. Nematode suppression and growth stimulation in corn plants (*Zea mays L.*) irrigated with domestic effluent. **Water Science and Technology**. v. 66, p. 681-688, 2012.

BEEVI, U. S.; SUKUMARAN, R. K. Cultivation of microalgae in dairy effluent for oil production and removal of organic pollution load. **Bioresource Technology**, v. 165, p, 2014.

BELTRAME, T. F.; LHAMBY, A. R.; BELTRAME, A. Wastewater, solid waste and environmental education: a discussion about the subject. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria**, v.20, n.1, p.351–362, 2016.

BERNARDI, C. C. Reúso de água para irrigação. 2003. **MBA**. (Monografia em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, área de concentração em Planejamento Estratégico). Brasília-DF: ISEA-FGV/ ECOBUSINESS SCHOOL.

BORGES, A. C. P.; SILVA, M. S.; ALVES, C. T.; TORRES, E. A. Renewable energy: a contextualization of the biomass as power supply. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 2, p. 23-36, 2016.

BORGES, T. N.; COSTA, R. M; GONTIJO, H. M. Description of a dairy industry effluent: treatment proposal. **Res., Soc. Dev.** v.8, n.1, 2019.

BRAHIM-NEJI, H. B.; RUIZ-VILLAVERDE, A.; GONZÁLEZ-GÓMEZ, F. Decision aid supports for evaluating agricultural water reuse practices in Tunisia: The Cebala perimeter. **Agricultural Water Management**, v.143, p. 113-121, 2014.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. MMA. **Resolução CONAMA nº357**, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Agência Nacional De Águas (ANA). **Usos da Água**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>>. Acesso em: 10 set. 2018.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 54**, de 28 de novembro de 2005 - Estabelece critérios gerais para reuso de água potável. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília – DF, novembro de 2005.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1.º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.984**, de 17 de julho de 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm)>. Acesso em: 01 JUN. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília : Funasa, 2014. 112 p. 1. Controle da qualidade da água. 2. Aspectos Técnicos. I. Título.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. MMA. **Agenda 21: Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Brasília: MMA, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. MMA. **Agenda 21: Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Brasília: MMA, 1996.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. MMA. **Resolução CONAMA Nº 430**, DE 13 DE MAIO DE 2011, Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, Complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA

BRIÃO, V. B. Estudo de Prevenção à Poluição de Resíduos Líquidos em uma Indústria de Laticínios. 2000. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR.

BRINKWORTH, B. J.; CROSS, B. M.; MARSHALL, R. H.; YANG, H. Thermal Regulation of Photovoltaic Cladding. In: **Sol. Energy**, 61, p. 169–178, 1997.

BRITO, L. P., Mercado de Reuso de Água no Brasil: É possível assegurar seu 19 crescimento sem a definição de um arcabouço normativo e legal? **Revista DAE matéria jornalística**, 2012.

BUSS, D. A.; HENKES, J. A. Estudo dos impactos ambientais causados por laticínios com foco no reaproveitamento dos resíduos gerados. **Rev. Gest. Sust. Ambient.**, Florianópolis, v.3, n.2, p.384-395, out. 2014/mar.2015.

CALDA, S. A. B.; SAMUDIO, E. M. M. Reuse water for industrial purposes - Case study. **Brasil Para Todos**. v.3, n.2, 2016.

CAMMAROTA, M. C., Notas de aula: **Tratamento de Efluentes Líquidos**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

CAMPOS, M. M.; AZEVEDO, F. R. Aproveitamento de Águas Pluviais para Consumo Humano Direto. **Jornal Eletrônico** - Faculdades Integradas Vianna Júnior - Ano V – Edição I – Maio 2013. Disponível em: <<http://www.viannajr.edu.br/>> Acesso em 02/03/2018.

CARVALHO, N. L.; HENTZ, P.; SILVA, J. M.; BARCELLOS, A. L. Reuse of waste water. **REMOA**, v.14, n.2, 2014, p. 3164-3171.

CARVALHO, N. L.; HENTZ, P.; SILVA, J. M.; BARCELLOS, A. L. Reutilização de águas residuárias. **Mono-grafias Ambientais**, v. 13, n. 2, p. 3164-3171, 2014.

CASARO, M. M.; MARTINS, D. C. Modelo de Arranjo Fotovoltaico Destinado a Análise em Eletrônica de Potência Via Simulação. **Revista Eletrônica de Potência**, v. 13, n. 3, p. 141-146, 2008.

CAVALCANTE, M. M.; MARCELINO, J. E. C.; DELGADO, D. B. M.; VIANA, E. C. Protótipo de um sistema automatizado para higienização de painéis solares, planos, agrupado a um sistema de reaproveitamento de água. **Anais do V SINGEP – SIMPOSIO INTERNACIONA DE GESTAO DE PROJETOS E INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE**. São Paulo – SP – Brasil, 2016.

CAVALCANTI, J. E. W de A. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. 2.ed., São Paulo: Engenho Editora Técnica, 2012. 500 p.

CAVALCANTI, J. E. W. de A. **Manual de tratamentos de Efluentes Industriais**. Ed. Engenho Editora Técnica, São Paulo/SP, 2009 454 p.

