

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**Geraldo Rampelotto**

**TRATAMENTO DE ÁGUAS DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL  
POR FLOTAÇÃO-FILTRAÇÃO**

Santa Maria, RS  
2020

**Geraldo Rampelotto**

**TRATAMENTO DE ÁGUAS DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL POR  
FLOTAÇÃO-FILTRAÇÃO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Elvis Carissimi

Santa Maria, RS  
2020

Rampelotto, Geraldo  
TRATAMENTO DE ÁGUAS DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL POR  
FLOTAÇÃO-FILTRAÇÃO / Geraldo Rampelotto.- 2020.  
130 p.; 30 cm

Orientador: Elvis Carissimi  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, RS, 2020

1. Flotação 2. Filtração 3. Toxicidade 4. Reciclo 5.  
Legionella spp I. Carissimi , Elvis II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, GERALDO RAMPELOTTO, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Geraldo Rampelotto**

**TRATAMENTO DAS ÁGUAS DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL POR  
FLOTAÇÃO-FILTRAÇÃO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Civil**.

**Aprovado em 20 de março de 2020:**



**Elvis Carissimi, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)



**Delmira Beatriz Wolff, Dra. (UFSM)**



**Diosnel Antonio Rodríguez López, Dr. (UNISC)**



**Jean Carlo Salomé dos Santos Menezes, Dr. (UPF)**



**William Leonardo da Silva, Dr. (UFN)**

Santa Maria, RS  
2020

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela vida e a São Bento meu santo protetor por ter permitido que eu conseguisse finalizar este trabalho.

A minha família, especialmente aos meus pais pelo apoio na busca de qualificação profissional.

A minha companheira Daiane, pelo amor e paciência.

A minha filha Roberta pelo apoio incondicional, estímulo e ajuda no desenvolvimento dos ensaios e na finalização deste trabalho, sem o qual não teria concluído.

Aos proprietários da lavanderia ECOVAV, Sr. Rudimar Conrad e Sra. Márcia Heloisa Conrad, por disponibilizar as instalações e os dados para realização deste trabalho.

Ao Matheus Conrad, por participar como bolsista e ao auxílio nos ensaios.

Ao meu orientador, professor Dr. Elvis Carissimi, pela oportunidade, paciência, ensinamentos e confiança durante esse período.

A professora Dra. Delmira Beatriz Wolff, pelo apoio e incentivo no decorrer do desenvolvimento deste trabalho.

As colegas de doutorado, servidores e professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, pelo companheirismo e aprendizagem.

A Universidade Federal de Santa Maria, que possibilitou meu desenvolvimento do trabalho em uma instituição pública de qualidade.

Muito obrigado!

## RESUMO

### TRATAMENTO DE ÁGUAS DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL POR FLOTAÇÃO-FILTRAÇÃO

AUTOR: Geraldo Rampelotto

ORIENTADOR: Prof. Dr. Elvis Carissimi

O setor de lavanderias industriais apresenta um elevado consumo de água, conseqüentemente produzindo abundante volume de efluente, tema de interesse global, especialmente em função da escassez de água, demonstrando a importância do tratamento dos efluentes líquidos. Os efluentes de lavanderias, quando devidamente tratados, podem ser utilizados para consumo não potável na indústria, como descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, irrigação de jardins, espelhos d' água e chafarizes ou no próprio processo industrial através do reciclo, desde que não proporcione riscos à saúde dos usuários e tenha padrão de qualidade para o devido fim, pois a legislação ambiental, a cada modificação, torna-se cada vez mais restritiva no que se refere à qualidade das águas que são descartadas pelas empresas. Ao serem lançados em corpos hídricos, os efluentes podem causar danos à biota aquática, inclusive, a morte de peixes por intoxicação, por este motivo, trabalhos sobre ecotoxicologia devem ser realizados. Este trabalho objetivou avaliar e caracterizar o sistema de tratamento de uma lavanderia industrial de pequeno porte, que processa em torno de 3000 kg de peças de roupas mensalmente, em escala real, visando o reúso para fins não potáveis, avaliando a toxicidade aguda e a presença de *Legionella* spp. no efluente desta lavanderia. A avaliação dos resultados do tratamento do efluente permitiu a discussão do nível de remoção dos parâmetros do tratamento proposto, comparando, entrada e saída do efluente pós-tratado, validando assim a eficiência do sistema e indicar o potencial desse tratamento visando o reúso/reciclo. Primeiramente realizou-se a revisão bibliográfica, utilizando o portal de periódicos da Capes no período de abril 2016 a setembro de 2019, que teve como base para pesquisa a escassez de água, aprofundando o estudo no ramo de lavanderias, sistemas de tratamento e as soluções, visando depurar seus resíduos líquidos, superar a escassez de água e seu reúso, minimizando sua captação; após, para a caracterização e avaliação dos efluentes da lavanderia, empregou-se a estratégia de investigação envolvendo coleta de dados e análises de parâmetros, realizados no período de maio de 2015 a outubro de 2019 (quatro anos e quatro meses), quantificando a produção do efluente, análise de parâmetros como temperatura, pH, DQO, sólidos suspensos, óleos e graxas minerais e surfactantes, avaliando o tratamento dos efluentes líquidos da lavanderia, que utiliza o processo físico-químico de flotação por ar dissolvido (FAD) e combinado com filtros de areia e carvão ativado para polimento. Em relação a pesquisa de toxicidade, o efluente foi avaliado após o tratamento, empregando como bioindicadores peixes, *Cyprinus carpio* (carpa), com o efluente bruto a 100%, 75%, 50% e 25%, utilizando água do meio de adaptação para as diluições, onde a toxicidade foi avaliada em 24, 48 e 72 horas de exposição. A pesquisa de *Legionella* spp. ocorreu no efluente bruto e tratado em amostras coletadas entre outubro e novembro de 2019. As análises foram realizadas em laboratório externo e seguiram a metodologia analítica do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Na revisão de literatura, a busca resultou em 98 artigos, dos quais 66 foram selecionados, por abordarem o tema proposto, onde foi observado a existência de sistemas de tratamentos de águas residuais com diferentes complexidades que estão em estudo e implementadas no mundo, sendo difícil apontar o melhor sistema de tratamento de águas residuais de lavanderias, já que cada um tem suas vantagens e desvantagens. Em relação aos parâmetros avaliados para caracterização e avaliação dos efluentes da lavanderia em estudo verificou-se se que há um intervalo amplo nos valores do influente para os parâmetros sólidos suspensos (17,9 mg/L - 87,5 mg/L), tensoativos (0,2 mg/L - 87,5 mg/L), óleos e graxas (5mg/L - 87,5mg/L) e DQO (192,2 mg/L - 1300 mg/L), em que se constatou que há eficiência do tratamento para sólidos suspensos, tensoativos, óleos e graxas e DQO, respectivamente de 54,7%; 2,4%; 43,3% e 48,5%. No que se refere a toxicidade, não foi possível calcular a concentração letal (CL<sub>50</sub>) em função do efluente que se enquadra na classificação de levemente tóxica e de baixo índice de mortalidade. Também não ocorreu a presença de *Legionella* spp.. O uso de *Cyprinus carpio* como bioindicador mostrou ter baixa toxicidade, sendo que não ocorreu a presença de *Legionella* spp., podendo ser considerado seguro a utilização do efluente para o reúso em relação a este microrganismo.

**Palavras-chave:** Flotação. Filtração. Toxicidade. Reciclo. *Legionella* spp.

## ABSTRACT

### WATER TREATMENT OF AN INDUSTRIAL LAUNDRY BY FLOTATION-FILTRATION

AUTHOR: Geraldo Rampelotto  
ADVISOR: Prof. Dr. Elvis Carissimi

The industrial laundry sector has a high water consumption, consequently producing an abundant volume of effluent, a topic of global interest, especially due to the scarcity of water, demonstrating the importance of treating the effluents used. Laundry effluents, when properly treated, can be used for non-potable consumption in industry, such as flushing toilets, washing floors, irrigating gardens, water mirrors and fountains or in the industrial process itself through recycling, provided that do not pose risks to the health of users and have a quality standard for the proper purpose, since the environmental legislation, with each modification, becomes increasingly restrictive with regard to the quality of the water that is discarded by the companies. When discharged into water bodies, effluents can cause damage to aquatic biota, including the death of fish from intoxication, for this reason, work on ecotoxicology must be carried out. This work aimed evaluate and characterize the treatment system of a small industrial laundry, which processes around 3000 kg of clothes monthly, in real scale, aiming reuse for non-potable purposes, evaluating acute toxicity and the presence of *Legionella* spp. in the effluent of this laundry. The evaluation of the results of the effluent treatment allowed the discussion of the level of removal of the parameters of the proposed treatment, comparing, entry and exit of the post-treated effluent, thus validating the efficiency of the system and indicating the potential of this treatment aiming at reuse/recycling. First, a bibliographic review was carried out, using the Capes periodical portal from April 2016 to September 2019, which was based on research on water scarcity, deepening the study in the field of laundries, treatment systems and solutions, aiming to purify its liquid residues, overcome the scarcity of water and its reuse, minimizing its capture; afterwards, for the characterization and evaluation of the laundry effluents, an investigation strategy was used, involving data collection and parameter analysis, carried out from May 2015 to October 2019 (four years and four months), quantifying the production of the effluent, analysis of parameters such as temperature, pH, COD, suspended solids, mineral oils and greases and surfactants, evaluating the treatment of liquid laundry effluents, which uses the physicochemical process of dissolved air flotation (FAD) and combined with sand filters and activated carbon for polishing. Regarding toxicity research, the effluent was evaluated after treatment, using fish, *Cyprinus carpio* (carp) as bioindicators, with 100%, 75%, 50% and 25% raw effluent, using water from the adaptation medium for dilutions, where toxicity was assessed at 24, 48 and 72 hours of exposure. The research of *Legionella* spp. occurred in the raw and treated effluent in samples collected between October and November 2019. The analyze were performed in an external laboratory and followed the analytical methodology of the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In the literature review, the search resulted in 98 articles, of which 66 were selected, for addressing the proposed theme, where it was observed the existence of wastewater treatment systems with different complexities that are under study and implemented in the world, being difficult point out the best wastewater treatment system for laundromats, as each has its advantages and disadvantages. Regarding the parameters evaluated for characterization and evaluation of the laundry effluents under study, it was found that there is a wide range in the influential values for the suspended solid parameters (17.9 mg/L - 87.5 mg/L), surfactants (0.2 mg/L - 87.5 mg/L), oils and greases (5mg/L - 87.5mg/L) and COD (192.2 mg/L - 1300 mg / L), in which it was found that there is efficiency after treatment for suspended solids, surfactants, oils and greases and COD, respectively, of 54.7%; 2.4%; 43.3% and 48.5%. Regard to toxicity, it was not possible to calculate the lethal concentration (LC<sub>50</sub>) depending on the effluent that falls under the classification of slightly toxic and low mortality rate. Also, *Legionella* spp. did not occur. The use of *Cyprinus carpio* as a bioindicator was shown to have low toxicity, and the presence of *Legionella* spp. did not occur, and the use of effluent for reuse in relation to this microorganism can be considered safe.

**Keywords:** Flotation. Filtration. Toxicity. Recycle. *Legionella* spp.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### REVISÃO DA LITERATURA

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Principais métodos de tratamento de efluentes industriais..... | 23 |
|---|----|

### MATERIAIS E MÉTODOS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2 – Fluxograma simplificado da lavanderia em estudo.....  | 34 |
| Figura 3 – Fluxograma genérico do processo ETEAR PHI-AQUAFLOT.....   | 41 |
| Figura 4 – Sistema de retenção sólidos maiores: Gradeamento (a) e peneira (b).....   | 42 |
| Figura 5 – Unidade de floculador hidráulico, vista de frente (a), vista lateral (b).....   | 43 |
| Figura 6 – Movimento do efluente no interior da tubulação do floculador.....   | 44 |
| Figura 7 – Representação esquemática da bomba geradora de microbolhas (a), e bomba geradora de microbolhas instalada na ETEAR (b)..... | 45 |
| Figura 8 – Filtro de areia FM-50. ....   | 46 |
| Figura 9 – Filtros de carvão ativado FM-75.....  | 47 |
| Figura 10 – Exemplar de <i>Cyprinus carpio</i> .. ....   | 49 |
| Figura 11 – Esquema do processo experimental para verificação da presença de <i>Legionella spp</i> .....                               | 51 |

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### MANUSCRITO 1

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Período e número de publicações citadas neste estudo..... | 57 |
|--|----|

#### MANUSCRITO 2

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Esquema da estação de tratamento de efluentes da lavanderia ..... | 91 |
|--|----|

#### MANUSCRITO 3

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1 – Fluxograma simplificado da lavanderia em estudo.....  | 106 |
| Figura 2 – Concentração de efluente e percentagem de diluição da amostra do efluente nas primeiras 24h, 48h e 72h de exposição ..... | 113 |
| Figura 3 – Amostra suspeita de <i>Legionella spp</i> . em meio <i>Buffered Charcoal Yeast Extract Alpha Base</i> (BCYE-alfa). ....   | 114 |

## LISTA DE QUADROS

### REVISÃO DA LITERATURA

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 – Métodos de tratamento de efluentes industriais predominantes.....   | 25 |
| Quadro 2 – Classe de água de reúso pela NBR-13.969 e padrões de qualidade..... | 29 |

### APÊNDICE

|  |     |
|--|-----|
| Quadro 3 – Dados do monitoramento período de 05 de maio de 2015 a 16 de outubro<br>2019..... | 128 |
|--|-----|

## LISTA DE TABELAS

### REVISÃO DA LITERATURA

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Caracterização das águas, efluentes de lavanderias.....   | 22 |
| Tabela 2 – Padrão de emissão para lançamento em corpos hídricos, para empreendimento proposto no estudo..... | 30 |

### MATERIAIS E MÉTODOS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 3 – Estimativa de insumos utilizada no processamento de lavagem no mês. ....              | 35 |
| Tabela 4 – Padrão de emissão para lançamento em corpos hídricos. ....                            | 38 |
| Tabela 5 – Resumo metodológico das análises de parâmetros físico-químicos e microbiológicos..... | 38 |

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### MANUSCRITO 1

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Caracterização das águas, efluentes de lavanderia..... | 62 |
|---|----|

#### MANUSCRITO 2

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Estimativa mensal de insumos utilizada no processamento de lavagem .....   | 88 |
| Tabela 2 – Características dos influentes no período 07/05/2015 a 10/09/2019.....   | 93 |
| Tabela 3 – Características dos efluentes no período 07/05/2015 a 10/09/2019.....  | 93 |
| Tabela 4 – Comparação da caracterização das águas de lavanderia industrial, limites mínimos e máximos dos influentes (não tratado)..... | 94 |
| Tabela 5 – Estatísticas descritivas das diferenças entre os efluentes e influentes..  | 95 |
| Tabela 6 – Resultado dos Testes T, médias das variáveis estão dentro do padrão esperado.....  | 97 |

#### MANUSCRITO 3

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1 – Comparação dos efluentes da lavanderia no período 07/05/2015 a 10/09/2019 com o efluente utilizado para ensaio de toxicológico ..... | 111 |
| Tabela 2 – Resultados médios dos óbitos para ensaios em três aquários com dez exemplares de <i>Cyprinus carpio</i> por aquário .....            | 112 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEL - Associação Nacional das Empresas de Lavanderia  
CAG – Carvão Ativado Granular  
CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente  
DACT – Departamento de Ciências Toxicológicas  
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO - Demanda Química de Oxigênio  
EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos  
ETA – Estação de Tratamento de Água  
FAD - Flotação por Ar Dissolvido  
h - Horas  
kg - Quilograma  
L – Litro  
MBR - Biorreatores com Membranas  
MF - Microfiltração  
min – Minutos  
OMS - Organização Mundial de Saúde  
pH – Potencial de Hidrogênio  
s - Segundos  
SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas  
SMMASS - Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Saneamento e Sustentabilidade de Santa Cruz do Sul  
UF - Ultrafiltração  
UFN – Universidade Franciscana  
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria  
UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância  
UNISC - Universidade de Santa Cruz  
UPF – Universidade de Passo Fundo

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>APRESENTAÇÃO</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>14</b> |
| 1.1 JUSTIFICATIVA .....  | 16        |
| <b>2 OBJETIVOS</b> .....   | <b>17</b> |
| 2.1 OBJETIVO GERAL .....   | 17        |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 17        |
| <b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....   | <b>18</b> |
| 3.1 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA .....  | 18        |
| 3.2 LAVANDERIAS INDUSTRIAIS .....  | 19        |
| 3.3 CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DE LAVANDERIAS .....                           | 20        |
| 3.4 TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVANDERIAS .....                                 | 23        |
| 3.5 REÚSO DE ÁGUAS NAS INDÚSTRIAS .....  | 25        |
| 3.6 REGULAMENTAÇÃO .....   | 28        |
| 3.7 TOXICIDADE .....   | 30        |
| 3.8 <i>Legionella</i> spp. ....  | 31        |
| <b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....   | <b>33</b> |
| 4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA .....   | 33        |
| 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA LAVANDERIA INDUSTRIAL .....                                | 33        |
| 4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS E EQUIPAMENTOS DA LAVANDERIA .....             | 37        |
| 4.3.1 Características da água bruta .....  | 37        |
| 4.3.2 Caracterização qualitativa dos efluentes .....                             | 37        |
| 4.4 PROCESSO DE TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO, FILTROS DE AREIA E CARVÃO ATIVADO ..... | 39        |
| 4.4.1 Concepção do sistema de tratamento .....                                   | 39        |
| 4.4.2 Processo de tratamento das águas .....                                     | 39        |
| 4.4.3 Características do sistema .....   | 42        |
| 4.4.3.1 Sucção e armazenamento do efluente bruto .....                           | 42        |
| 4.4.3.2 Alimentação e medição da vazão do flotor .....                           | 42        |
| 4.4.3.3 Coagulação e floculação hidráulica .....                                 | 43        |
| 4.4.3.4 Câmara de flotação .....   | 44        |
| 4.4.3.5 Raspador e coleta de lodo .....  | 45        |
| 4.4.3.6 Filtração da água tratada .....  | 45        |
| 4.4.3.7 Filtração com carvão ativado .....                                       | 46        |
| 4.4.3.8 Dosagem de reagente .....  | 47        |
| 4.5 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE TRATADO .....                      | 47        |
| 4.6 TOXICIDADE AGUDA NO EFLUENTE TRATADO .....                                   | 48        |
| 4.6.1 Desenho experimental .....   | 48        |
| 4.7 DETECÇÃO DE <i>Legionella</i> spp. NO EFLUENTE BRUTO E TRATADO .....         | 49        |
| 4.8 ASPECTOS ÉTICOS .....  | 52        |
| 4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....  | 52        |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....  | <b>53</b> |
| 5.1 MANUSCRITO 1 .....   | 54        |
| <b>RESUMO</b> .....  | <b>55</b> |
| <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>56</b> |
| <b>METODOLOGIA</b> .....   | <b>57</b> |
| <b>RESULTADOS</b> .....  | <b>58</b> |
| DISPONIBILIDADES DE ÁGUA .....   | 58        |

|  |            |
|--|------------|
| LAVANDERIAS INDUSTRIAIS.....   | 59         |
| CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DE LAVANDERIAS .....   | 60         |
| PROCESSOS DE TRATAMENTO DA ÁGUA E EFLUENTES.....   | 63         |
| TRATAMENTOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE LAVANDERIAS .....   | 65         |
| Sistemas biológicos .....  | 66         |
| Sistemas físicos .....   | 68         |
| Sistemas químicos .....  | 69         |
| REÚSO DE ÁGUAS NAS INDÚSTRIAS .....  | 70         |
| <b>DISCUSSÃO .....</b>   | <b>72</b>  |
| <b>CONCLUSÃO.....</b>  | <b>75</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>76</b>  |
| 5.2 MANUSCRITO 2.....  | 82         |
| <b>RESUMO.....</b>   | <b>83</b>  |
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>84</b>  |
| <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>   | <b>86</b>  |
| Área de Estudo .....   | 86         |
| Coleta e análise dos efluentes da lavanderia .....   | 90         |
| Processo de tratamento .....   | 91         |
| Análises estatísticas dos dados .....  | 92         |
| <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>  | <b>92</b>  |
| Monitoramento dos influentes e efluentes.....  | 92         |
| Análises estatísticas das diferenças do influente e efluente e eficiência do processo .....                  | 95         |
| Análises dos resultados em função dos padrões de lançamento nos corpos hídricos.....                         | 96         |
| <b>CONCLUSÃO.....</b>  | <b>97</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>99</b>  |
| 5.3 MANUSCRITO 3.....  | 101        |
| <b>RESUMO.....</b>   | <b>102</b> |
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>103</b> |
| <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>   | <b>105</b> |
| Área de Estudo .....   | 105        |
| Sistema de tratamento.....   | 106        |
| Coleta, análise e descrição dos experimentos.....  | 107        |
| <i>Cyprinus carpio</i> .....   | 108        |
| Coleta e análise dos efluentes da lavanderia para ensaios toxicológicos com <i>Cyprinus carpio</i><br>.....  | 108        |
| Ensaio toxicológicos .....   | 108        |
| Coleta e análise dos efluentes da lavanderia para ensaios microbiológicos de <i>Legionella</i> spp.<br>..... | 109        |
| Ensaio microbiológicos para detecção de <i>Legionella</i> spp. ....  | 109        |
| Conceitos éticos.....  | 110        |
| Análise estatística .....  | 110        |
| <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>  | <b>110</b> |
| Análises físico-químicas.....  | 110        |
| Ensaio toxicológicos preliminares .....  | 111        |
| Ensaio microbiológicos de <i>Legionella</i> spp. ....  | 114        |
| <b>CONCLUSÃO.....</b>  | <b>115</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>117</b> |
| <b>6 CONCLUSÃO.....</b>  | <b>120</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>121</b> |