CEPEL – CPT. **Energia Solar para Aquecimento de Água**. Energia Alternativa – Manual nº307, 2011.

CHAIB, E. B.; RODRIGUES, F. C.; MAIA, B. H.; NASCIMENTO, N. O. Assessment of the potential to reduce drinking water consumption by implementation of rainwater harvesting systems in single-family residential buildings. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. RBRH, v.20, n.3, 2015, p. 605 – 614.

CHANAKYA, H. N.; KHUNTIA, H. K. Treatment of gray water using anaerobic biofilms created on synthetic and natural fibers. **Process Safety and Environmental Protection**, Oxford, v 92, n. 2, p. 186 -192, 2014.

CHANDRASEKAR, M.; SIVAN, S.; SENTHILKUMAR, T.; KARTHIKEYAN, M. G. Passive cooling of standalone flat PV module with cotton wick structures. **Energy Conversion and Management**, v.71, p. 43–50, 2013.

CHEN, W.; LIU, J. The possibility and applicability of coagulation-MBR hybrid system in reclamation of dairy wastewater. **Desalination**, v. 285, p. 226–231, 2012.

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA. **Reuso de água na indústria**. 2004. Disponível em <[http://www.crq4.org.br/informativomat\\_485](http://www.crq4.org.br/informativomat_485)> Acesso em 25 de maio. 2018.

COSTA, A. A.; SOTO, F. R. M. Tratamento do dejetos de suíno por biodigestão anaeróbia. **Rev. Agro. Amb.** v. 11, n. 3, p. 801-823, 2018.

COSTA, D. M. A.; BARROS JÚNIOR, A. C. Avaliação da necessidade do reúso de águas residuais. **Holos**, v. 2, p. 81-101, 2007.

COSTA, J. F.; PAOLI, A. O.; VON SPERLING, M.; SEIDL, M. Performance evaluation of horizontal subsurface flow constructed wetlands in the treatment of UASB reactor effluent, based on four years of monitoring. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 23, n.1, 2018.

COUTO, H. J. B.; OLIVEIRA, R. A. E.; BRAGA, P. F. A. Previsão De Radiação Solar Incidente no Estado do Ceará-Brasil. **HOLOS**, v.7, pp. 218-230, 2016.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Solar: princípios e aplicações**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em:<[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial\\_solar.htm](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.htm)>. Acesso em 01 Abr. 2018.

CROOK, J; SURAMPALLI, R. Y. Water reclamation and reuse criteria in the U.S. **Water Science and Technology**, v. 33, n.10-11, 1996.

CUNHA, A. H. N.; OLIVEIRA, T. H.; FERREIRA, R. B.; MILHARDES, A. L. M.; SILVA, S. M. C. **O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.7, n. 13, 2011, 1225- 1248.

DANALEWICH, J. R.; PAPAGIANNIS, T. G.; BELYEA, R. L.; TUMBLESON, M. E.; RASKIN, L. Characterization of dairy waste streams, current treatment practices, and potential for biological nutrient removal. **Water Research**, v. 32, n. 12, p.3555-3568, 1998.

DEMIREL, B.; YENIGUN, O.; ONAY, T. T. Anaerobic treatment of dairy wastewaters : A review. **Process Biochemistry**, v. 40, p. 2583–2595, 2005.

DGS - Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie. **Planning & Installing Photovoltaic Systems - A guide for installers, architects and engineers**. Earth-scan, UK, 2008.

DINCER I.; ACAR C. A review on clean energy solutions for better sustainability. **International Journal of Energy Research**, v.39, p.585-606, 2015.

DOE – Diário Oficial Eletrônico, 2017. **Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01, 2017**. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. Disponível em: <<http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/legislacao/2017/06/resolucao-conjunta-sessma-ssrh-01-2017-agua-de-reuso.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

DOMENECH, L.; SAURÍ, D. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona: social experience, drinking water savings and economic costs. **J. Cleaner Prod.**, v. 19, n. 6-7, p. 598-608, 2011.

DORNELAS, F.L.; MACHADO, M.B.; VON SPERLING, M. Performance evaluation of planted and unplanted subsurface-flow constructed Wetlands for the post-treatment of USB reactor effluents. **Water Science and Technology**, v.60, n.12, p.3025-3033, 2009.

DOROBANTU, L.; POPESCU, M. O.; POPESCU, C. L.; CRACIUNESCU, A. Experimental assessment of PV panels front water cooling strategy. **Renewable Energy and Power Quality Journal**, n.11, 2013.

DOS SANTOS JÚNIOR, L. A.; LACERDA, M.; SALES, P. DE T.; SCHIMIDT, F.; SANTIAGO, M. Avaliação do reúso de água de limpeza em uma indústria de sabão em pó sintético. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 5, n. 2, 2012.

DUBEY, S.; SARAIVA, J. N.; SESHADRI, B. Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world – a review. **Energy Procedia**, v. 33, p. 311-321, 2013.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. WILEY, 4<sup>th</sup> Edition, 2013.

EBLE, K. S; FEATHERS, J. Process water reuse, part I. **Oil & Gas Journal**, v.90, n.38, 1992.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v. 4, n. 1, p. 85-104, 2002.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H. LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v. 4, n.1, p. 58-104, 2002.