## **APRESENTAÇÃO**

Esta tese de doutorado está estruturada na seguinte forma: **INTRODUÇÃO, OBJETIVOS, REVISÃO DA LITERATURA, MATERIAIS E MÉTODOS, RESULTADOS E DISCUSSÃO, CONCLUSÃO e REFERÊNCIAS.**

Os **RESULTADOS E DISCUSSÃO** foram redigidos na forma de publicações científicas, composto por três manuscritos. O item **REFERÊNCIAS** refere-se somente às citações que aparecem na **INTRODUÇÃO, REVISÃO DA LITERATURA e MATERIAIS E MÉTODOS.**

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um dos requisitos básicos para todos os organismos vivos, entretanto, a sua disponibilidade com qualidade é um dos principais desafios, visto que a sua escassez tende a avançar com a industrialização e o aumento da população (LI et al., 2010; SANTOS et al., 2012). May (2008) atribui um acréscimo da demanda de água, em virtude do acentuado e desordenado crescimento populacional, que estão entre os fatores principais na influência do consumo de água, especialmente nos grandes centros urbanos. A insuficiência de água está tornando-se efetivamente um dos maiores desafios global (VUPPALADADIYAM et al., 2018). Está previsto que nos próximos cinquenta anos, cerca de 40% da população mundial poderão testemunhar uma escassez aguda de água (WANG; ZIMMERMAN, 2016).

As águas estão sendo contaminadas pela descarga de resíduos industriais, domésticos e agrícolas, conseqüentemente é muito importante remover os poluentes e agentes patogênicos das águas residuais para atender a legislação ambiental, e diferentes necessidades, entre elas o do reúso não potável, como irrigação, doméstico, industrial. Segundo Friedler (2004), Kuntal et al. (2014), Oron et al. (2014) e Vuppalladiyam et al. (2018), em função da escassez de disponibilidade hídrica, há uma crescente necessidade na preservação, reutilização e reciclagem de águas, tornando-se atraente principalmente pelo fato do gerenciamento das descargas a ser realizado no local, estudado a possibilidade de fechar o ciclo com tecnologias, sequencias de tratamento para produção de água adequada ao uso no processo industrial (MAUCHAUFFEE et al., 2012).

Considerando estes fatores de lançamento de efluente e má distribuição dos recursos hídricos, o reúso de água ganhou importância a partir da década de 90, quando a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), publicou em 1992 as diretrizes para reúso de água, descrevendo as etapas e tratamentos, requisitos de qualidade da água e ferramentas de monitoramento (EPA, 1992). Na Alemanha foram introduzidos em 1995, orientações para reaproveitamento dos efluentes (NOLDE, 2000). Segundo Xujie et al. (2010), a reutilização de água para o setor têxtil é um desafio econômico e ecológico. No Brasil, o reúso é regulamentado pelas resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), 54/2005 diretrizes e critérios gerais, e 121/2010, modalidade agrícola e florestal.

A água desempenha um papel fundamental nas operações industriais, essencialmente nos procedimentos de lavanderia, devido a grande quantidade necessária para a limpeza dos vestuários e outros artigos têxteis. O setor de lavanderias industriais apresenta um elevado consumo de água, segundo Ciabatti et al. (2009), Mauchauffee et al. (2012) e Mozia et al.

(2016), uma lavanderia utiliza em torno de 15 L de água para processar 1 kg de têxteis, produzindo abundante volume de efluente (OZTURK; CINPERI, 2018). Além disso, são poucos os estudos que têm discutido sobre o tema do tratamento e a possibilidade de reúso dos efluentes líquidos nesses setores. Por outro lado, o aumento nos custos de abastecimento de água pode ser suprimido com a opção de uma abordagem de reciclagem/reúso de águas (VUPPALADADIYAM et al., 2018).

Os resíduos líquidos das lavanderias, em sua maioria, são alcalinos, com presença de coloração, contendo quantidades elevadas de detergentes sintéticos, óleos, graxas, sujidade e corantes, caracterizados pela alta carga microbiológica, DQO e um elevado teor de produtos químicos (NICOLAIDIS; VYRIDES, 2014). Segundo Buss et al. (2015), são poucas as lavanderias industriais que se preocupam em tratar e lançar os efluentes dentro dos padrões de qualidade exigidos pelos órgãos ambientais. Os autores reportam ainda que as poucas empresas que realizam o tratamento dos efluentes, e em sua maioria não conseguem atingir a eficiência necessária, em função de utilizar processos simplificados de tratamento (BUSS et al., 2015).

Conforme o Sindicato Intermunicipal de Lavanderias no Estado de São Paulo (2020), uma prática a ser incentivada e cada vez mais adotada por lavanderias será o reúso/reciclagem da água. Em sincronismo a este ponto de vista, tramita em caráter conclusivo na Comissão de Constituição e Justiça da Câmara dos Deputados, projeto de Lei número 1675/15, tornando obrigatório o reúso, ou seja, a obrigatoriedade do reaproveitamento da água em locais de baixa pluviosidade.

Dentre as tecnologias de tratamento utilizadas, ressalta-se o processo de pré-tratamento através coagulação e floculação, aplicado para águas residuais industriais de lavanderia, combinado com o processo de flotação por ar dissolvido (FAD), removendo determinados poluentes e, posteriormente utilizado tratamento complementares, como o filtro de areia, carvão ativado e ozonização para polimento, obtendo uma eficiência de 77% na DQO, cumprindo o limite estabelecido na legislação Italiana para descarga em águas de superfície (CIABATTI et al., 2009).

O processo de flotação, aplicado normalmente, para beneficiamento de minérios, tem provado ser muito eficiente em diversas áreas, principalmente no tratamento de efluentes industriais têxtil. Entre as vantagens do processo flotação por ar dissolvido (FAD), consiste a possibilidade de introduzir no líquido uma grande quantidade de ar, ser de fácil e eficiente operação, ocupar pouco espaço físico, gerar pequenas quantidades no volume de lodo e pode ser utilizado em pequena, média e grande escala (RUBIO, et al., 2002).

Os efluentes de lavanderias ao serem lançados em corpos hídricos, podem causar danos à biota aquática (BRAGA; VARESCHE, 2014). Assim, estes devem ser devidamente tratados, podendo ser utilizados para o consumo não potável na própria indústria, como lavagem de pisos, espelhos d' água e chafarizes e/ou no próprio processo industrial, através do reciclo, desde que não proporcione riscos à saúde dos usuários e tenha padrão de qualidade (BENAMI, 2016; CHAN, 2012). Para a reutilização da água, a mesma deve ser purificada a níveis aceitáveis para reúso, isenta de microrganismos, sendo que ensaios complementares sobre ecotoxicologia também devem ser realizados, buscando avaliar os efeitos causados pelo efluente (BERTOLETTI, 2013; FANGYUE et al., 2009).

### 1.1 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho justifica-se pelo avanço na pesquisa científica em relação aos dados de tratamento de efluentes originados em lavanderia, caracterizando, estimulando e ampliando subsídios para o melhoramento do reúso de águas de lavanderia, levando-se em conta a inovação e a modernização de processos tecnológicos, bem como a utilização de práticas operacionais sustentáveis.

Neste estudo foi abordado a análise do processo de purificação e reúso dos efluentes de uma lavanderia industrial em escala real, monitorado por um longo período de tempo, aproximadamente cinco anos, por meio do tratamento combinado de processos físicos e químicos, através da coagulação, floculação, flotação por ar dissolvido (FAD), filtros de areia e polimento com carvão ativado granular. Foi realizada a avaliação prévia da toxicidade aguda no efluente tratado, além da verificação da presença do microrganismo *Legionella* spp. no efluente bruto e tratado.

Dessa forma, este trabalho é considerado inovador, já que não existem estudos em escala real, pelo menos realizados em longos períodos de tempo, avaliando e monitorando efluentes em lavanderia industrial; bem como a presença de *Legionella* spp. nestes locais. A relevância da divulgação deste estudo se traduz em produzir resultados sobre as ações, como a reutilização de águas de lavanderia, nível de toxicidade e verificação do microrganismo *Legionella* spp. no efluente, que podem contribuir para inserção do segmento têxtil na perspectiva da ecoeficiência, sem comprometer o equilíbrio dos ecossistemas e respeitando as limitações dos recursos naturais.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o sistema de tratamento de uma lavanderia industrial, através da aplicação do processo de flotação por ar dissolvido combinado com filtro de areia e carvão ativado, visando o reaproveitamento como água de abastecimento não potável.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as águas residuárias de uma lavanderia industrial em termos de: vazão, temperatura, pH, DQO, sólidos suspensos, óleos e graxas minerais e surfactantes;
- Avaliar o tratamento de um efluente de lavanderia através de processo físico-químico de flotação, filtros de areia e CAG, para o seu reaproveitamento como não potáveis;
- Análise estatística da série de dados constituídos de temperatura, pH, DQO, sólidos suspensos, óleos e graxas minerais e surfactantes;
- Avaliação prévia da toxicidade aguda e a presença de *Legionella* spp. no efluente bruto e tratado, com a finalidade de reúso/reciclo.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

A água e sua importância são perceptíveis nas discussões das Organizações das Nações Unidas, dentro dos objetivos de desenvolvimento sustentável na atualidade. Não somente em termos de tratamento, mas também a sua interferência no cumprimento de metas sobre questões de saúde, educação e gênero para citar alguns (FROST, 2016).

Os desafios são globais, com repercussões no clima, o rápido crescimento populacional, associado com a urbanização e industrialização têm produzido impactos no ambiente (FATONEA et al., 2018). A escala e a magnitude dos problemas são bem compreendidas, por exemplo, a partir dos 1,8 bilhão de pessoas esperadas para residir em zonas com escassez de água nos próximos dez anos para a antecipação de que o estresse de água terá um impacto de até dois terços da população mundial em 2025 (UNITED NATIONS, 2007; WANG; ZIMMERMAN, 2016).

Nas economias emergentes, muitas comunidades ainda não têm escolha, a não ser usar água contaminada que, quando combinado com a falta de saneamento, torna-se um fator importante, que contribui para a mortalidade infantil por doenças diarreicas. Esta continua a ser responsável por quase um (1) em cada cinco (5) mortes na infância, particularmente na África e Sul da Ásia, que representam coletivamente 80% desta mortalidade (WHO; UNICEF, 2009).

Além disso, devemos viver dentro de ambas as nossas possibilidades e do planeta, necessitando de uma releitura de como valorizamos a água. Pesquisas para o desenvolvimento de sistemas que buscam soluções alternativas para o aumento da oferta de água ou utilização das águas de chuva, diminuam o desperdício, perdas e reúso. Para alcançar este propósito, a tecnologia precisa ser mais inteligente, adaptável, necessitando pleno acompanhamento, modelagem e utilização da informação disponível (FATONEA et al., 2018).

Segundo Collins et al. (2009), os sistemas convencionais atuais de abastecimento de água têm um desequilíbrio causado entre extração e recarga natural. Schewe et al. (2014) reportam que as alterações climáticas podem agravar substancialmente o problema da escassez de água, sendo estes limitantes de suprimento. Garrido-Barseba et al. (2012) afirmam que a acentuada preocupação com a escassez de água leva ao aumento significativo da reutilização de águas residuais, representando um desafio econômico e ecológico. Ainda, segundo Diaz et al. (2019) e Xujie Lu et al. (2010) nas últimas décadas, as águas residuais

evoluíram de um desperdício para um recurso valioso, atenuando os efeitos da escassez por meio da reutilização, fornecendo energia e nutrientes para compensar a extração destes recursos preciosos.

Basicamente existem duas alternativas industriais para produção de água que estão recebendo maior atenção e perspectiva, como a dessalinização e o reúso da água (LIU et al., 2012; PEREIRA et al., 2002). A escolha de reaproveitar a água leva a um aumento substancial na disponibilidade para o consumo, visto que reduz a captação, principalmente quando o reúso for efetuado pelas indústrias que mais utilizam deste recurso hídrico (SAXENA et al., 2017). As lavanderias industriais geram quantidades significativas de águas, estimado entre 10 litros a 15 litros por kg de têxteis processados (CHARALAMBOS; IOANNIS, 2014; CIABATTI et al., 2009; MAUCHAUFFEE; DENIEUL; COSTE, 2012; MOZIA et al., 2016).

### 3.2 LAVANDERIAS INDUSTRIAIS

O setor de prestação de serviços ampliou nos últimos anos, tornou-se peça fundamental no processo de crescimento global (RABELO, 2012). Para Rabelo (2012) um dos setores que entrou em ascensão é o de lavanderias, visto que o hábito de levar roupas para estes estabelecimentos estão cada vez mais comuns no Brasil, um crescimento de aproximadamente 25% conforme a Associação Nacional das Empresas de Lavanderia (ANEL). Segundo dados da ANEL, estima-se que no Brasil, existem atualmente 9.500 lavanderias, sendo 7.400 do segmento doméstico, que atendem ao consumidor final, e 2.100 do segmento industrial, sendo que aproximadamente 80% são pequenas empresas com até dez funcionários. Assim, o conceito de que somente roupas especiais são destinadas as lavanderias está diminuindo. Os serviços prestados, além de práticos, representam uma economia no orçamento doméstico, redução de uso de energia elétrica, além de minimizar o desperdício de água (AHER; PIMPLIKAR, 2012).

De modo geral, apresentam-se dois segmentos básicos: o industrial e o domiciliar. É classificada como industrial, uma lavanderia que atende a restaurantes, hotéis, motéis, *flats*, condomínios residenciais e uniformes industriais, e segmento domiciliar, a lavanderia que atende ao público em geral (FARIAS, 2006; RABELO, 2012).

No processo das lavanderias industriais preliminarmente tem a recepção das roupas, e posteriormente é finalizado com a expedição aos consumidores do serviço, com as peças limpas e características modificadas do tecido. Todo o procedimento envolve uma sequência

de tratamentos físicos e químicos, envolvendo principalmente como solvente a água. Nos processos são contemplados enxágues iniciais e intermediários, umectação, pré-lavagem, lavagem, amaciamento, desengomagem, secagem, centrifugação, passamento, embalagem, conserto de peças e acabamento (SOUZA et al., 2016). Nas operações, que necessitam de água, além dos processos físicos, são utilizados produtos químicos, ocasionando danos ambientais devido seus resíduos (ITABOBOHY; SILVA, 2006; PICCHIAI; FARIAS, 2013).

Charalambos e Ioannis (2014) e Mauchauffee e Denieul (2012), reportam a lavanderia industrial uma das maiores consumidoras de água, gerando quantidades significativas de efluente. Ciabatti et al. (2009), Mauchauffee et al. (2012) e Mozia et al. (2016), uma lavanderia utiliza em torno de 15 L de água para processar 1 kg de têxteis. O Sindicato Intermunicipal de lavanderias do estado de São Paulo (2011), estima um consumo de 10 L de água para 1 Kg de roupa lavada.

Conforme Buss et al. (2015), grande parte do problema ambiental nos efluentes de lavanderias é decorrente dos insumos químicos que são empregados nos processos de lavagem, principalmente os detergentes.

### 3.3 CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DE LAVANDERIAS

O tratamento dos efluentes de lavanderias é particularmente difícil, motivado pelo elevado teor de surfactantes presentes, em conjunto com as cargas orgânicas e inorgânicas elevadas advindas da sujeira de lavagem (CIABATTI et al., 2009). Para Braga e Varesche (2014), as descargas que contém surfactantes podem causar alterações graves na biota, devido a alteração na tensão superficial da água. Sostar-Turk et al. (2005) relatam que águas residuais de lavanderias onde itens muito sujos estão sendo lavados contém óleos minerais, metais pesados e substâncias perigosas, apresentando DQO na ordem de 1.200 a 20.000 mgL<sup>-1</sup>; enquanto que as lavanderias dos hospitais que contém gordura, restos de alimentos, sangue e urina que têm valores de DQO entre 400 a 1200 mgL<sup>-1</sup>. Lavanderias com itens de casas e hotéis, poluem a água com valores de DQO de 600 a 2500 mgL<sup>-1</sup>. Segundo Boyjoo et al. (2013), os efluentes provenientes das lavanderias domésticas, apresentam parâmetros físicos, condutividade elétrica, turbidez e sólidos suspensos, cujos valores estão no intervalo de 190 - 3000  $\mu\text{Scm}^{-1}$ , 19-444 NTU e 35-315mgL<sup>-1</sup>, respectivamente.

Numericamente, os teores dos parâmetros nos efluentes de lavanderias podem oscilar bastante. Pesquisas apresentam valores distintos, como é mostrado na Tabela 1, onde estão caracterizadas águas de lavanderias residenciais (**R**) e industriais (**I**), segundo pesquisas em

diferentes países. Características dos efluentes de lavanderias residenciais e industriais estão diretamente relacionados com os componentes que estão sendo lavados, com alta ou baixa carga de poluentes, ou seja, quando itens muito sujos estão sendo lavados, podem conter óleos minerais, gordura, metais pesados, sangue, urina e substâncias perigosas, bem como os produtos químicos que são utilizados no processo de limpeza, variando com as condições e hábitos de cada país, influenciando diretamente na qualidade do efluente líquido final e ampla variação nos parâmetros conforme podemos observar na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização das águas, efluentes de lavanderias.

| Parâmetros                  | U N                  | Austrália<br>(Christova -<br>Boal et al.<br>1996) <b>R</b> | Itália<br>(Ciabattiet al.<br>2009) <b>I</b> | Eslovênia<br>(Sostar-Turk et<br>al.2005) <b>I</b> | Omã (Prathapar<br>et al. 2005) <b>R</b> | Brasil<br>(Gonçalves et<br>al. 2006) <b>R</b> | Brasil (Buss et<br>al. 2015) <b>I</b> | Brasil<br>(Rampelotto,<br>2014) <b>R</b> |
|-----------------------------|----------------------|--|---|---|---|---|---------------------------------------|--|
| Condutividade elétrica (CE) | $\mu\text{Scm}^{-1}$ | 190 – 1400   | 1300 - 3000                                 | -   | -                                       | -   |                                       | 92 – 830                                 |
| Cor aparente                | uC                   | -  | -   | -   | -                                       | -   |                                       | 131 – 201                                |
| Cor verdadeira (real)       | uC                   | -  | -   | -   | -                                       | -   |                                       | 64 – 550                                 |
| Sólidos totais              | $\text{mgL}^{-1}$    | -  | -   | -   | -                                       | -   |                                       | 83 – 1054                                |
| Sólidos suspensos           | $\text{mgL}^{-1}$    | 88-250   | 90 - 200                                    | 35  | 315                                     | 53  | 16 -130                               | 7 – 170                                  |
| Sólidos dissolvidos         | $\text{mgL}^{-1}$    | -  | -   | -   | -                                       | -   |                                       | 46 – 993                                 |
| Sólidos sedimentáveis       | $\text{mgL}^{-1}$    | -  | -   | -   | -                                       | -   | 1,6 – 7,0                             | 0,1 – 3                                  |
| Temperatura                 | $^{\circ}\text{C}$   | -  | -   | 62  | -                                       | -   |                                       | 21 – 32                                  |
| Turbidez                    | NTU                  | 50-210   | 40 - 150                                    |   | 444                                     | -   |                                       | 20 – 198                                 |
| DQO                         | $\text{mgL}^{-1}$    | -  | 400 - 1000                                  | 280   | 231,3                                   | 521   | 179,4 – 1046,5                        | 187 – 823                                |
| DBO <sub>5</sub>            | $\text{mgL}^{-1}$    | 48-290   | -   | 195   | 179,7                                   | 184   |                                       | 32 – 262                                 |
| pH                          |                      | 9,3-10   | 7-9   | 9,6   | 8,3                                     | 9,1   |                                       | 5,5 – 9,9                                |
| Surfactantes                | $\text{mg L}^{-1}$   | -  | 0,01- 25                                    | 10,1  | 118,3                                   | -   | 13,3 - 63,0                           | 0,04 – 1,88                              |
| Coliformes totais           | Contagem/<br>100mL   | $2,3 \times 10^3$ a<br>$3,3 \times 10^5$                   | -   | -   | >200,<br>5                              | -   |                                       | ND a $9,6\text{E}^{+5}$                  |
| Coliformes termo tolerantes | Contagem/<br>100mL   | -  | -   | -   | >200,<br>5                              | -   |                                       | ND a $1,8\text{E}^{+5}$                  |

Legenda: **R** – Lavanderia residencial; **I** – Lavanderia industrial.

Fonte: Autor, 2020.

### 3.4 TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVANDERIAS

Diferentes métodos de tratamento são utilizados para purificar águas residuais na indústria de lavagem antes de ser descarregada. A complexidade do processo varia em função do local, e entre eles está o tamanho da instalação, volume de água utilizado, qualidade da água fornecida, produtos químicos consumidos, o tipo de material lavado pelos clientes, e as especificidades de requisitos nacionais e locais da legislação.

No tratamento dos efluentes de uma lavanderia, a escolha do processo deve combinar esforços de forma segura e econômica, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos. Os sistemas que incluem floculação, sedimentação e filtração são normalmente utilizados como uma fase de pré-tratamento antes do tratamento biológico, ou ainda como um pós-tratamento antes da desinfecção. O processo de tratamento físico-químico utilizando coagulação, floculação e flotação vêm recebendo maior atenção, especialmente os que empregam na sequência filtração com areia e adsorção por carvão ativado granulado (CAG) no uso do tratamento dos efluentes de lavanderia (BOYJOO et al., 2013; CIABATTI et al., 2009; FRIEDLER et al., 2008; PIDOU et al., 2008; SOSTAR-TURK et al., 2005).

A Figura 1 esquematiza, de uma maneira geral, os principais métodos de tratamento de efluentes industriais.

Figura 1 – Principais métodos de tratamento de efluentes industriais.



Legenda: POA – Processos oxidativos avançados.  
Fonte: Adaptado de Freire, 2000.

Para Telles e Costa (2010), as etapas do tratamento decorrem da água efluente e pode abranger diferentes fases, faz necessário definir a finalidade de utilização e aplicar o método compatibilizando as tecnologias para produção da água desejada. Aspecto fundamental a conhecer para aplicação da tecnologia de tratamento é a caracterização da água a ser tratada,

normatizado através da NBR 12.216 NB 592 (ABNT, 1992), referente a elaboração do projeto da Estação de Tratamento de Água (ETA); Di Bernardo (2003) esclarece que devem ser monitoradas pelo período mínimo de um ano, sendo o ideal por mais de cinco anos para definir o processo a ser implantado.

Normalmente, os processos de tratamento de efluentes líquidos têm como base atender o dimensionamento exigido nas normas e atender aos padrões de emissão em corpos hídricos (BASTIAN et al., 2009). Os métodos e barreiras para atingir o padrão desejado são diversos, usualmente subdivide-se em etapas, de acordo com o nível de tratamento desejado. Segundo Braga e Varesche (2014), a avaliação do método de tratamento adequado deve-se ter por base no conhecimento das características específicas de águas residuais. A composição dos efluentes industriais é variável, tornando-se imprescindível as associações de diversos níveis de tratamento para atingir efluentes com as qualidades requeridas pelos padrões de lançamento.

Alguns aspectos devem ser observados na delimitação do processo de tratamento, considerando fatores como: custos investimento e operacionais, produtos químicos, mão de obra especializada, manutenção, controle analítico e geração de resíduos, área disponível, clima, legislação, a classe do corpo receptor, assistência técnica e controle da operação (NAWAZ; AHSAN, 2014).

Os autores Braile e Cavalcanti (1993) consideram que os métodos de tratamento de efluentes industriais predominantes dividem-se em tratamento preliminar, primário, secundário e tratamento terciário conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Métodos de tratamento de efluentes industriais predominantes.

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Tratamento preliminar | Etapa em que são removidos os sólidos grosseiros e inertes, que possam danificar equipamentos posteriores no processo. Usualmente, nesta etapa do processo são empregadas grades e peneiras.   |
| Tratamento primário   | Fase do processo onde ocorre a remoção de parcela dos sólidos suspensos e matéria orgânica utilizando agentes químicos (coagulação/floculação) seguida de uma etapa de separação sólido/líquido, que pode ser realizado por sedimentação, flotação ou filtração.           |
| Tratamento secundário | Consiste na remoção da matéria orgânica restante por processos biológico. Neste pode ser contemplado a remoção de carga orgânica, fósforo, nitrogênio e outros poluentes.  |
| Tratamento terciário  | Nesta etapa é feito a remoção de sólidos suspensos ou solúveis que por ventura restam no tratamento biológico. Os tratamentos complementares podem ser feitos por adsorção, membranas, ozonização, entre outros. É comum nesta fase a desinfecção e remoção de nutrientes. |

Fonte: Autor, 2020.

Para Ciabatti et al. (2009), um dos tratamentos mais utilizados em lavanderias industriais consiste em coagulação e de floculação, seguida de flotação por ar dissolvido (FAD). A coagulação é um método bem conhecido, que por adição de uma substância química como  $Al^{+3}$  e  $Fe^{+3}$  ou polímeros orgânicos. Nesse processo, partículas muito pequenas são desestabilizadas por coagulantes e agregadas para que possam decantar ou flutuar. A utilização da flotação na sequência permite separar os flocos do líquido, como sistema de separação sólido/líquido, a FAD é preferida quando os coágulos são leves (RUBIO et al., 2002).

Segundo Nascimento (2014), pelas características do processo de FAD, eventualmente uma pequena quantidade de flocos são levados junto com a água do processo, necessitando filtro de areia para reter, e na sequência filtro de carvão ativado, para redução, principalmente dos tensoativos. A adsorção utilizando carvão ativado granulado foi relatada por Ciabatti et al. (2009), Rampelotto (2014), e Sostar-Turk et al. (2005), que verificaram significativas reduções dos parâmetros, por exemplo nos tensoativos.

### 3.5 REÚSO DE ÁGUAS NAS INDÚSTRIAS

A implementação de concepção da reutilização tornou-se uma questão operacional e ambiental importante no setor industrial, sendo uma ferramenta eficaz no desenvolvimento

industrial sustentável (HOINKIS; PANTEN, 2008). O reaproveitamento de efluentes após seu tratamento, para fins não potáveis tem se mostrado uma alternativa viável. Usualmente o tratamento de efluente convencional tem como objetivo atender aos padrões previstos na legislação, já a motivação para o reúso está na redução de custos e assegurar o abastecimento de água.

Definida a especificação da qualidade da água ser reutilizada, há necessidade de compatibilizar a vazão a ser reutilizada com a vazão do efluente tratado. Na maioria das vezes ao implantar um sistema de reúso, complementa-se o sistema de tratamento de efluentes existente. A complementação do tratamento tem como objetivo garantir a qualidade do efluente tratado com a do uso a que estiver destinado (CONAMA 430, 2011).

Conhecendo as características das águas residuais, torna-se possível estabelecer parâmetros que satisfaçam os critérios recomendados ou os padrões que tenham sido fixados para determinado uso. As destinações da água de reúso não potável são bem abrangentes se devidamente tratadas. O manual de reúso da água da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2012) cita algumas das aplicações da água reciclada:

**Irrigação paisagística:** Parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de autoestrada, campus universitários, cinturões verdes, gramados residenciais.

**Irrigação de campos para cultivos:** Plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, proteção contra geadas.

**Usos industriais:** Refrigeração, alimentação de caldeiras, água de processamento.

**Recarga de aquíferos:** Recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha, controle de recalques de subsolo.

**Usos urbanos não-potáveis:** Irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas e pontos de ônibus.

**Finalidades ambientais:** Aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas, indústrias de pesca.

**Usos diversos:** Aquicultura, construções, controle de poeira, dessedentação de animais.

O reúso pode se tornar cada vez mais viável dependendo da qualidade necessária da água. Por exemplo, como alternativa em indústrias conforme as necessidades específicas, como solução na redução da demanda de água potável, conseqüentemente a demanda dos mananciais e de tratamento de água, além de minimizar a emissão de efluente no meio ambiente (XUJIE et al., 2010).

Segundo Hoinkis e Panten (2008), as lavanderias industriais, por emitir volumes expressivos de efluentes, podem ser consideradas potenciais de utilização da água de reúso. Portanto, não só o tratamento das águas residuais geradas nas lavanderias industriais, mas também a reciclagem da água possui um interesse especial (DEOWAN et al., 2015; HOINKIS; PANTEN, 2008).

Um número reduzido de pesquisas tem abordado o tema de reúso em lavanderias industriais. Foi desenvolvido por Sostar-Turk et al. (2005), através de métodos convencionais de coagulação/floculação, sedimentação e filtração e os resultados não são suficientemente eficientes para remover os contaminantes presentes nas águas residuais de lavanderia. A qualidade do efluente tratado foi considerada demasiadamente baixa para reutilização. A agregação de coagulação/floculação com outras técnicas, como adsorção em carvão ativado (SOSTAR-TURK et al., 2005) ou microfiltração (MF)/Ultra-filtração (UF) (SHANG et al., 2015; SOSTAR-TURK et al., 2005) também não deram resultados satisfatórios. Sostar-Turk et al. (2005) relataram que não foi eficiente na remoção de surfactante. Todos os parâmetros medidos estavam nos limites de emissão para a água a legislação local; contudo, a qualidade do produto não era suficientemente alta para reciclo na lavanderia (SOSTAR-TURK et al., 2005).

Configurações mais avançadas de tratamento foram propostas, levando em consideração a baixa eficiência dos sistemas de tratamento simples. Uma abordagem é a aplicação de biorreatores de membrana (HOINKIS et al., 2012; HOINKIS; PANTEN, 2008). Segundo Hoinkis et al. (2012), indicaram quando apenas é necessária uma qualidade de água baixa ou média, o efluente de MBR pode ser reutilizado diretamente como água de processo (por exemplo, para fins de lavagem). Contudo, no caso de requisitos mais rigorosos relativamente à qualidade da água reciclada, é necessário um pós-tratamento adicional, como nanofiltração ou osmose inversa.

Um sistema deste tipo composto pela unidade membranas, equipada com membranas microfiltração e tratamento posterior de osmose inversa foi aplicado numa lavanderia comercial na Alemanha, onde parte do efluente foi pós-tratado foi utilizado para enxagues (HOINKIS et al., 2012).

Outra solução proposta por Ciabatti et al. (2009) foi uma planta protótipo composta de (i) pré-tratamento físico-químico (coagulação, floculação e flotação de ar dissolvido (FAD)), (ii) filtração de areia, (iii) ozonização, filtração com carvão ativado granular e ultrafiltração. O produto final, isto é, o permeado de ultrafiltração, poderia ser possivelmente utilizado em

alguns processos de lavagem de têxteis domésticos, embora o enxague final fosse realizado com água primária.

### 3.6 REGULAMENTAÇÃO

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) edita normas, denominadas Resoluções, as quais tem força de lei. A Resolução CONAMA número 20 de 1986 que regia o enquadramento sobre a classificação dos corpos d' água e diretrizes ambientais estabelecia as condições e padrões de lançamento de efluentes. Essa resolução foi revisada, e sua aprovação foi publicada em 2005, a nova resolução número 357, que revogou integralmente a primeira. Alterada pela resolução 410/2009 e pela resolução 430/2011, atualmente em vigor, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e outras providências. A resolução CONAMA número 237, de 19 de dezembro de 1997, dispõe sobre licenciamento ambiental, competência da União, Estados e Municípios, apresenta uma listagem de atividades sujeitas ao licenciamento, estudos ambientais, estudo de impacto ambiental e relatório de impacto ambiental.

No estado do Rio Grande do Sul, os efluentes líquidos industriais, após seu tratamento, devem atender aos os critérios e padrões de emissão para as fontes geradoras que lancem seus efluentes conforme disposto pela resolução CONSEMA nº 355/2017, 13 de julho de 2017. Esta resolução dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes que lancem seus efluentes em águas superficiais no estado. Esta mesma resolução, 355/2017, revogou as resoluções CONSEMA 128/2006, 286/2014 e 317/2016.

No Brasil, em 1997 foi concebida a primeira normalização que tratou de reúso, a norma técnica NBR-13.969, setembro de 1997. Na norma, o reúso é abordado como uma opção à destinação de esgotos de origem essencialmente doméstica ou com características similares. Quatro classes de água de reúso e seus respectivos padrões de qualidade foram definidos na norma e são apresentados no Quadro 2. A regulamentação que estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal está definida nas resoluções CNRH 54, de 28 de novembro de 2005, e número 121, de 16 de dezembro de 2010.

Quadro 2 – Classe de água de reúso pela NBR-13.969 e padrões de qualidade.

| Água de Reúso | Aplicação   | Padrões de Qualidade/Nível tratamento  |
|---------------|---|--|
| Classe 1      | Lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário com usuário.   | Turbidez < 5 uT<br>Coliformes termo tolerantes < 200NMP/100 mL<br>Sólidos dissolvidos totais < 200 mgL <sup>-1</sup><br>pH entre 6 e 8<br>Cloro residual entre 0,5 mgL <sup>-1</sup> a 1,5 mgL <sup>-1</sup> .<br>Tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido por filtração convencional (areia e carvão ativado) e, finalmente, cloração. |
| Classe 2      | Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, exceto chafarizes.                                     | Turbidez < 5 uT<br>Coliformes termo tolerantes < 500NMP/100 mL<br>Cloro residual superior 0,5 mgL <sup>-1</sup><br>Tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido de filtração de areia e desinfecção.  |
| Classe 3      | Descargas em Vasos Sanitários   | Turbidez < 10 uT<br>Coliformes termo tolerantes < 500NMP/100 mL<br>Necessário apenas uma cloração, em geral tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção.   |
| Classe 4      | Irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagem para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual | Coliformes termo tolerantes < 5000NMP/100 mL<br>Oxigênio dissolvido > 2,0 mgL <sup>-1</sup>  |

Fonte: NBR-13.969, 1997.

A legislação municipal para lavanderias industriais no município de Santa Cruz do Sul, RS, utiliza os parâmetros recomendados pela resolução estadual do CONSEMA 355/2017. Os parâmetros encontram-se na Tabela 2, recomendada na licença de operação 036/2015 com validade até 11/03/2019, e na licença de operação número 080/2019, com validade até 17/07/2024, emitida pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Saneamento e Sustentabilidade de Santa Cruz do Sul (SMMASS). Segundo Porto e Schoenhals (2013), os critérios indicados para o reúso devem ter por base principalmente a proteção à saúde pública e ao meio ambiente. No Brasil, não existe legislação específica com parâmetros e critérios definidos para reúso de lavanderias industriais.

Tabela 2 - Padrão de emissão para lançamento em corpos hídricos, para empreendimento proposto no estudo.

| Variável   | Resoluções CONSEMA |            |
|--|--------------------|------------|
|  | 128/2006           | 355/2017   |
| Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )                       | $\leq 40$          | $\leq 40$  |
| Ph   | 6 a 9              | 6 a 9      |
| DBO <sub>5</sub> ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ )         | $\leq 180$         | $\leq 120$ |
| DQO ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ )                      | $\leq 400$         | $\leq 330$ |
| Sólidos Suspensos totais ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ ) | $\leq 180$         | $\leq 140$ |
| Óleos e Graxas ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ )           | $\leq 10$          | $\leq 10$  |
| Tensoativos ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ )              | $\leq 2$           | $\leq 2$   |

Fonte: Autor, 2020.