EUVRARD, M., LEROY, P., LEDION, J. Effects and consequences of electric treatment in preventing scaling of drinking water systems. *Aqua - Journal of Water Supply: Research and Technology*, v. 46, n. 2, p. 71-83, 1997.

EVELOY, V.; RODGERS, P.; BOJANAMPATI, S. Enhancement of photovoltaic solar module performance for power generation in the middle east. **28<sup>th</sup> IEEE semi-therm symposium**, pp. 87–97, 2012.

FAO – Food and Agriculture Organization of The United Nations. **Dairy Production and Products – Milk Production.** Disponível em <<http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/milk-production/en/#.V3AZwbgrLIV>> Acesso em 24 jun. 2018.

FARIA, D. C. Reuso das Correntes de Efluentes Aquosos em Refinarias de Petróleo. Florianópolis, 2004. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

FEITOSA, A. P.; LOPES, H. S. S.; BATISTA, R. O.; COSTA, M. S.; MOURA, F. N. Avaliação do desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Engenharia Ambiental**, v.8, n.3, p.196-206, 2011.

FERNANDES, N. L.; BARRETO, N. M. B.; MACHADO, A. C.; ROCHA, G. P. Comparative study between methodologies used for determination of the total hardness in aqueous matrices. **Periódico Tchê Química**, v.12, n. 24. 2015.

FERNANDES, V. M. C.; FIORI, S.; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reuso de águas cinzas em edificações. **Ambiente Construído**, v.6, n.1, 2006.

FERREIRA, C. M.; FERNANDES, C. B.; SOUZA, A. V. S.; MELO, C. C. S.; SALES, J. S.; FRADE, M. L.; MACHADO, M. V.; FRADE, M. C.; GOMES, N. L.; COSTA, P. H. A.; MORAES, R. A.; ESTRELLA, T. G.; LIMA, M. C. P. B. Biodigestor para o gás do lixo orgânico. **e-Xacta**, v. 4, n. 2, p. 5-17, 2011.

FERRO, G. et al. Urban wastewater disinfection for agricultural reuse: effect of solar driven AOPs in the inactivation of a multidrug resistant *E. coli* strain. **Applied Catalysis B: Environmental**, v.178, p.65-73, 2015.

FIGUEIREDO, T.C.F; SOUZA, L.; OLIVEIRA, R. B.; CAMPOS, S. M.; SANTOS, A. P. B. Caracterização físico-química dos efluentes de uma indústria de laticínios. **Blucher Chemistry. Proceedings 5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química**, v.3, n. 1, 2015.

FINOTTI, A.R.; FINKLER, R.; SILVA, M.D.; CEMIN, G. **Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas.** Caxias do Sul: EDUCS, 2009. 270 pp.

FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. Qualitative and quantitative evaluation of greywater reuse in buildings. **Ambiente Construído**, v.6, n.1, p.19-30, 2006.

FONSECA, S. P. P. **Tratamento de esgoto por disposição no solo.** Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), 2005. 40 p.

FREITAS, K. R.; GUELLI, U.; SOUZA, S. M. A.; ULSON DE SOUZA, A. A. Caracterização e Reuso de Efluentes do Beneficiamento da Indústria Têxtil. IX **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas**, 2002.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento.** Ministério da Saúde. Brasília, DF, Brasil. 2004.

FURTADO, F. C.; MAIA, C. H.; SOUZA, D. P.. **Captação e reaproveitamento da água pluvial em residência na cidade de rio verde, goiás.** GTS - Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade, [S.l.], v.1, n.1, 2018. ISSN 2595-5632. Disponível em: <<http://faengrv.com.br/gts/index.php/revistagts/article/view/25>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

GANDHI, G.. **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais,** UERJ, Rio de Janeiro, 2004.

GAVALA, H. N.; KOPSINIS, H.; SKIADAS, I.V.; STAMATELATOU, K.; LYBERATOS, G. L.; Treatment of dairy wastewater using an upflow anaerobic sludge blanket reactor. **Journal Agric Eng Res**, v.73, n. 1, p.59-63, 1999.

GENTIL, V. **Corrosão.** 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos Editores S.A., 2003

GIMENES, A. L. V.; LINHARES, A. L.; JÚNIOR, A.C.A.; BERNHARD, D. B.; BERNAL, J. L.; UDAETA, M. E. M.; RIGOLIN, P. H. C.; ACEBRON, R. M.; CARNEIRO, R. A.; RELVA, S. G.; SILVA, V. O. Experimental development of cooling system addressing to photovoltaic power plant in real scale. **ISES Solar World Congress. IEA International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry**, v.39, n.4, 2017.

GIORDANNI, P. R.; MELO, A. G.; ALVES, A. A. A.; SANTOS, B. L. B.; MÜLLER, A. R. Reúso agrícola e florestal de efluentes tratados: uma revisão. **Conference Paper** (PDF Available), with 58<sup>th</sup> Reads Conference: 11° Simpósio Internacional De Qualidade Ambiental, 2018.

GOIÁS. **Decreto Estadual** nº 1745 de 06 de dezembro de 1979. Disponível em: <<http://www.mp.go.gov.br>> Acessado em: 15. agos. 2018.

GONÇALVES, R. F. et al. **Uso Racional da Água em Edificações**. Vitória: ABES, 2006. 352p.

GONÇALVES, R. F.; BAZZARELLA, B. B.; PETERS, M. R.; PHILLIPPI, L. S. **Gerenciamento de Águas Cinza**. In: GONÇALVES, R. Franci (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 153-222.

GRAY, S. R.; BECKER, N. S. C. Contaminant flows in urban residential water system. **Urban Water**. v. 4, n. 4, p. 331-346, 2002.

GUTIÉRREZ, J. L. R.; ENCINA, P. A. G.; POLANCO, F. F. Anaerobic treatment of cheese-production wastewater using a UASB reactor. **Bioresour Technology**, v.37, n.3, p.271-276, 1991.

HENZE, MOGENS; LEDIN, ANNA. TYPES. Characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters. In: Decentralised sanitation and reuse: concepts, systems and implementation. Chapter 4. **IWA Publishing**. p. 59-72. Londres. 2001.

HESPANHOL, I. Recarga artificial de aquíferos. **Revista da Fundação de Apoio à Tecnologia - FAT**, v.33, n.1, p.25-29, 2006.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, RBRH, v.7, n.4, 2002, 75-95..

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p.1 31-158, 2008.

HOSSEINI, R.; HOSSEINI, N.; KHORASANIZADEH, H. An experimental study of combining a photovoltaic system with a heating system. **Anais**. World Renewable Energy Congress, p. 8-13, 2011.

HUSSAIN, A., ARIF, S. M., & ASLAM, M. Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 71, p.12–28, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Pesquisa Trimestral do Leite**. Ano base 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/leite>>. Acesso em: 05 abr. 2018

IBNET – The International Benchmarking Network For Water And Sanitation Utilities. **The IBNET Water Supply and Sanitation Blue Book**, 2014.

IEA - International Energy Agency. **Solar energy perspectives**. Luxemburgo: Imprimerie Centrale, 2011. 234 p.

IEC – International Electrotechnical Commission 2008. IEC 60904-3 Photovoltaic devices - Part 3: **Measurement principles for terrestrial IEC), photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data**. EUA.

IICA – Instituto Interamericano de Cooperação Para a Agricultura. 2017. **Produto III– Critérios De Qualidade Da Água: Relatório Técnico Contendo Proposta de Critérios de Qualidade Para a Água de Reuso, Definindo Padrões Para o Reuso de Água Para Cada Modalidade**. Disponível em:

<[http://arquivos.ana.gov.br/interaguas/MCID\\_Reuso\\_Produto3-CriteriosdeQualidadedaAguadeReuso.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/interaguas/MCID_Reuso_Produto3-CriteriosdeQualidadedaAguadeReuso.pdf)>.

Acesso em: 20 jul. 2019

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_dspDadosCodigo\\_sim.php?QTAWMg](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTAWMg). Data de acesso: 31/08/2018.

IRWAN, Y. M.; LEOW, W. Z.; IRWANTO, M.; FAREQ, M.; AMELIA, A. R.; GOMESH, N.; SAFWATI, I. Indoor test performance of PV panel through water cooling method. **Energy Procedia**, v. 79, pp. 604–611, 2015.

JANCZUKOWICZ W, ZIELINSKI M, DEBOWSKI M. Biodegradability evaluation of dairy effluents originated in selected sections of dairy production. *Bioresour Technology*, v.99, n. 4199-205, 2008.

JANNUZZI, G. DE M.; VARELLA, F. K. DE O. M.; GOMES, R. D. M.. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação**. 2009.

JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHENSON, T.; JUDD, S. Technologies for domestic wastewater recycling. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 4.ed, 932 p, 2005.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 6ª ed., 969 p., 2014.

JORDÃO, E.P; PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 7 ed., 1050p., 2011.

JOURJON, F.; ARNAU, Z.; PIDOUX, M.; BODET, E.; KHALDI, S.; BEDNAR, J. Evaluation of sludge treatment by reed beds application to winery sludge. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Specialised **Conference** on Sustainable Viticulture and Winery Wastes Management, p. 375-378, 2004.

KABIR, E.; KUMAR, P.; KUMAR, S.; ADELODUN, A. A.; KIM, K. H. Solar energy: Potential and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82, 894–900, 2018.

KADLEC, R.H AND KNIGHT, R.L. **Treatment Wetlands**. Boca Raton Lewis Publishes, 1996

KALOGIROU, S. **Solar Energy Engineering: Processes and Systems**. 1<sup>st</sup>ed. Elsevier, 2009.

KHALID, A.; ARSHAD, M.; ANJUM, M.; MAHMOOD, T.; DAWSON, L. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Management**, v. 31, n. 8, p. 1737-1744, 2011.

KIM, D.; KIM, D. H.; BHATTARAI, S.; OH, J. H. Simulation and model validation of the surface cooling system for improving the power of a photovoltaic module. **Journal of Solar Energy Engineering**, v. 133, n. 041012, 2011.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.8, n.8, p. 1713-1721, 2012.

KORDZADEH, A. The effects of nominal power of array and system head on the operation of photovoltaic water pumping set with array surface covered by a film of water. **Renewable Energy**, v. 35, p. 1098-1102, 2010.