### 3.7 TOXICIDADE

A utilização de técnicas de mitigação de impactos ambientais aos ecossistemas cresceu consideravelmente nos últimos anos, tendo em vista o aumento da influência exercida pela legislação sobre as empresas, bem como a redução de investimento para o seu emprego (QUEIROZ et al., 2016). Entretanto, observam-se dificuldades para garantir a efetiva descontaminação das águas residuais, já que algumas apresentam alta concentração de compostos recalcitrantes. Trata-se de substâncias refratárias que tem efeito acumulativo nos organismos, podendo atingir concentrações superiores ao limite de tolerância biológica, ocasionando a morte de diversas espécies (MANENTI et al., 2015). A utilização apenas de análises químicas e físicas não possibilita a avaliação completa do potencial de risco ambiental de todos os contaminantes, sendo essencial a realização de testes de toxicidade (COSTA et al., 2008).

Os testes de ecotoxicidade permitem analisar o grau de toxicidade nos principais efluentes industriais, domésticos, agrícolas e produtos químicos, avaliando as consequências de seus efeitos sinérgicos e antagônicos (LOMBARDI, 2004; MARSCHNER, 1999). Os ensaios de toxicidade aguda com uma amostra de efluente possibilitam a percepção de efeitos de substâncias tóxicas novas que possam surgir no ecossistema aquático, mesmo quando expostos por um curto período de tempo (ARENZON et al., 2011). No Brasil, a resolução CONAMA n° 430 de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, foi a primeira a considerar os ensaios toxicológicos. Esta ferramenta torna-se de substancial importância na busca por generalizações sobre o grau de toxicidade em vários tipos de efluentes líquidos, bem como na determinação da influência

direta dos elementos vindos das atividades antrópicas e/ou naturais (ZAGATTO; GHERARDI-GOLDSTEIN, 1991). Além disso, detectam a capacidade inerente de um agente tóxico ou de uma mistura para produzir efeitos deletérios nos organismos vivos, permitindo avaliar em que medida as substâncias são nocivas, como e onde manifestam seus efeitos. Em resumo, os procedimentos ecotoxicológicos tradicionais têm maior preocupação em caracterizar os efeitos adversos causados por uma amostra tóxica, sem a preocupação de identificar os agentes tóxicos isoladamente (MAGALHAES; FERRÃO FILHO, 2008).

No caso de efluentes líquidos, a avaliação é pertinente, visto que esses despejos são constituídos por diversos agentes químicos, lançados continuamente nos recursos hídricos (BERTOLETTI, 2013). O processo de análise científico para avaliar o risco que um efluente impõe ao ambiente aquático é considerado, inicialmente, por sua ecotoxicidade e diluição no corpo de água. Desse modo, o processo de julgamento baseia-se no conhecimento do efluente como um todo, ao invés dos agentes químicos isolados presentes na sua composição (BERTOLETTI, 2013).

A utilização de bioindicadores permite determinar a concentração dos poluentes, padrão de contaminação e biodisponibilidade, sendo os peixes os mais usados para realização destes testes. Espécies do gênero *Cyprinus carpio* (carpa capim), são as mais utilizadas como bioindicadores em experimentos de ecotoxicologia, por serem as prevalentes na região do Rio Grande do Sul. Ainda, são resistentes e se adaptam facilmente a ambientes inóspitos (FERREIRA, 2015; MPA, 2014).

### 3.8 *Legionella* spp.

Os efluentes de lavanderias para serem reutilizados, devem ser purificados a níveis aceitáveis para reuso, estarem isentos de microrganismos, evitando prejuízos para a saúde. Os usuários de águas de reuso deve ter a segurança no padrão de qualidade para sua reutilização, sendo que segundo Fangyue Li et al. (2009), a água deve ser isenta de microrganismos, fazendo-se necessário a desinfecção para satisfazer os requisitos microbiológicos (BERTOLETTI, 2013; FANGYUE et al., 2009).

A bactéria do gênero *Legionella* spp. pode ser encontrada em ambientes aquáticos naturais e artificiais, incluindo mananciais, viveiros de peixes, sistemas domésticos de água potável, prédios e hospitais, fontes decorativas, equipamentos industriais, sistemas de água quente e fria, sistemas de encanamento doméstico e torres de resfriamento, frequentemente associada a infecção de ambientes climatizados (CORREIA et al., 2016; JOMEHZADEH et

al., 2019). É considerado um microrganismo oportunista, que pode causar pneumonia em pessoas com o sistema imune debilitado, responsável também pela legionelose, doença que ocorre devido a inalação ou aspiração de aerossóis contendo o microrganismo. Os surtos geralmente estão associados à água contaminada, já que este microrganismo é capaz de sobreviver em condições ambientais variadas (CDC, 2019; GARRISON et al., 2016; JOMEHZADEH et al., 2019). Desta forma, é de extrema importância monitorar a presença de *Legionella* spp. nestes locais incidentes, através de métodos genotípicos e fenotípicos, auxiliando na prevenção da saúde para os usuários da água de reúso.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

A metodologia utilizada na pesquisa foi a técnica do método misto. De acordo com Creswell (2007) trata-se de uma pesquisa experimental, quantitativa e qualitativa, empregando estratégia de investigação que envolve coleta de dados simultânea ou sequencial.

A pesquisa compreendeu três etapas:

- Caracterização dos parâmetros das águas segregadas dos equipamentos de uma lavanderia industrial;
- Avaliação do desempenho do processo de tratamento por flotação, filtros de areia e carvão ativado das águas provenientes da lavanderia industrial e seu possível reúso para fins não potáveis;
- Avaliação prévia da toxicidade aguda e a presença de *Legionella* spp. no efluente bruto e tratado.

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA LAVANDERIA INDUSTRIAL

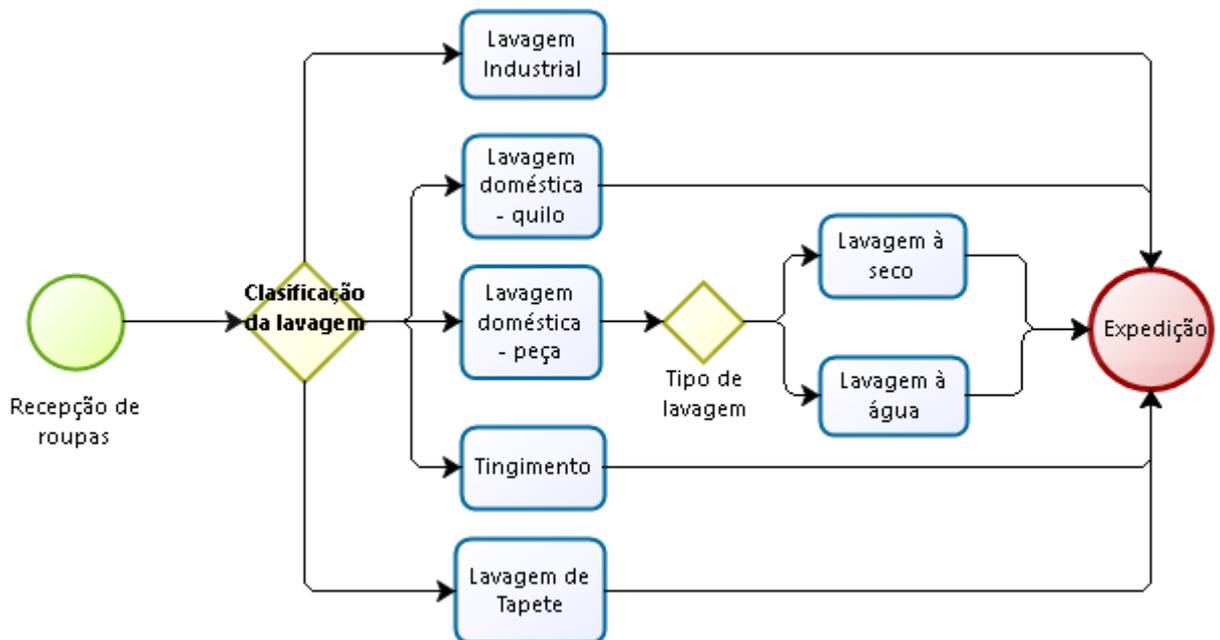
A lavanderia industrial onde foi realizado esse estudo está localizada em Santa Cruz do Sul, RS, denominada, ECOLAV – Lavanderia e Comercio de Confecções Ltda., uma lavanderia industrial de pequeno porte, um estabelecimento que atua no ramo de lavagem de roupas domésticas e industriais, desde 2005, tendo como principais clientes pessoas físicas, hotéis, clínicas médicas e geriátricas, restaurantes, empresas metalúrgicas, entre outros. Possui alto potencial poluidor, atividade de impacto local de acordo com o disposto na resolução CONSEMA número 372/2018, classificação expressa na Licença de Operação, emitida através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Saneamento e Sustentabilidade, órgão responsável pelo licenciamento ambiental do empreendimento.

Os equipamentos utilizados para operação de limpeza são máquinas de tambor. A capacidade de processamento mensal é de 3000 kg de peças, consumindo um total mensal de 500m<sup>3</sup>/mês. Para essa operação é utilizado água fria e quente, essa água é aquecida através de uma caldeira até 80°C; sendo os procedimentos de lavagem mais comuns desengomagem, desbotamento, estonagem, e amaciamento entre outros, gerando efluentes em um volume máximo de 500m<sup>3</sup>/mês, e devem ser tratados antes de serem lançados nos mananciais hídricos. Através dos procedimentos de lavagem comuns no ramo, como, desengomagem,

desbotamento, estonagem, e amaciamento entre outros, geram efluentes que devem ser tratados antes de serem lançados nos mananciais.

Na etapa de lavagem os principais produtos utilizados contém tensoativos como espessante, coadjuvante, conservante, umectante, corantes, agentes sequestrantes, suspensivos, dispersantes, complexantes, branqueador óptico, mistura de hidrocarbonetos aromáticos, resinas emulsionadas, bactericidas, fungicidas, hidróxido de sódio, hipoclorito de sódio e outros. A Figura 2 demonstra um fluxograma simplificado do processo produtivo da lavanderia, e a Tabela 3 mostra a estimativa de insumos utilizados no processo de lavagem.

Figura 2 - Fluxograma simplificado da lavanderia em estudo.



Fonte: Lavanderia ECOLAV, 2016.

Tabela 3 – Estimativa de insumos utilizada no processamento de lavagem no mês.

| <b>Insumo/nome comercial</b>                              | <b>Composição</b>   | <b>Quantidade utilizada/unidade</b> |
|---|---|-------------------------------------|
| Detergente neutro concentrado                             | Tensoativos Aniônicos (Dodecil Benzeno Sulfonato de Sódio e Lauril Éter Sulfato de Sódio), Espessante, Alcalinizante (Hidróxido de Sódio), Coadjuvante, Conservante, Umectante, Corantes. | 100 kg                              |
| Sabão em pó concentrado<br>CLARIT 7000                    | Tensoativos aniônicos, não iônicos, agentes sequestrantes, suspensivos, dispersantes, coadjuvantes, complexantes, alcalinizantes, branqueador óptico e corante                            | 50 kg                               |
| Desengraxante<br>TEXSPAR DEGREASE                         | Mistura de hidrocarbonetos aromáticos e tensoativos não iônicos   | 10 kg                               |
| Goma líquida GMI-TR ou Inibidor para transferência de cor | Mistura sinérgica de resinas emulsionadas e com elevada solubilidade em água.   | 5 litros                            |
| Detergente para tênis – DT TÊNIS                          | Mistura sinérgica de tensoativos aniônicos, alcalinizantes, desengraxantes de efetividade e biocida.  | 5 litros                            |
| Detergente para couro – DT CR                             | Tensoativos não iônicos, umectantes e amaciantes naturais   | 5 litros                            |
| Capturador de odores - CAPT DM<br>COMFORT                 | Bactericidas/Fungicidas, catiônicos de elevada efetividade, óleos essenciais e tensoativos umectantes.  | 10 litros                           |
| Hipoclorito de sódio                                      | hipoclorito de sódio (NaClO) mínimo 11%, hidróxido de sódio (NaOH) máximo 1,5%;   | 150 kg                              |
| Peróxido de hidrogênio                                    | Peróxido de hidrogênio, solução aquosa 50%; 200 volumes.  | 100 kg                              |
| Metabissulfito de sódio                                   | Metabissulfito de sódio/pirossulfito de sódio, Dióxido de enxofre, cloreto de sódio e ferro.  | 20 kg                               |

| <b>Insumo/nome comercial</b>                       | <b>Composição</b>  | <b>Quantidade utilizada/unidade</b> |
|--|--|-------------------------------------|
| Sabão de glicerina em barra                        | Óleo vegetal, carbonato de sódio, cloreto de sódio, gordura animal, palmiste, branqueador óptico, alcalinizante(hidróxido de sódio), álcool, sorbitol, glicerina bidestilada, sacarose, fragrância e água. | 10 kg                               |
| Corante sulfuroso / Marinho Sulfuroso 4 RT-VLDS AC | Sal, Álcalis, agentes oxidantes, agentes redutores e corantes  | 5 kg                                |
| Cloreto de sódio                                   | Cloreto de sódio   | 5 kg                                |
| Redutor/estabilizador para tingimento – TEXPAL ULL | Composição sinérgica de compostos redutores em solução de elevada concentração.  | 3 kg                                |
| Soda cáustica escamada                             | Hidróxido de sódio   | 2 kg                                |

Fonte: Lavanderia ECOLAV, 2020. Uma descrição completa dos insumos como composição química, peso molecular, entre outras, não foi apresentada em função do sigilo industrial alegado pelos fabricantes.

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS E EQUIPAMENTOS DA LAVANDERIA

#### 4.3.1 Características da água bruta

O abastecimento de água bruta da lavanderia é feito através de um poço tubular profundo com características potáveis. O consumo de água bruta é de  $20\text{m}^3\text{dia}^{-1}$ , controlada através de equipamento de medição (hidrômetro) na saída do manancial, produção de 25 dias  $\times$   $\text{mês}^{-1}$ , totalizando  $500\text{m}^3\text{mês}^{-1}$ . Após, o processamento a água de lavagem segue para o tanque de equalização, o efluente é bombeado até a unidade de coagulação/floculação/flotação. Neste percurso a vazão é controlada pela leitura no medidor tipo rotâmetro, montado em linha. A leitura da vazão foi realizada diariamente, efetuada por funcionário e estima-se que o volume seja próximo ao de consumo de água bruta.

#### 4.3.2 Caracterização qualitativa dos efluentes

Para a caracterização qualitativa dos efluentes foi realizado o monitoramento através da central analítica do Laboratório de Análises Ambientais da Universidade de Santa Cruz (UNISC), Santa Cruz do Sul, RS. As análises foram realizadas em dois pontos de monitoramento, durante o período aproximadamente cinco anos (07/05/ 2015 a 16/10/19). O efluente bruto, passa pelas grades de retenção dos sólidos maiores e é conduzido para um tanque de equalização, onde se encontra a mistura dos efluentes de todos os equipamentos da lavanderia. Já o efluente tratado, foi coletado após passar pelo tratamento completo, por flotação, filtro de areia e carvão ativado granular.

Foram avaliados os parâmetros temperatura, sólidos suspensos, óleos e graxas, demanda química de oxigênio (DQO), pH, surfactantes, os quais são previstos pela resolução CONSEMA número 128/2006, detalhado na licença de operação número 036/2015 - Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Saneamento e Sustentabilidade (SMMASS). Os efluentes líquidos industriais, após tratamento, devem atender padrões de emissão em corpos hídricos conforme a Tabela 4. Na Tabela 5 encontra-se a metodologia empregada nas análises destes parâmetros, que teve como orientação o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2015).

Tabela 4 - Padrão de emissão para lançamento em corpos hídricos.

| <b>Parâmetro</b>         | <b>Padrão a ser atendido</b>                   | <b>Frequência de medição</b> | <b>Amostragem</b> |
|--------------------------|--|------------------------------|-------------------|
| <b>Temperatura</b>       | Inferior a 40 °C                               | Diária                       | Simple            |
| <b>pH</b>                | Entre 6 e 9                                    | Diária                       | Simple            |
| <b>Vazão</b>             | Inferior a 120m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> | Diária                       | Composta          |
| <b>DBO<sub>5</sub></b>   | Até 120 mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>       | Semestral                    | Composta          |
| <b>DQO</b>               | Até 330 mgL <sup>-1</sup>                      | Mensal                       | Composta          |
| <b>Sólidos Suspensos</b> | Até 140 mgL <sup>-1</sup>                      | Semestral                    | Composta          |
| <b>Óleos e Graxas</b>    | Até 10 mgL <sup>-1</sup>                       | Mensal                       | Composta          |
| <b>Tensoativos</b>       | Até 2 mgL <sup>-1</sup>                        | Mensal                       | Composta          |

Fonte: Resolução CONSEMA 355/2017.

Tabela 5 – Resumo metodológico das análises de parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

| <b>Parâmetro</b>                                   | <b>Limite de Detecção</b> | <b>Métodos</b>   | <b>Referência</b>     |
|--|---------------------------|--|-----------------------|
| <b>Temperatura (°C)</b>                            | 0,1                       | Thermometric   | 2550B                 |
| <b>pH</b>  | 0 a 14                    | Método eletrométrico   | 4500-H <sup>+</sup> B |
| <b>DQO(mgL<sup>-1</sup>)</b>                       |                           | Oxidação por dicromato de potássio em meio ácido reciclo fechado | 5220 D                |
| <b>Sólidos Suspensos Totais (mgL<sup>-1</sup>)</b> | 1                         | Gravimétrico   | 2540 B                |
| <b>Óleos e graxas totais (mgL<sup>-1</sup>)</b>    | 0,1                       | Gravimétrico/ extração por soxhlet                               | 5520 D                |
| <b>Surfactantes (mgL<sup>-1</sup>)</b>             | 0,1                       | Surfactante aniônico como MBAS                                   | 5540 C                |

Fonte: APHA et al., 2015.

Ainda, a licença de operação impõe condições e restrições quanto aos efluentes líquidos sanitários que devem ser convenientemente tratados e dispostos de acordo com a NBR – 7229 e NBR 13.969 da ABNT. A empresa não poderá lançar efluentes ou soluções químicas em corpo hídrico, solo ou rede pluvial sem o devido tratamento, conforme legislação CONAMA e CONSEMA, sendo que deverão ser armazenados para correta destinação e apresentar pedido de outorga para uso da água junto ao órgão Estadual e cadastro na secretaria municipal.

## 4.4 PROCESSO DE TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO, FILTROS DE AREIA E CARVÃO ATIVADO

### 4.4.1 Concepção do sistema de tratamento

O sistema de tratamento de efluentes empregado está baseado no processo de Flotação por Ar Dissolvido (FAD), em síntese, constitui da separação sólido/líquido baseado em fenômenos físico-químicos. O efluente passa pela grade e peneira, chegando ao tanque de equalização, deste é bombeado e é adicionado um reagente químico que age como coagulante e floculante das partículas em suspensão, formando flocos. Estes flocos, uma vez formados, entram em contato com uma corrente de água misturada com ar na forma de microbolhas, chamada de “reciclo”. Estas microbolhas provenientes do reciclo se aderem à superfície dos flocos, formando um conjunto bolhas + flocos com uma densidade menor do que a da água. Este conjunto, por ser menos denso, tende a subir à superfície da água, dentro do tanque de flotação. Uma vez na superfície, estes flocos formam uma espuma que é retirada pela ação do raspador de lodo. A água tratada, que sai pela parte inferior do tanque de flotação, segue sob pressão para a unidade de filtração com areia e carvão ativado, e após, encaminhada para o descarte ou reúso.

### 4.4.2 Processo de tratamento das águas

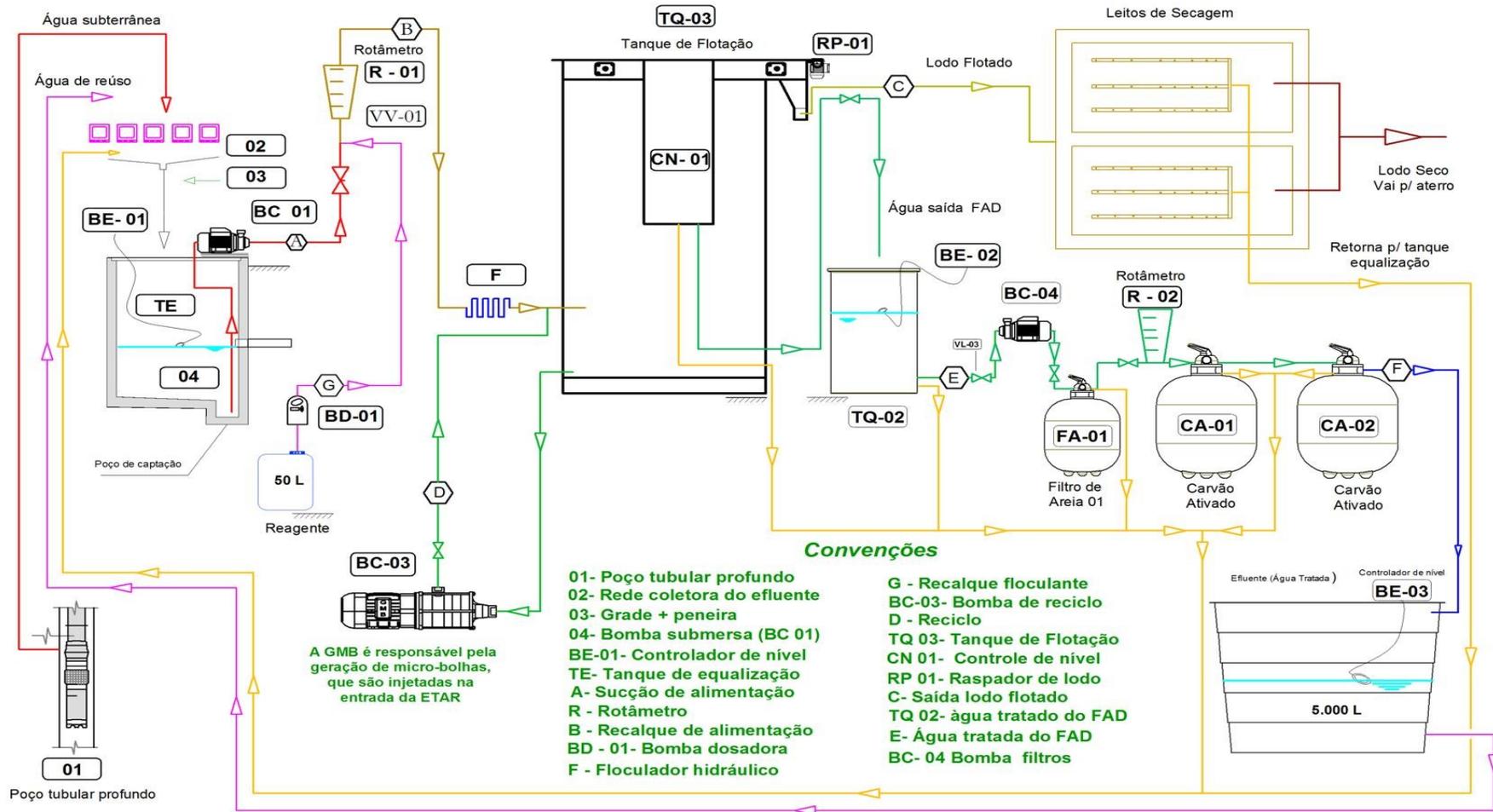
A Figura 3 apresenta o fluxograma genérico do processo ETEAR PHI-AQUAFLOT, processo destinado ao tratamento do efluente da lavanderia.

O sistema de tratamento de efluentes é constituído basicamente de:

- Grades;
- Peneira;
- Tanque de equalização com capacidade de 10m<sup>3</sup>;
- Sistema de recalque do efluente a partir do tanque de equalização;
- Medição de vazão, medidor de área variável (rotâmetro);
- Unidade de coagulação hidráulica, em PVC, para geração dos coágulos dos contaminantes;
- Unidade de floculação hidráulica, em PVC, para geração de flocos;

- Unidade de flotação por ar dissolvido, dotada de câmara de flotação com raspador mecânico de lodo e unidade de controle de nível;
- Leitões de secagem do lodo;
- Sistema de reciclo e despressurização, contando com sistema gerador de microbolhas e sistema de distribuição de fluxo;
- Sistema de armazenagem e dosagem de reagente químico orgânico natural;
- Medição de vazão por medidor de área variável (rotâmetro);
- Unidade de filtração com areia;
- Duas unidades de filtração por carvão ativado.

Figura 3 - Fluxograma genérico do processo ETEAR PHI-AQUAFLOT.



Fonte: Adaptado do memorial descritivo da empresa AQUAFLOT-PHI, 2014.

### 4.4.3 Características do sistema

#### 4.4.3.1 Sucção e armazenamento do efluente bruto

Ao iniciar as descargas das águas residuais a primeira barreira é a grade, dimensões 49 cm x 31 cm, Figura 4 (a), para reter sólidos maiores, o efluente destina-se para peneira (Figura 4 (b)), sólidos que passaram pela primeira barreira, logo após vai ao tanque de equalização onde está instalada a bomba centrífuga, modelo BC-92S 1B, 1 Cv., vazão de média  $7,0 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ , trifásica, com controle automático, através de chave de nível. Esta elevatória recalca o efluente através da sucção de alimentação (a).

Figura 4 - Sistema de retenção sólidos maiores: Gradeamento (a) e peneira (b).



Fonte: Autor, 2020.

#### 4.4.3.2 Alimentação e medição da vazão do flotador

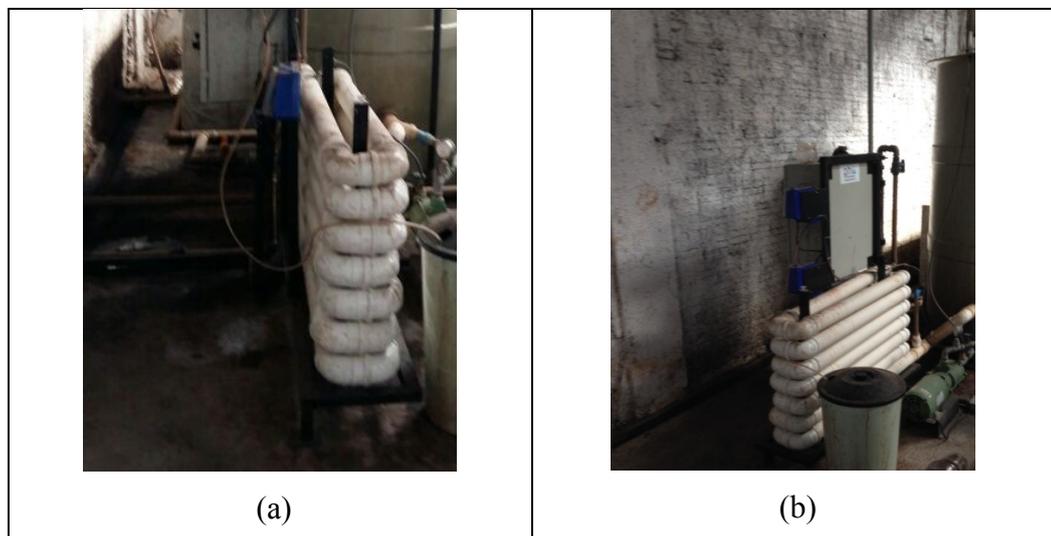
A partir do tanque de equalização (TE), no poço de captação o efluente é bombeado até a unidade de coagulação/floculação/flotação. A vazão é controlada pela leitura direta no

medidor de área variável (R-01), tipo rotâmetro, modelo AP-2000, em policarbonato, disposto em linha. Existe uma válvula (VV - 01) que permite controlar a vazão da ETEAR, de acordo com a leitura do rotâmetro R-01.

#### 4.4.3.3 Coagulação e floculação hidráulica

Esta unidade é constituída pelos injetores de floculante, de origem essencialmente vegetal. A solução do reagente é injetada através de uma bomba dosadora na vazão adequada à concentração previamente estabelecida. Esta unidade utiliza gradientes hidráulicos elevados para promover uma intensa mistura entre o produto químico e o efluente, oferecendo assim condições ótimas para a reação e formação dos coágulos. O floculador possui a função de proporcionar ao fluxo uma mistura ideal. Na Figura 5 está exposta unidade de floculador hidráulico, o floculador é construído por conexões, com inversão de fluxo de 180°, fabricados com tubo de PVC e dimensionados para fornecer o adequado gradiente hidráulico, fazendo aglomerar as partículas de sujeira formando flocos antes de entrar na unidade de flotação.

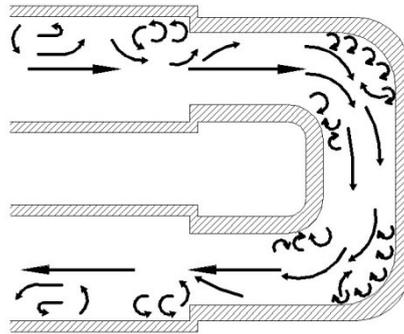
Figura 5 – Unidade de floculador hidráulico, vista de frente (a), vista lateral (b).



Fonte: Autor, 2020.

A maior parte da ação de mistura nos tubos floculados é obtida nas curvas, restrições e expansões, como mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Movimento do efluente no interior da tubulação do floclador.



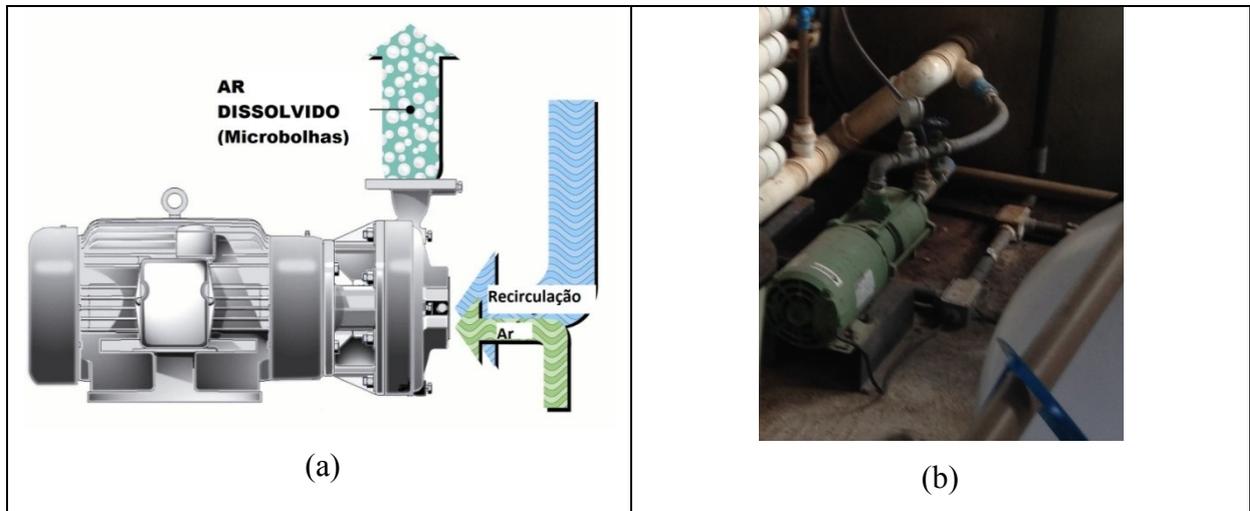
Fonte: Evoqua, *Water Technologies*, 2017.

A restrição e expansão do tamanho da tubulação provoca turbulência adicional e numerosos redemoinhos no padrão de fluxo. Estes turbilhões, quando combinados com as mudanças na direção do fluxo nas conexões em forma de curva, interrompem o gradiente de velocidade e os padrões de fluxo, proporcionando uma mistura radial significativa assim como uma mistura de volta axial. Adicionalmente, é conseguida alguma mistura radial e axial nas secções retas devido à turbulência do fluido no tubo. Os tubos de flocos são dimensionados de modo que o fluxo nas secções retas esteja bem no regime de fluxo turbulento ( $NRe > 50.000$ ).

#### 4.4.3.4 Câmara de flotação

Após a flocação, o efluente segue para entrada da estação de tratamento ETEAR. O fluxo recebe a injeção do reciclo, água com microbolhas de ar, através da bomba de reciclo (BC-03), GMB-5000-ME 1420, 2 Cv, vazão de 3,75 m<sup>3</sup>/h, conforme representação esquemática representada na Figura 7. Os flocos com ar são encaminhados para a câmara de flotação (TQ-03, onde ocorre a separação do lodo na superfície, que é raspado e conduzido para o leito de secagem. Neste ponto se dá o processo de separação entre o lodo flotado e a água tratada, sendo que a água é retirada pela parte inferior do tanque, e o lodo para parte superior.

Figura 7 - Representação esquemática da bomba geradora de microbolhas (a), e bomba geradora de microbolhas instalada na ETEAR (b).



Fonte: Adaptado de <http://www.etsenvironmental.com>.

#### 4.4.3.5 Raspador e coleta de lodo

O sistema de raspagem do lodo é mecanizado e automático, direcionando o lodo para uma calha coletora localizada no final do tanque de flotação. O equipamento do raspador de lodo tem acionamento mecânico através de um motor de 0,12 Cv. Os raspadores são de PRFV, que conduzem o lodo em excesso para uma calha, este segue para o leito de secagem, onde ocorre o desaguamento natural por filtração.

#### 4.4.3.6 Filtração da água tratada

Devido às características do próprio processo de separação sólido/líquido usado na flotação por ar dissolvido (FAD), eventualmente alguns flocos que deveriam flutuar na superfície do tanque acabam não o fazendo e são arrastados junto com a água limpa, pelo fundo do tanque de flotação. Para remover estes flocos é utilizado um sistema de filtro convencional de areia (Figura 8), atuando logo após a flotação, com sentido de escoamento ascendente e velocidade máxima de 0,6m/s. O sistema foi projetado com um reservatório intermediário de 300 L, material PRFV, que recebe a água tratada da FAD, onde por um sistema automatizado a água é bombeada para o filtro de areia, pela bomba de Filtro BC-04, de especificação BC92S-HB-1,3/4 cv., vazão de 3,75m<sup>3</sup>/h, funcionando de forma intermitente, conforme variação de nível do reservatório intermediário. O material filtrante é areia lavada,

classificada, com granulometria com maior concentração em 0,75mm, fornecido pela empresa Incomil. A limpeza do filtro é efetuada através da retrolavagem com tempo de duração de um minuto.

Figura 8 - Filtro de areia FM-50.



Fonte: Autor, 2020.

#### *4.4.3.7 Filtração com carvão ativado*

Após a filtração com areia a água tratada é forçada através de um sistema de dois filtros, para pós-tratamento por adsorção em carvão ativado. Na Figura 9 está representado os filtros FM 75, com capacidade de 100 kg por unidade, utilizando carvão ativado de osso bovino, granulometria no intervalo de 0,42mm e 0,84mm, fornecido pela empresa Bonechar.

Figura 9 - Filtros de carvão ativado FM-75.



Fonte: Autor, 2020.

#### 4.4.3.8 Dosagem de reagente

O sistema de dosagem de reagente conta com uma bomba dosadora retirando diretamente do reservatório do coagulante/polímero. A operação com concentração de solução a 50% e dosagem entre 300 e 1000 mgL<sup>-1</sup>. O produto coagulante recebido em recipientes de PVC com capacidade de 50 kg, a área de estocagem é dentro da própria sala da estação.

O produto de origem essencialmente vegetal, polímero orgânico-catiônico de baixo peso molecular, e que atua como coagulante e floculante. O produto é fornecido pela empresa TANAC, denominado TANFLOC SL.

### 4.5 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE TRATADO

A avaliação da aplicação metodológica da flotação-filtração visando o reúso para fins não potáveis foi estruturada a partir da ponderação dos resultados obtidos nos ensaios propostos na caracterização do efluente, no final do processo. Está apresentado no Apêndice I (Quadro 3), os dados de monitoramento do período compreendido entre 16 de outubro de 2019 a 13 de novembro de 2019 (aproximadamente 5 anos).

#### 4.6 TOXICIDADE AGUDA NO EFLUENTE TRATADO

A coleta e as análises quali-quantitativas dos efluentes foram executadas no Laboratório de Análises Ambientais da Universidade de Santa Cruz (UNISC), sede em Santa Cruz do Sul, RS, devidamente cadastrado no órgão ambiental Estadual (FEPAM) como laboratório de análises ambientais, sob o certificado número 00009/2015-DL.

Neste experimento foi utilizado o efluente tratado e o ponto de coleta na saída do sistema, após o filtro de carvão ativado. Posteriormente, foi gerado um relatório de ensaio número 136046/19, com os parâmetros DQO, óleos e graxas minerais, pH, surfactantes e temperatura. A metodologia empregada nas análises destes parâmetros seguiu o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2017).

Simultaneamente com a coleta, foi retirada uma amostra de 300 litros de efluente tratado, acondicionado em um reservatório e transportado para cidade de Santa Maria, RS. A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal de Santa Maria, RS, junto ao Laboratório, junto ao Laboratório de Engenharia e Meio Ambiente (LEMA), onde o efluente foi distribuído em aquários para realização do teste toxicológico.

##### 4.6.1 Desenho experimental

Para realização dos ensaios toxicológicos foram utilizadas espécies do gênero *Cyprinus carpio* (carpa capim), por serem resistentes e se adaptarem facilmente a ambientes inóspitos, as quais podem ser utilizadas como bioindicadores em experimentos de ecotoxicologia, além de serem as prevalentes na região. Foram utilizadas 150 carpas, obtidas de pisciculturas da região, Dalpiva, Arroio Grande, Santa Maria, RS, pesando aproximadamente 12 a 25 gramas, com aproximadamente 6 cm (Figura 10). As espécies foram transferidas para um aquário de 500 litros, para aclimatação, mantidos sob temperatura e aeração constantes, permanecendo nestas condições durante dezesseis dias, entre 1º de outubro de 2019 a 15 de outubro de 2019. Parâmetros de qualidade da água, como temperatura (°C) e oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) foram monitorados diariamente; e os peixes alimentados uma vez ao dia com ração comercial Supra® (42% de proteína bruta).