KRAUTER, S. Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels. In **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 82, n.1, p.131-137, 2004.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. **Uso de biodigestores para tratamento de resíduos animais**. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 2008. 1p.

- LACERDA, A. B.; BACHER, L. E.; OLIVEIRA, C.; ALLGAYER, M.; RODRIGUES, M. A. S. A Condutividade da Água como Indicador de Eficiência do Processo de Eletrodialise. In: **Inovamundi**, Seminário de Pós-Graduação - 2015. NOVO HAMBURGO: Editora Feevale, v. 8. p. 4-8, 2015.
- LEGNER, C. Reúso de água e seus benefícios para a indústria e meio ambiente. **Revista TAE**, n.12, 2013.
- LEITE, M. T.; BARROZO, M.A.D.S.; RIBEIRO, E.J. Canonical analysis technique as an approach to determine optimal conditions for lactic acid production by lactobacillus helveticus ATCC 15009. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 2012, p. 1-9, 2012.
- LI, F. WICHMANN, K. OTTERPOHL R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 11, p.3439-3449, 2009.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP. Editora Átomo, 2ª Ed., 2008.
- LIMA, J. A.; Dambros, M. V. R.; Antonio, M. A. P. M; Janzen, J. G; Marchetto, M. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 16, n.3, p.291-298, 2011.
- LOPEZ, R. A. **Energia solar para produção de eletricidade**. São Paulo: Artliber Editora, p.27-190, 2012.
- LUQUE, A. **Handbook of Photovoltaics Science and Engineering**. John Wiley & Sons, 2003.
- MACHADO, R. M. G.; FREIRE, V. H.; SILVA, P. C.; FIGUERÊDO, D. V.; FERREIRA, P. E. **Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios**. 1ed. Belo Horizonte: Segrac, 2002, 223 p.
- MAGANHA MFB. **Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos**. São Paulo: CETESB; 2006.
- MAGARREIRO, C.; FREITAS, S.; BRITO, M. C. Radiação e energia solar. **Artigo Geral, Sociedade Portuguesa de Física**, v. 39, n.1/2, 2016.
- MANCUSO, P. C. S. **Reuso de água para torres de resfriamento**. São Paulo, 2001.
- MANCUSO, P.C.S.et al. **Reuso de Água**. São Paulo: Manole, 2003. 576p.
- MANNING, D. T.; HADRICH, J. C. An evaluation of the social and private efficiency of adoption: Anaerobic digesters and greenhouse gas mitigation. **Journal Of Environmental Management**, v. 154, p. 70-77, 2015.
- MARECOS, H.2010. **Guia técnico 14 – Reutilização de águas residuais**. 2010, ERSAR.
- MATIAS, C. A., SANTOS, L. M., ALVES, A. J., CALIXTO, W. P. (2017). Increasing photovoltaic panel power through water cooling technique. **EEEIC – International Conference on Environmental and Electrical Engineering**, 16<sup>th</sup>, 2016. Transactions On Environment And Electrical Engineering, 2(1), 2017.
- MATOS, A.T., ABRAHÃO, S.S., BORGES, A.C., MATOS, M.P. Influência da taxa de carga orgânica no desempenho de sistemas de alagados construídos cultivados com forrageiras. **Engenharia Sanitária Ambiental**, 15(1), 68-84, 2010.
- MAY, S. Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações. **Tese** (Doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo USP), São Paulo, 2009.
- MAY, S.; HESPANHOL, I. Tratamento de águas cinzas claras para reuso não potável em edificações. **Gestão de Água da América Latina**, v.5, n.2, p.15-24, 2008.
- MEES, J. B. R. **Tratamento de resíduos líquidos I. Tecnologia em Gerenciamento Ambiental**, Ministério da Educação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira, 2006. p. 7-21. Disponível em: <[http://www.md.utfpr.edu.br/Intranet/professores/adm/download/apostilas/1315\\_13.pdf](http://www.md.utfpr.edu.br/Intranet/professores/adm/download/apostilas/1315_13.pdf). > Último acesso: 13/05/2008.

MENDONÇA, H. V.; RIBEIRO, C. B. M.; BORGES, A. C.; BASTOS, R. R. Remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínios por sistemas alagados construídos operando em bateladas. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v.7, n. 2, 2012.

METCALF; E. **Waste water engineering: treatment, disposal and reuse**. 4.ed. rev. New York: McGraw-Hill. 1830 p.. 2003.

MIERZWA, J. C. O uso racional e o reuso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria – estudo de caso da Kodak Brasileira. 2002. 367 p. **Tese** (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria - Uso racional e reuso**. Oficina de Textos. São Paulo, 2005. 143p.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Energia Solar no Brasil e Mundo**. Ano de referência – 2016. Edição: 16/10/2017

MONROY, O.; JOHNSON, K. A.; WHEATLEY, A. D.; HOWKES, F.; CIANE, M. The anaerobic filtration of dairy waste: results of a pilot trial. **Bioresour Technology**, v.50, p.243-251, 1994.

MONTE H. M. do; ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuais**. Lisboa, Ed. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos e Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2010.

MONTEZANO, B. **Casa solar: A energia solar e eólica no Brasil**. Rio de Janeiro: CEPTEL/Eletronbras, 2013. 69 slides. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAffm4AD/as-energias-solar-eolica#>>. Acesso: em 25 mar. 2018.