Após o período de aclimatação, os peixes foram transferidos para aquários de 20 L de água com concentrações variadas de efluente, mantidos sob aeração constante, sendo utilizadas 10 espécies por aquário.

Foram realizados os testes:

- Controle/testemunha: Contendo água do meio de adaptação sob aeração constante;
- Efluente: Contendo 100% do efluente tratado sob aeração constante;
- Efluente diluído a 75%: Contendo 75% de efluente tratado e 25% de água do meio de adaptação sob aeração constante;
- Efluente diluído a 50%: Contendo 50% de efluente tratado e 50% de água do meio de adaptação sob aeração constante; e
- Efluente diluído a 25%: Contendo 25% de efluente e 75% de água do meio de adaptação sob aeração constante.

Este experimento foi realizado em triplicata, e a análise para toxicidade aguda constituiu-se no intervalo de 24, 48 e 72 horas de exposição.

A Figura 10 representa um exemplar de *Cyprinus carpio* utilizado nos ensaios de toxicidade aguda, com a média do tamanho de 6 cm.

Figura 10 – Exemplar de *Cyprinus carpio*.



Fonte: Autor, 2020.

#### 4.7 DETECÇÃO DE *Legionella* spp. NO EFLUENTE BRUTO E TRATADO

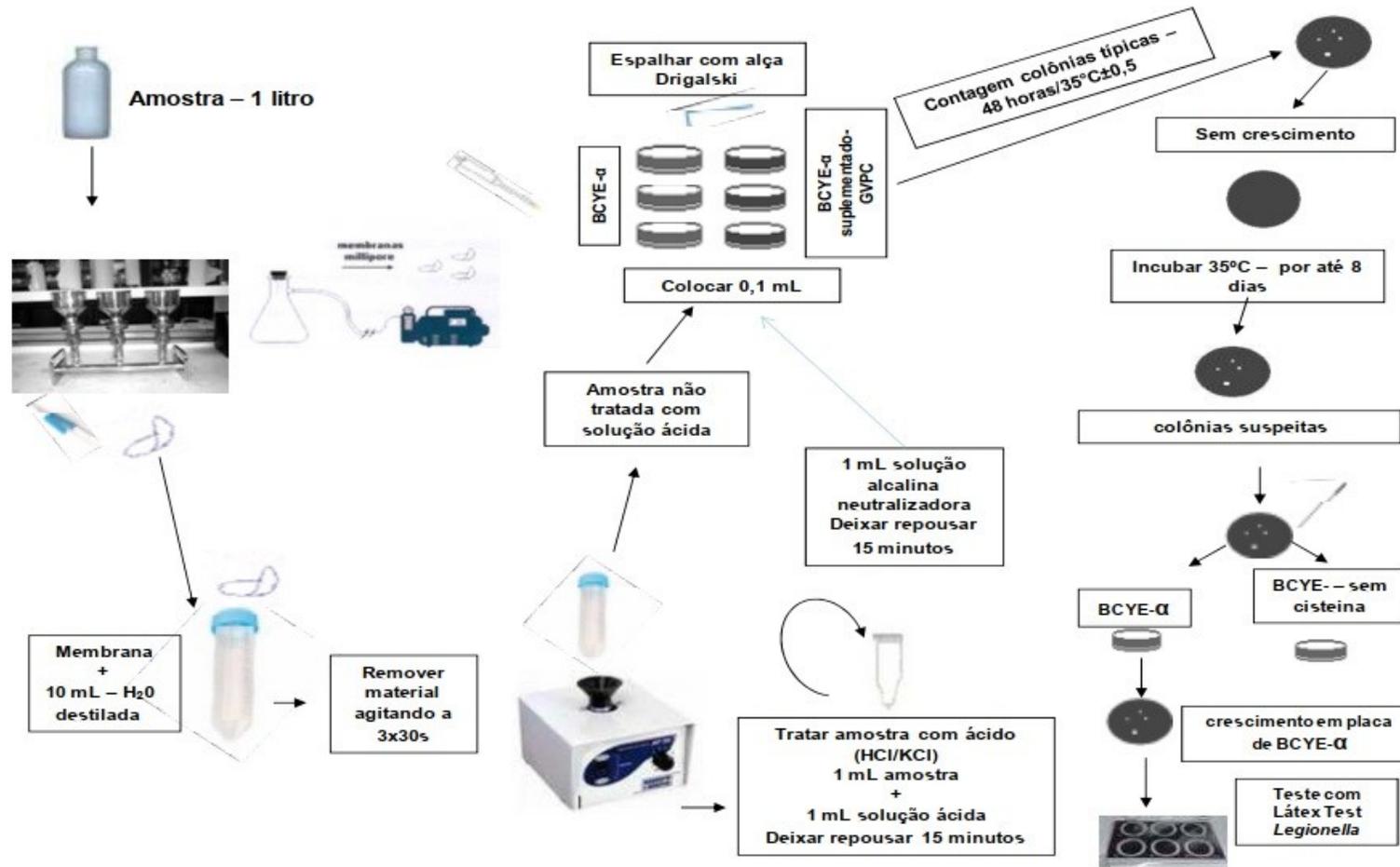
Para verificar a presença de *Legionella* spp. foram realizadas dez análises, sendo cinco coletas do efluente bruto e cinco do tratado, realizadas em triplicata, no período compreendido entre 16 de outubro de 2019 a 13 de novembro de 2019. As amostras foram retiradas na entrada do tratamento (efluente bruto), e após a entrada do tratamento, no filtro de carvão ativado; as quais foram devidamente dispostas em frascos de vidro de um litro, acondicionados em caixas térmicas, e em seguida enviadas ao laboratório QuímioAmbiental Ltda., Porto Alegre, RS, via transportadora.

Os ensaios foram executados através do respectivo laboratório, devidamente credenciado pelo órgão ambiental conforme número de registro 031/2019; seguindo a metodologia analítica do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (9260 J), métodos EPA e farmacopéia Brasileira/USP (APHA, 2017).

Para esta análise, as amostras concentraram-se em membrana de policarbonato de 47 mm de diâmetro, com porosidade de 0,22  $\mu\text{m}$ . Em seguida, o material suspenso na membrana foi adicionado a 10 mL de água destilada em tubos tipo falcon (50 mL), homogeneizados três vezes (30 s) em *vortex*. Após, armazenou-se 1 mL do material e 1 mL submetido ao tratamento com ácido, o qual ocorreu a transferência do mesmo para um tubo de ensaio onde adicionou-se 1,0 mL de KCl/HCl 0,2M (ácido). A solução ficou em repouso por 15 min e após foi acrescentado 1,0 mL de solução alcalina (KOH 0,1N) para neutralização (Figura 11).

Em seguida, as amostras, tratada com ácido e não tratada ficaram inoculadas em meio *Buffered Charcoal Yeast Extract Alpha Base* (BCYE-alfa) e incubadas em estufa bacteriológica a  $35 \pm 0,5$  °C por 48 h. As placas que não apresentaram crescimento e mantiveram-se incubadas por até oito dias, verificadas diariamente. Das placas em que ocorreu a presença de colônias “suspeitas” de *Legionella* spp. as mesmas foram transferidas para meios de cultura BCYE-alfa e BCYE sem cisteína, incubadas a  $35^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$  por 24 h, e após, se estivesse ocorrido o crescimento deveria ser realizado o teste de aglutinação em látex para confirmação do gênero (Figura 11).

Figura 11 – Esquema do processo experimental para verificação da presença de *Legionella* spp.



Fonte: Etto, 2009.

#### 4.8 ASPECTOS ÉTICOS

Este estudo foi submetido à Comissão de Ética no uso de animais da Universidade Federal de Santa Maria (CEUA/UFSM), protocolada sob CEUA nº 8767241019.

#### 4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise dos dados foi utilizado o software estatístico R [2], e comparada à diferença entre o influente (antes) e o efluente (depois) do tratamento, estudando a diferença para cada variável (pH, temperatura, sólidos suspensos, tensoativos, óleos e graxas e DQO). A estatística descritiva apresentada contém a quantidade de observações da amostra (N), desvio padrão, mínimo e máximo, primeiro e terceiro quartil e mediana.

Para examinar se os valores efluentes são diferentes aos influentes, foi realizada a análise através do teste de hipóteses de Wilcoxon Pareado. Se o p-valor for menor que 0,05, uma significância estatística de 5%, aceita-se a hipótese que há diferença entre o valor efluente e influente, caso contrário, eles são iguais. Para verificar se as variáveis do efluente tratado se comportam de acordo com os padrões estipulados pela legislação CONSEMA 128/2006 e 355/2017, que dispões sobre o padrão de emissão para lançamento em corpos hídricos, utilizou-se o Teste t, com a hipótese, se  $p < 0,05$ ; a variável não segue o padrão, caso contrário segue o padrão preconizado pelo órgão ambiental.

Os parâmetros de qualidade foram controlados através da amostragem antes e após a saída do tratamento, com a finalidade de acompanhar o desempenho geral do sistema de tratamento. A eficiência  $\eta$  foi calculada, com base nas médias dos valores de acordo com a equação;  $\eta (\%) = ((C_i - C_f) / C_i \times 100)$ , em que  $C_i$  é a concentração média influente (inicial) do poluente e  $C_e$  é a concentração média do efluente (final).

## 5 RESULTADOS E DICUSSÃO

Os resultados desta tese de doutorado estão apresentados na forma de publicações científicas. Para o melhor entendimento dos dados, primeiramente será apresentado o Manuscrito 1, intitulado “Tipos de tratamentos aplicados em lavanderias industriais – Revisão de literatura”, o qual teve como objetivo realizar uma revisão de diferentes características e tratamentos de águas de lavanderias industriais; após, o Manuscrito 2 intitulado “Caracterização e avaliação do sistema de tratamento de águas residuais de uma lavanderia industrial”, cujo objetivo foi caracterizar e avaliar o tratamento dos efluentes de uma lavanderia industrial em escala real; e em sequência o Manuscrito 3, intitulado “Toxicidade e presença de *Legionella* spp. no efluente de uma lavanderia industrial”, que teve como objetivo realizar uma avaliação prévia da toxicidade aguda e a presença de *Legionella* spp. no efluente bruto e tratado de uma lavanderia industrial.

## 5.1 MANUSCRITO 1

**TIPOS DE TRATAMENTOS APLICADOS EM LAVANDERIAS INDUSTRIAIS –  
REVISÃO DE LITERATURA**Geraldo Rampelotto<sup>1</sup>, Elvis Carissimi<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, <sup>2</sup>Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria

\*Autor correspondente

Elvis Carissimi

Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia,

Programa de Pós - Graduação em Engenharia Civil,

Av. Roraima, 1000 – CEP: 97105-900 Santa Maria-RS – Brasil.

e-mail:ecarissimi@gmail.com

## TIPOS DE TRATAMENTOS APLICADOS EM LAVANDERIAS INDUSTRIAIS – REVISÃO DE LITERATURA

### RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão de diferentes características e tratamentos de águas de lavanderias, um setor de prestação de serviços que no Brasil apresentou um crescimento de 6,8% entre os anos de 2018/2019, segundo associação brasileira de franquias. Realizou-se uma revisão bibliográfica do tipo exploratória descritiva, desenvolvida no período de abril 2016 a setembro de 2019, utilizando o portal de periódicos da Capes, tendo como as principais bases de dados *Scopus*, *Scielo*, *IWA Publishing*, *PubMed*, *Lilacs*, *ScienceDirect*, entre outras. A busca resultou em 98 artigos originais, dos quais 66 foram selecionados para elaboração deste trabalho por abordarem o tema proposto. O setor de lavanderias tem como seu principal insumo a água, assim, as pesquisas buscam alternativas para minimizar o consumo, diminuindo o desperdício e o reaproveitamento da água, com técnicas que permitam o seu reúso/reciclo. Alguns estudos de tratamento de águas de lavanderia foram analisados, destacando os processos biológicos, físicos e químicos, e/ou a combinação dessas tecnologias. Cada processo de tratamento tem suas peculiaridades, com suas respectivas vantagens e desvantagens, dependendo do nível de purificação que se pretende alcançar no efluente tratado. Os processos biológicos apresentam efluentes de boa qualidade, porém para reúso/reciclo as pesquisas recomendam que seja acrescentado um processo de membranas para polimento do permeado. Sistemas físico-químicos como a sequência de coagulação, floculação, flotação por ar dissolvido e posterior polimento com filtro de areia e adsorção com carvão ativado foram bem sucedidos para descarga dos efluentes em águas superficiais, mas para reutilização ou reciclo só foram alcançados com o acréscimo do uso de membranas de filtração.

**Palavras-chaves:** Tratamento, Lavanderia, Revisão, Reúso.

## 1. INTRODUÇÃO

Questões ambientais são consideradas um tema mundial, discutidas por diversos países, como a qualidade do ar, da água, solo, aumento da população, desenvolvimento das indústrias e seus efeitos no planeta. O desempenho diversificado das ações humanas, juntamente com crescimento demográfico e da industrialização colocou muita pressão sobre os recursos naturais, representando um desafio para atividades que necessitam do uso de água para diferentes finalidades (DOBILAIT et al., 2017; HESPANHOL, 2003; MORRISON et al., 2009).

Nesse contexto, a sociedade contemporânea defronta-se com adversidades, quanto a descontaminação das águas que retornam ao ambiente aquático, agregado da poluição em virtude de seu uso (KANT et al., 2018) . No entanto, para solucionar as demandas de água e sua disponibilidade são necessários meios que devem ser ponderados, considerando os custos econômicos e ecológicos relacionados (BOYJOO et al., 2013). Boyjoo et al., 2013 apontam soluções envolvendo grandes infraestruturas como barragens, aquedutos e usinas de dessalinização, além de utilizar formas mais sensatas na redução do consumo de água, como torneiras duplas e chuveiros com medição de fluxo otimizado. Além disso, outras soluções e caminhos que não envolvam grandes estruturas são descritos por De Fraiture e Wichelns (2010) e Molden et al. (2010), como aumentar a eficácia dos sistemas de irrigação que utilizam elevada quantidade de água. Já Chanan et al. (2009) conduziram seus estudos para o tratamento de águas residuais e sua reutilização ou reciclo.

Agregado ao desenvolvimento de novas pesquisas científicas no setor quali quantitativo de águas, tendo como os processos produtivos seus principais consumidores, indústria e agricultura, atividades que mais consomem água, se comparadas aos outros usos, a legislação fica restritiva, como por exemplo, o preceito de consumidor pagador e poluidor pagador (SCHAAF et al., 2016). O setor industrial é um dos maiores consumidores de água, assim torna-se indispensável que o uso de água seja racional e eficiente para que se desenvolva de maneira sustentável. Uma alternativa é o reúso/reciclo da água no que tange os efluentes líquidos dos processos industriais, a partir de métodos de tratamento que considere a variabilidade e complexidade dos efluentes industriais (DASGUPTA, et al. 2015).

Através de processos físico-químicos, é uma possibilidade de método de tratamento que acoplam procedimentos físicos, removendo os sólidos flutuantes de grandes dimensões, sólidos em suspensão, areias, óleos e gorduras, enquanto os procedimentos químicos, retiram os materiais coloidais, cor, turbidez, odor, alcalinidade, acidez, metais pesados e óleos

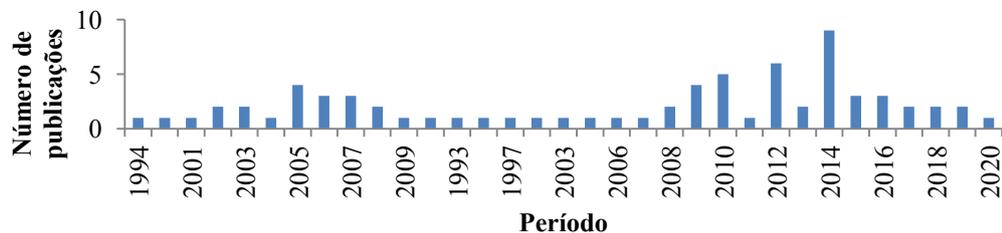
(BRAILE; CAVALACANTI, 1993). Com isso, o tratamento físico-químico de efluentes industriais, como os processos de coagulação/floculação, filtração e adsorção, são alternativas econômicas para implantar um sistema de tratamento, quando comparados com tecnologias de membranas (SOSTAR-TURK et al., 2005).

O processo de flotação por ar dissolvido (FAD) mostrou-se positivo em estudos de laboratório e em estações de tratamento de água (ETA) mais desenvolvidas, o que justifica o interesse de pesquisas para o uso dessa técnica de tratamento em distintos tipos de água para abastecimento (REALI et al., 2003). Fundamentado em pesquisas a respeito de lavanderias e seus métodos de tratamento do efluente líquido, este trabalho tem como objetivo o aprofundamento no tema, para realização de uma pesquisa preliminar sobre o assunto, incluindo a situação das lavanderias, tipos de tratamentos em vários países, estudo de casos e métodos de tratamento disponíveis.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia adotada constituiu de pesquisas na literatura, utilizando a revisão bibliográfica em plataformas de busca no portal dos periódicos da Capes, tendo como as principais bases de dados *Scopus/Elsevier*, *IWA Publishing*, *PubMed*, *Scielo*, *ScienceDirect*, entre outras, envolvendo os termos: “lavanderia”, “tratamento”, “reúso”, “reciclo”, “flotação por ar dissolvido”, e seus respectivos descritores em inglês, “*laundry*”, “*treatment*”, “*reuse*”, “*recycling*” e “*flotation by dissolved air*”. Na Figura 1 está representado o período e o número de publicações citadas no estudo. Como critérios de inclusão foram considerados pesquisas que contemplassem o tema proposto, publicados em português ou inglês.

Figura 1 – Período e número de publicações citadas neste estudo.



Fonte: Autor, 2020.

A revisão teve como base a escassez de água, que não é uma temática nova, mas a demanda pode agravar caso não aconteçam otimizações quanto ao manejo do elemento mais vital à sociedade. Dessa forma, foi aprofundado o estudo em pesquisas no setor de prestação de serviços, ramo de lavanderias, sistemas de tratamento e soluções para seu tratamento, no qual estão apresentadas diversas tecnologias para o tratamento de águas residuárias em lavanderias, visando depurar seus resíduos líquidos, superar a escassez de água e seu reúso, dessa forma, minimizando a captação de água no uso industrial.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 DISPONIBILIDADES DE ÁGUA**

A água e sua importância são perceptíveis nas discussões das Organizações das Nações Unidas, dentro dos objetivos de desenvolvimento sustentável na atualidade. Não só em termos de tratamento, mas também a sua interferência no cumprimento de metas sobre questões de saúde, educação e gênero (FROST, 2016).

Os desafios são globais, com repercussões no clima e o rápido crescimento populacional, que associados com a urbanização e industrialização têm produzido impactos no ambiente (FATONEA et al., 2018). A escala e a magnitude dos problemas são bem compreendidas, por exemplo, a partir de um relatório do Fundo das Nações Unidas para a Infância – UNICEF, em conjunto com Organização Mundial da Saúde – OMS, aponta que os países devem dobrar seus esforços em saneamento ou não será alcançado o acesso universal até 2030 (UNICEF, 2019). Neste mesmo relatório é relatado que o investimento em água, saneamento e higiene são essenciais para a saúde e são economicamente viáveis.