MORENO, M. T. V. **Manual de Biogás**. Editado por Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. Santiago de Chile, 2011.

MORUZZI, R. B.; CONCEIÇÃO, F. T.; BELTRAN, G. R.; ZANARDO, N. A. Chemical and mineralogical incrustation characterization and potential of hydraulic performance recovery. **Eng Sanit Ambient**, v.17 n.3, 2012. p. 305-314.

NAGAMATI, F. L.; SANTOS, J. J. F.; MENDES, T.A. Execução de *wetland* construído para tratamento de efluente doméstico em propriedade rural. **R. Gest. Sust. Ambi**, Florianópolis, v.7,n.1,p.418-446, 2018.

NAIME, R.; GARCIA, A. Utilização de enraizadas no tratamento de efluentes agroindustriais. **Estudos Tecnológicos**, v. 1, n. 2, p. 9-20, 2005

NEF. **National Energy Foundation**. 2016. Acesso em setembro de 2017. Disponível em: <<http://www.nef.org.uk/knowledge-hub/solar-energy/types-of-photovoltaic-pv-cells>>.

NETO, M. R. B.; CARVALHO, P. C. M. **Geração de Energia Elétrica – Fundamentos**. 1º Edição. São Paulo. Editora Érica Ltda, 2012.

NOGUEIRA, A. C.; SILVA, E. M. C. A.; CAVALCANTI, M. T.; SILVA, J. N. Projeto de unidade de bioenergia e tratamento de resíduos de abatedouros de aves de corte. **Anais**. I Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências. 2016.

NREL - National Renewable Energy Laboratory. **Glossary of solar radiation resource terms: National Renewable Energy Laboratory**. 2017.

NSW HEALTH. **Greywater reuse in Sewered single domestic premises**, Sidney, 2002. Disponível em: [http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general/wastewater/greywater\\_policy.pdf](http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general/wastewater/greywater_policy.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2016.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 5. Ed. Aracaju: Info Graphics Gráfica e Editora Ltda, 2008; p. 315.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo, Edgard Blucher, 2003.

ODEH, S.; BEHNIA, M. Improving Photovoltaic Module Efficiency Using Water Cooling. **Heat Transfer Engineering**, v. 30, n.6, p.499-505. 2009

ODEH, S.; BEHNIA, M. Melhorando a eficiência do módulo fotovoltaico usando refrigeração a água. **Engenharia de Transferência de Calor**, v.30, n.6, p.499-505, 2009.

OENNING JUNIOR, A. PAWLOWSKY, U. Avaliação de tecnologias avançadas para reúso de água em indústria metal-mecânica. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.12, n.3, pp. 305-316, 2007.

OLIVEIRA, L P.; SOUZA, M. B.; SOARES, A. F. S.; IZABEL CRISTINA MATOS ANDRADE I. C. M. Evaluation of the efficiency of *Wetlands* in the removal of organic matter in the sanitary sewers. **Revista NBC**, v. 8, n.15, 2018.

OMS – Organização Mundial De Saúde. **Diretrizes para a qualidade microbiológica de águas residuais tratadas, utilizadas em agricultura: recomendações para a revisão das diretrizes da OMS**. Boletim da Organização Mundial de Saúde, 2000.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Resolution on adopted by the General Assembly on 23<sup>th</sup> December 2016**. New Urban Agenda, 2017.

ORSSATTO, F.; HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A. Eficiência de remoção de óleos e graxas de uma estação de tratamento de esgoto sanitário, Cascavel – Paraná. **Engenharia Ambiental**, v.7, n.4, p.249-256, 2010.

OSTERWALDER, U.; LUTHER, H.; HERZOG, B.; **Cosmet. Toil**. (Ed. Port.) 2000, 12, 52.

PACHECO, F. **Energias Renováveis: breves conceitos. Economia em Destaque. Conjuntura e Planejamento**. Salvador: SEI, n.149, p.4-11, 2006.

PARKINSON, J. N.; SIQUEIRA, E. Q.; CAMPOS, L. C. Tratamento de esgotos domésticos de pequenas comunidades utilizando áreas alagadas construídas (AACs). **Revista Intercursos**, v. 3, n.2, p. 135-139, 2004.

PEREIRA, E.; MARTINS, F.; ABREU, S.; RUTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. 64 p.

PEREIRA, E.B; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª ed. INPE, 2017

PERLOTTI, E. et al. **Proposta para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira: estudo do grupo setorial de sistemas fotovoltaicos da ABINEE**. São Paulo: ABINEE, 2012.

PHILIPPI, L.S.; SEZERINO, P.H. **Aplicação de sistemas tipo *Wetlands* no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis, Ed. do autor, 2004. 144 p.

PILA, J. **Carta leite: maiores laticínios do Brasil em 2015**. Disponível em: < <https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/cartas/50478/carta-leite---maiores-laticinios-do-brasil-em-2018.htm> >. Acesso em: 30 maio 2019.

PINHO, J.T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro. CEPTEL – CRESESB, 2014

PINJING, H; PHAN, L; GUOEWI, G; HERVOUET, G. Reclaimed municipal wastewater – a potencial water resource in China. **Water Science Technology**, v.43, n.10, p. 51-58, 2011.