Além disso, devemos viver dentro de ambas as nossas possibilidades e do planeta, necessitando de uma releitura de como valorizamos a água. Pesquisas para o desenvolvimento de sistemas que buscam soluções alternativas para o aumento da oferta de água, reutilização das águas de chuva, diminuir o desperdício, perdas e reúso. Para alcançar este propósito, a tecnologia precisa ser mais inteligente, adaptável, necessitando pleno acompanhamento, modelagem e utilização da informação disponível (FATONEA et al., 2018).

Na Conferência de Copenhague em 2009, aconteceu uma sucessão de discussões e embates, entre eles sobre o tema da água, entre países e blocos de países, que resultou no documento chamado de Acordo de Copenhague, formulado por Brasil, China, Índia, África do Sul e Estados Unidos, produzido em negociações por um grupo de 26 países (DIAZ et al.,

2019). Collins et al. (2009), nesta ocasião alertavam que os sistemas convencionais de abastecimento de água tem um desequilíbrio causado entre extração e recarga natural. Schewe et al. (2014) reportam que as alterações climáticas podem agravar substancialmente o problema da escassez de água, sendo estes limitantes de suprimento. Garrido-Barseba et al. (2012), afirmam que a acentuada preocupação com a escassez de água leva ao aumento significativo pelo reutilização de águas residuais, representando um desafio econômico e ecológico. Ainda, segundo Diaz et al. (2019) e Xujie Lu et al., 2010, nas últimas décadas, as águas residuais evoluíram de um desperdício para um recurso valioso, atenuando os efeitos da escassez por meio da reutilização, fornecendo energia e nutrientes para compensar a extração destes recursos preciosos.

Basicamente existem duas alternativas industriais para produção de água que estão recebendo maior atenção e perspectiva, como a dessalinização e o reúso da água (LIU et al., 2012; PEREIRA et al., 2002). A escolha de reaproveitar a água leva a um aumento substancial na disponibilidade para o consumo, visto que reduz a captação, principalmente quando o reúso for efetuado pelas indústrias que mais utilizam deste recurso hídrico (SAXENA et al., 2017). As lavanderias industriais geram quantidades significativas de águas, estimado entre 10 litros a 15 litros por kg de têxteis processados (CHARALAMBOS; IOANNIS, 2014; CIABATTI et al., 2009; MAUCHAUFFEE; DENIEUL; COSTE, 2012; MOZIA et al., 2016).

### 3.2 LAVANDERIAS INDUSTRIAIS

O setor de prestação de serviços ampliou nos últimos anos, tornou-se peça fundamental no processo de crescimento global (RABELO, 2012). Para Rabelo (2012) um dos setores que entrou em ascensão é o de lavanderias, visto que o hábito de levar roupas para estes estabelecimentos estão cada vez mais comuns no Brasil, um crescimento de aproximadamente 25% conforme a Associação Nacional das Empresas de Lavanderia (ANEL). Segundo dados da ANEL, estima-se que no Brasil, existem atualmente 9.500 lavanderias, sendo 7.400 do segmento doméstico, que atendem ao consumidor final, e 2.100 do segmento industrial, sendo que aproximadamente 80% são pequenas empresas com até dez funcionários. Assim, o conceito de que somente roupas especiais são destinadas as lavanderias está diminuindo. Os serviços prestados, além de práticos, representam uma

economia no orçamento doméstico, redução de uso de energia elétrica, além de minimizar o desperdício de água (AHER; PIMPLIKAR, 2012).

De modo geral, apresentam-se dois segmentos básicos: o industrial e o domiciliar. É classificada como industrial, a lavanderia que atende a restaurantes, hotéis, motéis, *flats*, condomínios residenciais e uniformes industriais, enquanto domiciliar a lavanderia que atende ao público em geral (FARIAS, 2006; RABELO, 2012).

No processo das lavanderias industriais preliminarmente tem a recepção das roupas, e é finalizado com a expedição aos consumidores do serviço, com as peças limpas e características modificadas do tecido. Todo o procedimento envolve uma sequência de tratamentos físicos e químicos, envolvendo principalmente como solvente a água. Nos processos são contemplados enxágues iniciais e intermediários, umectação, pré-lavagem, lavagem, amaciamento, desengomagem, secagem, centrifugação, passamento, embalagem, conserto de peças e acabamento (SOUZA et al., 2016). Nas operações, que necessitam de água, além dos processos físicos, são utilizados produtos químicos, ocasionando danos ambientais devido seus resíduos (ITABOBOHY; SILVA, 2006; PICCHIAI; FARIAS, 2013).

Charalambos e Ioannis (2014) e Mauchauffee et al. (2012), reportam a lavanderia industrial uma das maiores consumidoras de água, gerando quantidades significativas de efluente. Ciabatti et al.(2009), Mauchauffee et al. (2012), Mozia et al. (2016) e Saft e Calheiro (2014), uma lavanderia utiliza em torno de 15 L de água para processar 1 kg de têxteis. O Sindicato Intermunicipal de lavanderias do estado de São Paulo (2011), estima um consumo de 10 L de água para 1 Kg de roupa lavada.

Segundo Buss et al. (2015), grande parte do problema ambiental nos efluentes de lavanderias é decorrente dos insumos químicos que são empregados nos processos de lavagem, principalmente os detergentes.

### 3.3 CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DE LAVANDERIAS

O tratamento dos efluentes de lavanderias é particularmente difícil, motivado pelo elevado teor de surfactantes presentes, em conjunto com as cargas orgânicas e inorgânicas elevadas advindas da sujeira de lavagem (CIABATTI et al., 2009). Para Braga e Varesche (2014), às descargas que contém surfactantes podem causar alterações graves na biota, devido a alteração na tensão superficial da água. Sostar-Turk et al. (2005) relatam que águas residuais de lavanderias onde itens muito sujos estão sendo lavados, contendo óleos minerais, metais

pesados e substâncias perigosas, apresentam DQO na ordem de 1.200 a 20.000 mgL<sup>-1</sup>; enquanto lavanderias dos hospitais que contém gordura, restos de alimentos, sangue e urina que têm valores de DQO entre 400 a 1200 mgL<sup>-1</sup>; e lavanderias com itens de casas e hotéis, poluem a água com valores de DQO de 600 a 2500 mgL<sup>-1</sup>. Segundo Boyjoo, et al. (2013), os efluentes provenientes das lavanderias domésticas, apresentam parâmetros físicos, condutividade elétrica, turbidez e sólidos suspensos, cujos valores estão no intervalo de 190-3000  $\mu\text{Scm}^{-1}$ , 19-444 NTU e 35-315mgL<sup>-1</sup>, respectivamente.

Numericamente, os teores dos parâmetros nos efluentes de lavanderias podem oscilar bastante. Pesquisas apresentam valores distintos, como é mostrado na Tabela 1, onde estão caracterizadas águas de lavanderias residenciais (**R**) e industriais (**I**), segundo pesquisas em diferentes países. Características dos efluentes de lavanderias residenciais e industriais estão diretamente relacionados com os componentes que estão sendo lavados, com alta ou baixa carga de poluentes, ou seja, quando itens muito sujos estão sendo lavados, podem conter óleos minerais, gordura, metais pesados, sangue, urina e substâncias perigosas, bem como os produtos químicos que são utilizados no processo de limpeza, variando com as condições e hábitos de cada país, influenciando diretamente na qualidade do efluente líquido final e ampla variação nos parâmetros conforme podemos observar na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização das águas, efluentes de lavanderias.

| Parâmetros                  | UN                   | Austrália<br>(Christova -<br>Boal et al.<br>1996) <b>R</b> | Itália<br>(Ciabattiet al.<br>2009) <b>I</b> | Eslovênia<br>(Sostar-Turk et<br>al.2005) <b>I</b> | Omã (Prathapar<br>et al. 2005) <b>R</b> | Brasil<br>(Gonçalves et<br>al. 2006) <b>R</b> | Brasil (Buss et<br>al. 2015) <b>I</b> | Brasil<br>(Rampelotto,<br>2014) <b>R</b> |
|-----------------------------|----------------------|--|---|---|---|---|---------------------------------------|--|
| Condutividade elétrica (CE) | $\mu\text{Scm}^{-1}$ | 190 - 1400   | 1300 - 3000                                 | -   | -                                       | -   | -                                     | 92 – 830                                 |
| Cor aparente                | uC                   | -  | -   | -   | -                                       | -   | -                                     | 131 – 201                                |
| Cor verdadeira (real)       | uC                   | -  | -   | -   | -                                       | -   | -                                     | 64 – 550                                 |
| Sólidos totais              | $\text{mgL}^{-1}$    | -  | -   | -   | -                                       | -   | -                                     | 83 – 1054                                |
| Sólidos suspensos           | $\text{mgL}^{-1}$    | 88-250   | 90 - 200                                    | 35  | 315                                     | 53  | 16 -130                               | 7 – 170                                  |
| Sólidos dissolvidos         | $\text{mgL}^{-1}$    | -  | -   | -   | -                                       | -   | -                                     | 46 – 993                                 |
| Sólidos sedimentáveis       | $\text{mgL}^{-1}$    | -  | -   | -   | -                                       | -   | 1,6 – 7,0                             | 0,1 – 3                                  |
| Temperatura                 | $^{\circ}\text{C}$   | -  | -   | 62  | -                                       | -   | -                                     | 21 – 32                                  |
| Turbidez                    | NTU                  | 50-210   | 40 - 150                                    | -   | 444                                     | -   | -                                     | 20 – 198                                 |
| DQO                         | $\text{mgL}^{-1}$    | -  | 400 - 1000                                  | 280   | 231,3                                   | 521   | 179,4 – 1046,5                        | 187 – 823                                |
| DBO <sub>5</sub>            | $\text{mgL}^{-1}$    | 48-290   | -   | 195   | 179,7                                   | 184   | -                                     | 32 – 262                                 |
| pH                          |                      | 9,3-10   | 7-9   | 9,6   | 8,3                                     | 9,1   | -                                     | 5,5 – 9,9                                |
| Surfactantes                | $\text{mg L}^{-1}$   | -  | 0,01- 25                                    | 10,1  | 118,3                                   | -   | 13,3 - 63,0                           | 0,04 – 1,88                              |
| Coliformes totais           | Contagem/<br>100mL   | $2,3 \times 10^3$ a<br>$3,3 \times 10^5$                   | -   | -   | >200,<br>5                              | -   | -                                     | ND a $9,6 \times 10^5$                   |
| Coliformes termo tolerantes | Contagem/<br>100mL   | -  | -   | -   | >200,<br>5                              | -   | -                                     | ND a $1,8 \times 10^5$                   |

Legenda: **R** – lavanderia residencial; **I** – lavanderia industrial.

Fonte: Autor, 2020.

### 3.4 PROCESSOS DE TRATAMENTO DA ÁGUA E EFLUENTES

A população com ações diárias impactam diretamente na quantidade e armazenamento de água, e também na sua qualidade e disponibilidade. Pesquisas acerca de tratamentos de efluentes foram substancialmente estimuladas devido a crescente escassez de água potável ou aceitável para o consumo humano que há no mundo, assim como a elevada estabilidade dos poluentes orgânicos resistentes a agentes oxidantes moderados e a presença da luz. Por conseguinte, estão fundamentadas novas leis ambientais no que diz respeito aos padrões para emissão de poluentes, prevendo mais rigidez e desenvolvendo tecnologias adequadas para o tratamento de efluentes.

De acordo com Rocha (2014) são utilizados para o tratamento de água potável e efluente industrial métodos físico-químicos (filtração, coagulação, adsorção e floculação), oxidação química (uso de cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio, oxidação do ar úmido) e processos oxidativos avançados, mais comumente conhecidos como POAs (reação de Fenton, ozônio + radiação UV, fotoquímica). Como as características, esses efluentes possuem um alto nível de diversidade, que na maior parte das vezes contém uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, e também microrganismos, o que inviabiliza uma estratégia universal de recuperação. Para o êxito na purificação de efluentes dispõe-se de diversos processos de tratamento com base em princípios ou fenômenos químicos, físicos ou biológicos, bem como em suas combinações.

Ainda, conforme Rocha (2014) são caracterizados como processos físicos procedimentos capazes de remover substâncias ou microrganismos fisicamente separáveis dos líquidos ou que não se encontram em dissolução; como por exemplo remoção de sólidos grosseiros e decantáveis, de sólidos flutuantes, da umidade do lodo, filtração dos efluentes, incineração do lodo, diluição dos efluentes, homogeneização dos efluentes e floculação. Grabowska e Gryglewicz (2007) citam alguns métodos físicos que são amplamente utilizados para a remoção de cor, tais como processos de filtração com membrana, troca iônica e técnicas de adsorção por carvão ativado. Para Guaratini e Zanoni (2000) uma das técnicas mais conhecidas e eficientes para a retirada de poluentes de efluentes (microrganismos ou matéria orgânica) é também a adsorção em fase líquida. O método de adsorção sólido-líquido explora a habilidade que certos sólidos têm de concentrar na sua superfície substâncias específicas presentes em soluções aquosas. Portanto, podem-se separar os componentes das soluções aquosas.

Processos químicos são aqueles em que se adicionam produtos químicos, e são utilizados para auxiliar ou complementar os processos físicos e biológicos. Tais métodos químicos de tratamento compreendem a coagulação ou floculação, combinados com flotação e filtração, ozonização, métodos eletroquímicos, oxidação química, cloração, neutralização ou correção do pH e métodos de oxidação convencionais por agentes oxidantes. O mais utilizado é o processo químico de oxidação para remoção de orgânicos por ser de simples manuseio. São exemplos o ozônio e o processo de decomposição oxidativa com o uso do Fenton. Contudo, o tratamento eletroquímico é considerado um processo mais moderno pelo fato de controle de poluição e melhor eficiência de descontaminação, sendo que não requer nenhum tipo de produto químico adicional em alguns casos, e também porque a operação e os equipamentos na maioria das vezes são simples. Entretanto, a desvantagem desses métodos é que são processos capazes de gerarem subprodutos indesejáveis, podendo ser mais nocivos do que as espécies iniciais do processo. A mesma característica possui o processo oxidativo avançado (POA), que produz radicais hidroxilas ( $\bullet\text{OH}$ ), que são espécies extraordinariamente reativas que atacam a maioria das moléculas orgânicas. São também caracterizados pela baixa seletividade do ataque, sendo assim qualidade relevante para um oxidante aplicado no tratamento de água.

Os POAs são versáteis, o que é destacado pelas diferentes possibilidades de produzirem radicais hidroxilas, permitindo a escolha do método mais adequado conforme o tratamento necessário (ANDREOZZI et al., 1999). A partir das novas regulamentações, normas e leis ambientais se faz necessário modernizar os processos para tratar de maneira eficiente vários tipos de águas com baixo custo operacional.

De acordo com Kunz e Zamora (2002), os métodos de tratamento com base em processos de coagulação, e posteriormente de separação por flotação ou sedimentação, apresentam eficiência superior na remoção de material particulado. Porém, o processo de remoção de cor e compostos orgânicos dissolvidos se mostram-se deficitários. A eficiência mais significativa é apresentada nos processos de adsorção com carvão ativado, todavia, a superfície química do carvão é positiva e a adsorção de corantes de caráter catiônico, o tornando-se uma limitação de grande relevância. Às desvantagens apontadas, em todos os processos aqui mencionados equivalem a sistemas não destrutivos. Ainda que o volume dos resíduos tenha capacidade de ser diminuído de maneira significativa, o descarte dos sólidos finais é um problema a ser resolvido.

Por essa razão, existe uma preferência pelo uso de processos eficientes de degradação das espécies. Por conseguinte, com essas circunstâncias de processos destrutivos destacam-se

os processos biológicos por não encontrarem grandes dificuldades para implantar sistemas que trabalhem em grande escala. Os processos biológicos de uso frequente são os sistemas de lodos ativados, no qual compõe o processo de agitação dos efluentes com microrganismos e ar, em um período de tempo capaz de metabolizar e flocular a maioria da matéria orgânica. Esse processo torna-se desvantajoso devido a capacidade de composição do efluente (cargas de choque), variação da vazão e gerar elevado volume de lodo.

Na indústria têxtil geralmente os processos de tratamento tem como base a operação de sistemas físico-químico de precipitação-coagulação, e posteriormente o tratamento biológico através do sistema de lodos ativados. A eficiência desse sistema é considerada elevada, pois consegue remover cerca de 80% da carga de corantes. O maior obstáculo a ser solucionado é com o lodo acumulado, já que o grande teor de corantes adsorvido acaba impossibilitando o seu reaproveitamento.

### 3.5 TRATAMENTOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE LAVANDERIAS

O descarte de efluentes e a desinfecção da água concentram maiores cuidados e esforços por parte da sociedade e das indústrias quanto a preservação dos solos e dos recursos hídricos. Estes podem ser contaminados por compostos orgânicos biodegradáveis ou não biodegradáveis, motivo de preocupação ambiental, traduzindo em leis mais severas para as fontes geradoras que lancem seus efluentes líquidos em águas superficiais com a expectativa de preservá-los.

As águas residuárias que contém elementos oriundos de indústrias se não tratados adequadamente podem ser prejudiciais à saúde, além de tóxicas para espécies aquáticas. Os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos têm seus valores máximos permitidos conforme normatização específica para cada País, bem como o processo de tratamento adotado pelas indústrias para minimizar o nível de poluentes a ser lançado na água.

Diferentes métodos de tratamento são utilizados para purificar águas residuais na indústria de lavagem antes de ser descarregada. A complexidade do processo varia em função do local, tamanho da instalação, volume de água utilizado, qualidade da água fornecida, produtos químicos consumidos, tipo de material lavado pelos clientes, e especificidades de requisitos nacionais, regionais e locais da legislação.

No tratamento dos efluentes de uma lavanderia a escolha do processo deve combinar esforços de forma segura e econômica; e as alternativas podem envolver processos biológicos, físicos e químicos, ou a combinação entre estes processos. Para Telles e Costa (2010), as

etapas do tratamento decorrem da água influente e podem abranger diferentes fases, se fazendo necessário definir a finalidade de utilização e aplicar o método compatibilizando as tecnologias para produção da água desejada. Aspecto fundamental a conhecer para aplicação da tecnologia de tratamento é a caracterização da água a ser tratada, normatizado através da NBR 12.216 NB 592 (ABNT, 1992), referente a elaboração do projeto da Estação de Tratamento de Água (ETA), e, segundo Di Bernardo (2003), devem ser monitoradas pelo período mínimo de um ano, sendo o ideal por mais de cinco anos para definir o processo a ser implementado.

Normalmente os processos de tratamento de efluentes líquidos têm como base atender o dimensionamento exigido nas normas e atender aos padrões de emissão em corpos hídricos. Os métodos e barreiras para atingir o padrão desejado são diversos, e usualmente subdividem-se em etapas, de acordo com o nível de tratamento desejado. Segundo Braga e Varesche (2014), a avaliação do método de tratamento adequado deve-se ter por base no conhecimento das características específicas de águas residuais. A composição dos efluentes industriais é variável, tornando-se imprescindível as associações de diversos níveis de tratamento para atingir efluentes com as qualidades requeridas pelos padrões de lançamento.