PINTO, E. Geopolítica da água. **Revista de Geopolítica**, v.8, n.1, p.19-32. 2017.

- PIO, A. A. B. **Conservação e reuso de água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.152 p.
- PITALUGA, D.P.S.; Almeida, R. A.; Reis, R. P. A. Wetland construído no tratamento de esgotos sanitários: substratos. **Saarbrücken (Alemanha): Novas Edições Acadêmicas**, 2015. 130 p.
- PIVELI, R. P. **Qualidade das águas de poluição: aspectos físico-químicos**. Brasil, 2015.
- PNUEA – **Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água**. Implementação 2012-2020; Agência Portuguesa do Ambiente, 2012.
- POKRYWIECKI, T. S.; GUMY, M. P.;TONIAL, I. B. POKRYWIECK, J. C. Avaliação do processo de tratamento de efluentes de laticínios. **Rev. Acad. Ciênc. Agrar. Ambient.** 2013; 11: 155–161.
- RABELO, W. A. ALVES, M. A. C. Implantação de um sistema de gestão ambiental em uma indústria de laticínios. **Anais. Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 2: Congestas 214** ISSN 2318-763 21 Eixo Temático ET-1-1 - Gestão Ambiental 2016
- RANDALL, C.; BARNARD, J.; STENSEL, H. D.; DUFRESNE, L. **Nutrient control design manual**. United States Environmental Protection Agency- USEPA. Scientific, Technical, Research, Engineering and Modeling Support (STREAMS). Task Order 68. Cincinnati: EPA, 2010. 347 p.
- RAPOPORT, B. **Águas cinzas: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reuso domiciliar e condominial**. Ministério da saúde – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública. Rio de Janeiro, 85 f., 2004.
- REBOUÇAS, A. C., **Águas no Brasil: abundância, desperdício e escassez**. Bahia Análise & Dados. Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 341-345, 2003.
- REIS, L. B. **Geração de Energia Elétrica**, 2ª ed. Barueri: Editora Manole, 2011.
- REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21 st Century. **Relatório da Situação Global das Energias Renováveis**. 2018
- REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21 st Century. **Relatório da Situação Global das Energias Renováveis**. 2017
- REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21 st Century. **Relatório da Situação Global das Energias Renováveis**. 2016
- REZENDE, A. T. Reuso urbano de água para fins não potáveis no brasil. 2016. **Monografia**. (Monografia em Engenharia Ambiental e Sanitária, área de concentração em Saneamento Ambiental). Juíz de Fora – MG, UFJF.
- RHODEN, A.C.; FELDMANN, N. A.; MUHL, F. R.; RITTER, A. F. S.; MOREIRA, A. A importância da água e da gestão dos recursos hídricos. **Revista Ciencia Agroveterinaria e Alimentos** n. 1, 2016.
- RIBEIRO, W. C. **Geografia Política da Água**. São Paulo: Annablume, 2008.
- RIERA, F. A. SUÁREZ, A. MURO, C. **Nanofiltration of UHT flash cooler condensates from a dairy factory: Characterisation and water reuse potential Dessalination**. v. 309, p. 52-63, 2013.
- RODRIGUES, L. C. S. Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória-ES. 2005. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Ambiental)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005
- ROHLFES, A. L. B.; BACCAR, N. M.; OLIVEIRA, M. S. R.; MARQUARDT, L. E.; RICHARDS, N. S. P. S. Indústrias lácteas: alternativas de aproveitamento do soro de leite como forma de gestão ambiental. **Tecnologia**, v. 15, n. 2, p. 79-83, 2011.
- RUBIM, C. ACQUALITY Água com Qualidade. Como tirar ferrugem de cano de água. **Revista TAE**, 2014.

SALATI, E. et al. **Utilização de sistemas de Wetlands construídas para tratamento de águas**. Piracicaba: Instituto Terramax - Consultoria e Projetos Ambientais LTDA, 2009.

SALATI, E. Utilização de sistemas de *Wetlands* construídas para tratamento de águas. **Biológico**, v. 65, n. 1/2, p. 113-116, 2003.

SANTOS, L. M.; ALVES, A. J.; SALLES, D. M.; MATIAS, C. A.; DOMINGOS, J. L.; DOMINGUES, E. G.; CALIXTO, W. P. Technical analysis of the application of water in the improvement of the electrical efficiency in photo-voltaic panels. In: Montevideo. **IEEE URUCON**, 2017. p. 1.

SCHAEFFER, R.; COHEN, C. A. (org) **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil (BRA/01/001): Simulação de Potenciais de Eficiência Energética para o Setor Residencial**. Programa de Planejamento Energético – PPE/COPPE/UFRJ, 2007.

SCHOENINGER, F. Estudo da biodegradabilidade de efluentes de laticínio. 2005. 115 p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102302>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

SILVA, M. A.; NETO, J. H. M. Análise Experimental de um Sistema Formado Por Painel Fotovoltaico e Concentrador Parabólico Composto. **Anais**. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS) e V Conferencia Latino-Americana da ISES (International Solar Energy Society, 2012.

SILVAL, M. Estudo da demanda de água não potável e desenvolvimento de um sistema de reuso de águas cinzas para habitações de interesse social. **Dissertação** (Mestrado Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração Saneamento Ambiental. VITÓRIA 2013

SILVEIRA, M. P.; ALVES, J. N.; FLAVIANO, V. Os Desafios Da Implantação De Um Sistema De Gestão Ambiental: Estudo De Caso Em Uma Indústria De Laticínios. **R. Gest. Sust. Ambient.**, v.2, n.2, p.88–106, 2014

SOLARGIS. **Base de dados da irradiação solar global**. 2017. Acesso em maio de 2019. Disponível em: <<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world>>.

SOLARTERRA – Soluções em Energias Alternativas. **Energia Solar Fotovoltaica – Guia Prático**. São Paulo, SP. 2011. 35p. Disponível: Acesso em: 07 jun. 2013.

SOUSA, A. F. S. Diretrizes para implantação de sistemas de reuso de água em condomínios residenciais baseadas no método APPCC – análise de perigos e pontos críticos de Controle, estudo de caso Residencial Valville I. 2008. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Sanitária, área de concentração em Engenharia Hidráulica, Saneamento Ambiental). São Paulo – SP, USP.

SOUZA, R. **Introdução aos Sistemas Solares Novo**. Blue Sol, 2017.

SPEECE, R. E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewater**. Nashville: Archae; 1996.

SUBIDA, A. **Manual de energia Solar Fotovoltaica**. ADIV - Associação para o Desenvolvimento e Investigação de Viseu. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAeiccAE/energia-solar-fotovoltaica?part=3>. Acesso em: março de 2016.

TARABSHEH, A. A.; VOUTETAKIS, S.; PAPADOPOULOS, A. I.; PANOS SEFERLIS, P.; ETIER, I.; SA-RAEREH, O. Investigation of temperature effects in efficiency improvement of non-uniformly cooled photovoltaic cells. **Chemical Engineering Transactions**, v.35, p.1387- 1392, 2013.

TELLES, A.; COSTA, R.P. **Reuso da Água: Conceitos, Teorias e Práticas**, 2<sup>sd</sup> ed. Editora Blucher, p.153-154, 2010.

TEO, H.G, LEE, P.S., HAWLADER, M. N. A. An active cooling system for photovoltaic modules. **Appl. Energ.**, v. 90, p.309–315, 2012.

TORINO SOLUZIONI AMBIENTALI. **Incrustação: o que é e como eliminá-la das tubulações?** In: Limpeza, Limpeza de tubulação. February 14, 2018.

TROVATI, J. Tratamento de Águas Industriais: Sistemas de Resfriamento. **Relatório Técnico**, São Paulo, 2004. Disponível em: <[http://www.snatural.com.br/PDF\\_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua.pdf](http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua.pdf)>. Acesso em 1 de abr. 2017

TUCCI, C.E.M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97- 112, 2008.

UFP. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Radiação Terrestre**. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-8.html>. Data de acesso: 06/2019.

USDA – U.S. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service; Environmental Protection Agency. **A handbook of constructed Wetlands**. Washington: USDA/NRCS/EPA, v.1, 2002. 53 p

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse**. U. S. Washington, DC: EPA, 2004

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse**. U. S. Washington, DC: EPA, 2012.

USGBC – UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED For New Construction & Major Renovations**. Washington, DC – EUA. 2005

VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, O. Comportamento do Sistema de Lodo Ativado-Teoria e Aplicação para Projeto e Operação. **ABES**. 448p; 1999.

VIEIRA, A. R.; COSTA, L.; BARRÊTO, S. R. **Cadernos de Educação Ambiental Água para Vida, Água para Todos: Livro das Águas**. Brasília: WWF-Brasil,2006.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. ed. São Paulo: Érica, 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. v.1.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996

VON SPERLING, M. **Lodos ativados - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2.ed. ampl., v.4, 428 p., 2002.

VON SPERLING, M. **Princípios de tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005. 425p.

VON SPERLING, M. V. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª Ed. Volume 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPERLING, M.; ANDRADE NETO, C. O.; VOLSCHAN JUNIOR, I.; FLORÊNCIO, L. **Impacto dos nutrientes do esgoto lançado em corpos d'água**. In: MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (Coord). Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009, pp. 26-51

VOURCH, M.; BALANNEC, B.; CHAUFFER, B.; DORANGE, G. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. **Desalination**, v.219, p.190–202, 2008.

WALKER, G. R.; SERNIA, P. C. Cascaded DC–DC Converter Connection of Photovoltaic Modules, **IEEE Transactions on Power Electronics**, vol. 19, no. 4, July, 2004.

WEBER, C. C.; CYBIS, L. F.; BEAL, L. L. Reuso da água como ferramenta de revitalização de uma estação de tratamento de efluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, p.119-128, 2010.

WILCOX, J.; NASIRI, F.; BELL, F.; RAHMAN, S. Urban water reuse: A triple bottom line assessment framework and review. **Sustainable Cities and Society**, v.27, p.448-456, 2016.

ZOCCAL, R. **Alguns números do leite**. Jardim São Paulo: Balde Branco, 2016. Disponível em: <<http://www.baldebranco.com.br/alguns-numeros-do-leite/>>. Acesso em: 30 maio 2018.