Alguns aspectos devem ser observados na delimitação do processo de tratamento, considerando fatores como: custos investimento e operacionais, produtos químicos, mão de obra especializada, manutenção, controle analítico e geração de resíduos, área disponível, clima, legislação, a classe do corpo receptor, assistência técnica e controle da operação (NAWAZ; AHSAN, 2014).

Menezes (2005) reporta que efluentes provenientes de lavanderias são preferencialmente tratados através de processo físico-químico de coagulação/floculação seguido de uma etapa de separação sólido/líquido por sedimentação, flotação ou filtração. A complementação pode ocorrer através de um estágio de polimento pela adsorção em carvão ativado ou da adoção de outro processo biológico (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

### 3.5.1 Sistemas biológicos

Os sistemas biológicos são geralmente precedidos por uma fase de filtração para reter todo e qualquer material sólido, seguidos por sedimentação/filtração para remoção do resíduo ou lamas, e uma fase de desinfecção (cloração, UV) para remover microrganismos. Alguns sistemas têm filtros, tais como o Biorreatores de Membrana (MBR), que possuem um filtro de membrana no interior do reator embutido para separação de partículas, que pode ser do tipo

microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF), constituindo um avanço no tratamento de efluentes (DACANAL; BEAL, 2010).

Os sistemas biológicos empregados para tratar a efluentes de lavanderia incluem, entre outros, o reator de biofilme de leito móvel híbrido (HMBBR). Mozia et al. (2016) realizaram um experimento em escala piloto, com um sistema combinando biorreator, um fotorreator e unidades de membranas UF/NF. Os autores focaram a investigação em águas residuárias de uma lavanderia industrial, através do uso de HMBBR com oxidação UV/O<sub>3</sub>, e posteriormente tratado com ultrafiltração (UF) seguido por nanofiltração (NF). Foi constatado com a aplicação do reator HMBRR, a redução na concentração de COT em cerca de 90%. No entanto, como o efluente do HMBBR ainda continha alguma quantidade de contaminantes orgânicos e exibia alta condutividade elétrica (2,4 µS/cm) e turbidez (cerca de 8 NTU), se fez necessário um polimento adicional antes de uma possível reutilização das águas residuais tratadas no processo de lavanderia.

Bering et al., 2018 realizaram testes de tratamento biológico em águas residuais de uma lavanderia industrial real, utilizando reator biológico de leito móvel de dois estágios (MBBR) em condições aeróbicas. O experimento foi realizado em escala laboratorial, onde foi instalado no local da lavanderia um grande reator de leito móvel (MBBR), na cidade de Szczecin – Polônia, e obtiveram bons resultados. A qualidade do tratamento águas residuais ficou de acordo com os regulamentos estabelecidos para águas residuais conforme o regulamento Polonês. Não foi necessário a remoção de nitrogênio, visto que por deficiência nas águas residuais brutas foi requerido acrescentar uma dosagem de nitrogênio para o experimento. A eficiência nos poluentes orgânicos para DBO<sub>5</sub> foi de 95%-98% e para DQO de 89-94%, e concluíram que o déficit de fósforo não afeta a eficiência na remoção de DBO<sub>5</sub>.

O tratamento de águas residuais de lavanderia por reator granular de leito expandido (EGSB) foi estudado por Delforno et al. (2017) em escala de laboratório. As características do EGSB são análogas à do reator UASB, porém, com relação altura/diâmetro maior, ou seja, da ordem de 20, sendo aplicadas velocidades ascensionais acima de 2,5 m/h, podendo chegar até 10 m/h (KATO et al., 1994). Em uma das hipóteses propostas pelos autores, foram avaliados aspectos envolvidos com a remoção de alquilbenzeno linear sulfonado (LAS), um surfactante aniônico, em água residuárias de lavanderia comercial. Obtiveram eficiência na remoção de surfactante aniônico de aproximadamente 76-78% (DELFORNO et al., 2017).

### 3.5.2 Sistemas físicos

Os sistemas físicos por si só não são muito eficientes na remoção de produtos orgânicos, nutrientes e agentes patogênicos, e são utilizados principalmente onde a qualidade da água necessária não é elevada (BOYJOO et al., 2013). Sistemas físicos incluem filtração e sedimentação. A filtração é normalmente usada como uma fase de pré-tratamento antes do tratamento biológico ou químico, também como um pós-tratamento antes da desinfecção.

Ahmad e Dessouky (2008) realizaram filtração com cascalho e areia para reciclagem de águas residuais de lavanderia, focado nos baixos custos apresentados no processo. Os autores utilizaram areia com duas granulometrias e cascalho, dispostos em três camadas filtrantes, com 0,10 m de altura por camada. As três camadas foram dispostas em um tanque de aço inoxidável e a água residual foi passada através do material filtrante. Os resultados do experimento mostraram que o processo de filtração reduziu o pH, a turbidez, e sólidos totais. Por outro lado, teve um efeito insignificante sobre DQO, e os tensoativos não foram avaliados. A água tratada foi classificada como água de baixa qualidade.

Uma pesquisa em escala piloto proposta por Sostar-Turk et al., 2005, através de métodos convencionais de coagulação/floculação, sedimentação e filtração, indicam que os resultados não são suficientemente eficientes para remover os contaminantes presentes nas águas residuais de lavanderia. A qualidade do efluente tratado foi considerada demasiadamente baixa para reutilização, a remoção de DQO foi de 36% e ineficientes na remoção de surfactante. A agregação de coagulação/floculação com técnicas de adsorção em carvão ativado mostrou remoção da DQO e BOD<sub>5</sub> de aproximadamente 93%, já os surfactantes de 95%. Todos os parâmetros medidos estavam abaixo do limite de concentração de emissão para residuais.

Hoinkis e Panten (2008) testaram por cinco anos com sucesso a tecnologia de membranas em águas de lavanderia, através de uma planta piloto na cidade de Darmstadt, Alemanha. O processo utilizava biorreator de membranas (MBR) com microfiltração, no qual os autores obtiveram como resultado uma remoção de 90% da DQO, fornecendo uma água com qualidade para o processo de lavagem/reciclo. Sequencialmente, parte do permeado da MBR foi tratado por meio de osmose reversa, com o propósito de remover os sais, onde obtiveram uma taxa de retenção de sais próximo de 99%, com fluxo aproximado de 14L/m<sup>2</sup>h. Estes autores concluíram que, até 90% de efluentes do total podem ser reutilizados, sendo o processo de reciclagem do efluente de fácil manuseio, podendo ser adaptado a diferentes tipos de lavanderias.

### 3.5.3 Sistemas químicos

Segundo Boyjoo et al. (2013) os sistemas que incluem floculação, sedimentação e filtração são normalmente utilizados como uma fase de pré-tratamento, antes do tratamento biológico, ou ainda como um pós-tratamento, antes da desinfecção. A complementação do processo de tratamento físico-químico coagulação floculação dos efluentes pode ocorrer pela adoção de uma etapa de polimento através de adsorção, geralmente como o uso de carvão ativado, ou processos biológicos (MENEZES, 2003).

O processo físico-químico através da coagulação vem recebendo maior atenção, referenciado por Ciabatti et al. (2009), Friedler et al. (2008), Pidou et al. (2008) e Sostar-Turk et al. (2005), empregando na sequência adsorção por carvão ativado granulado (CAG) no uso do tratamento dos efluentes de lavanderias. Para Ciabatti (2009), um dos tratamentos mais utilizados em lavanderias industriais consiste em coagulação e floculação, seguida de flotação por ar dissolvido (FAD). A coagulação é um método bem conhecido, que ocorre por adição de substâncias químicas, como  $Al^{+3}$  e  $Fe^{+3}$ , ou polímeros orgânicos. Nesse processo, partículas muito pequenas são desestabilizadas por coagulantes e agregadas para que possam decantar ou flutuar. A utilização da flotação na sequência permite separar os flocos do líquido, como sistema de separação sólido/líquido, sendo a FAD preferencialmente utilizada quando os coágulos são leves (RUBIO et al., 2007).

Segundo Nascimento (2014), pelas características do processo de FAD, eventualmente uma pequena quantidade de flocos são levados junto com a água do processo, necessitando filtro de areia para reter, e na sequência filtro de carvão ativado, para redução, principalmente dos tensoativos. A adsorção utilizando carvão ativado granulado foi relatada por Ciabatti et al. (2009), Rampelotto (2014) e Sostar-Turk et al. (2005) que verificaram significativas reduções dos parâmetros, principalmente os tensoativos.

Os métodos de tratamento de efluentes como a incineração, adsorção, tratamento biológico e oxidação química e eletroquímica contém em seus processos poluentes orgânicos. O que definirá as características do tratamento será a facilidade de controle, confiabilidade e eficiência e não somente os custos do processo. Entre os métodos de tratamento empregados para a decomposição dos compostos orgânicos, distinguem-se os processos oxidativos avançados (POA's), os quais têm como base a aplicação de agentes reativos como os radicais  $\bullet OH$  que respondem por um processo oxidativo contundente.

Os agentes intermediários, como o hipoclorito ou  $\bullet\text{OH}$ , caracterizam-se em certas circunstâncias como exclusivos no processo de degradação do poluente orgânico e na sua mineralização. A composição química, concentração e força iônica da água residuária, POA's, como a oxidação Fenton, oxidação fotoquímica ou eletro-oxidação indireta, mediante  $\bullet\text{OH}$  gerado através da decomposição da água, irá determinar nesse processo a capacidade de êxito na remoção de poluentes orgânicos (PANIZZA; CERISOLA, 2001; MARTÍNEZ-HUITLE; FERRO, 2006; POLCARO et al., 2007; MARTÍNEZ-HUITLE; BRILLAS, 2009).

Os padrões aceitos no tratamento químico de água residual e potável requerem transporte, armazenagem e manipulação de produtos químicos perigosos, além de produzirem lamas tóxicas. Em contrapartida, nos processos biológicos o tratamento é de prazo dilatado, precisam de uma estrutura física ampla e dão origem a produtos biodegradáveis e células residuais. Com isso, estudos vêm sendo promovido, voltados para tecnologias mais avançadas acerca de tratamentos de efluentes.

### 3.6 REÚSO DE ÁGUAS NAS INDÚSTRIAS

A implementação de concepção da reutilização tornou-se uma questão operacional e ambiental importante no setor industrial, sendo uma ferramenta eficaz no desenvolvimento industrial sustentável (HOINKIS; PANTEN, 2008). O reaproveitamento de efluentes após seu tratamento para fins não potáveis tem se mostrado uma alternativa viável. Usualmente o tratamento de efluente convencional tem como objetivo atender aos padrões previstos na legislação, já a motivação para o reúso está na redução de custos e assegurar o abastecimento de água.

Definida a especificação da qualidade da água ser reutilizada, há a necessidade de compatibilizar a vazão a ser reutilizada com a vazão do efluente tratado. Na maioria das vezes ao implantar um sistema de reúso, complementa-se o sistema de tratamento de efluentes existente. A complementação do tratamento tem como objetivo garantir a qualidade do efluente tratado com a do uso a que estiver destinado (CONAMA 430, 2011).

Conhecendo as características das águas residuais, torna-se possível estabelecer parâmetros que satisfaçam os critérios recomendados ou os padrões que tenham sido fixados para determinado uso. As destinações da água de reúso não potável são bem abrangentes se devidamente tratadas. O manual de reúso da água da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2012) cita algumas das aplicações da água reciclada:

**Irrigação paisagística:** Parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de autoestrada, campus universitários, cinturões verdes, gramados residenciais.

**Irrigação de campos para cultivos:** Plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, proteção contra geadas.

**Usos industriais:** Refrigeração, alimentação de caldeiras, água de processamento.

**Recarga de aquíferos:** Recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha, controle de recalques de subsolo.

**Usos urbanos não-potáveis:** Irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas e pontos de ônibus.

**Finalidades ambientais:** Aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas, indústrias de pesca.

**Usos diversos:** Aquicultura, construções, controle de poeira, dessedentação de animais.

O reúso pode se tornar cada vez mais viável dependendo da qualidade necessária da água. Por exemplo, como alternativa em indústrias conforme as necessidades específicas, como solução na redução da demanda de água potável, conseqüentemente a demanda dos mananciais e de tratamento de água, além de minimizar a emissão de efluente no meio ambiente (XUJIE et al., 2010).

Segundo Hoinkis e Panten (2008), as lavanderias industriais, por emitir volumes expressivos de efluentes, podem ser consideradas potenciais de utilização da água de reúso. Portanto, não só o tratamento das águas residuais geradas nas lavanderias industriais, mas também a reciclagem da água possui um interesse especial (DEOWAN et al., 2015; HOINKIS; PANTEN, 2008).

Um número reduzido de pesquisas tem abordado o tema de reúso em lavanderias industriais. Foi desenvolvido por Sostar-Turk et al. (2005), através de métodos convencionais de coagulação/floculação, sedimentação e filtração e os resultados não são suficientemente eficientes para remover os contaminantes presentes nas águas residuais de lavanderia. A qualidade do efluente tratado foi considerada demasiadamente baixa para reutilização. A agregação de coagulação/floculação com outras técnicas, como adsorção em carvão ativado

ou microfiltração (MF)/Ultrafiltração (UF) também não deram resultados satisfatórios, não sendo eficiente na remoção de surfactante (SHANG et al., 2015; SOSTAR-TURK et al., 2005). Porém, para Sostar-turk et al., 2005 todos os parâmetros medidos estavam nos limites de emissão para a água a legislação local; contudo, a qualidade do produto não era suficientemente alta para reutilizá-la na lavanderia.

Configurações mais avançadas de tratamento foram propostas, levando em consideração a baixa eficiência dos sistemas de tratamento simples. Uma abordagem é a aplicação de biorreatores de membrana (HOINKIS et al., 2012; HOINKIS; PANTEN 2008). Hoinkis et al. (2012) indicaram que quando apenas é necessária uma qualidade de água baixa ou média, o efluente de MBR pode ser reutilizado diretamente como água de processo (por exemplo, para fins de lavagem). Contudo, no caso de requisitos mais rigorosos quanto a qualidade da água reciclada, é necessário um pós-tratamento adicional, utilizando, por exemplo, nanofiltração ou osmose inversa. Um sistema deste tipo, composto pela unidade membranas, equipada com membranas microfiltração e tratamento posterior de osmose inversa foi aplicado numa lavanderia comercial na Alemanha, onde parte do efluente foi pós-tratado e foi utilizado para enxágues (HOINKIS et al., 2012).

Outra solução proposta por Ciabatti et al. (2009) foi uma planta protótipo composta de (i) pré-tratamento físico-químico (coagulação, floculação e flotação de ar dissolvido (DAF)), (ii) filtração de areia, (iii) ozonização, filtração com carvão ativado granular e ultrafiltração. O resultado mostrou que o produto final (permeado de ultrafiltração), poderia ser possivelmente utilizado em alguns processos de lavagem de têxteis domésticos, embora o enxágue final fosse realizado com água primária.

#### **4. DISCUSSÃO**

Nesta pesquisa observou-se a existência de sistemas de tratamentos de águas residuais em lavanderia com diferentes complexidades que estão em estudo e implementadas no mundo. É muito difícil apontar o melhor sistema de tratamento de águas residuais de lavanderias, já que cada um tem suas vantagens e desvantagens dependendo do País que está sendo implementado o tratamento, considerando variáveis como custos, mão de obra especializada para operação do sistema, parâmetros de lançamento e/ou reúso do efluente, entre outros.

Aspecto relevante no processo de purificação de águas são as características na qualidade da água de abastecimento, considerado por Di Bernado e Sabogal Paz (2008), como componente de maior relevância do sistema, com influência direta na condição do tratamento. Assim como o grau de depuração que se pretende alcançar com o tratamento, ou seja, para lançamento no corpo receptor ou reúso/reciclo deste efluente. Normalmente quando o efluente é lançado nos recursos hídricos o tratamento é dimensionado em função do padrão estabelecido na legislação específica de cada local. Já quando esse efluente é destinado para reúso e/ou reciclo o grau de tratamento será determinado em função da qualidade requerida para seu uso, assim, o grau de depuração do sistema de tratamento proposto deve ser dimensionado. Para o dimensionamento, a maioria das pesquisas tem adotando métodos que podem ser biológicos, físico-químicos ou combinação dessas tecnologias. As tecnologias aplicadas para tratamentos de águas de lavanderia incluem sistemas físicos, biológicos e químicos (FANGYUE LI et al., 2009). A maioria destas tecnologias é precedida por um passo de separação sólido-líquido como pré-tratamento e seguido por um passo de desinfecção como pós-tratamento.

Métodos biológicos usados para o tratamento de águas residuais de lavanderia, como biofilme de leito móvel híbrido (HMBBR), reator de leito móvel (MBBR), reator granular de leito expandido (EGSB), referenciados respectivamente por Dacanal e Beal (2010) e Mozia et al. (2016), apresentaram efluentes de boa qualidade, e a associação com membranas de UF/NF forneceram uma excelente qualidade ao permeado. Suas desvantagens estão no custo, uso de produtos químicos para limpeza das membranas e exigência de profissionais capacitados para operação. Esses métodos, semelhantes à coagulação, geram uma quantidade significativa de lodo, no entanto, o excesso de lodo biológico pode ser utilizado na recuperação de solo, sendo isso, uma vantagem dos métodos biológicos (TARNOWSKI et al., 2016).

O tratamento físico pouco tem seu uso como com um tratamento principal, o mais comum é como um pré-tratamento ou pós-tratamento. A filtração proposta por Ahmad e Dessouky (2008) para o tratamento de águas de lavanderia não produziram efluentes de boa qualidade quando utilizaram agregados de granulometrias variadas na filtração. Membranas (MF, UF e OR) produzem efluente de boa qualidade, promovendo uma barreira contra bactérias e vírus (LODGE et al., 2004). Estes processos possuem uma alta demanda de energia, e é necessário profissionais especializados para operação e manutenção (LIN et al., 2005). Já a OR utiliza produtos químicos para ajustes do pH, fator prejudicial ao meio ambiente. Ainda, um dos problemas do tratamento físico está na transferência dos poluentes

de um meio para outro, levando a problemas potenciais de sua eliminação (BOYJOO et al., 2013).

O tratamento químico, como eletrocoagulação, coagulação, adsorção e POAs são atraentes perspectivas no tratamento de águas de lavanderias. Os tratamentos como a coagulação e adsorção têm custos baixos e são de simples operação, mas bem sucedidos apenas com cargas baixas de poluentes (SOSTAR-TURK et al., 2005). Adsorventes como o carvão ativado são abundantes, de baixo custo, e requerem baixa tecnologia, bem como uma alternativa ao ozônio para remoção de micropoluentes. No entanto, exigem a utilização de coagulantes, de forma semelhante aos processos físicos os poluentes são transferidos, em vez de serem eliminados. Para eliminar os compostos orgânicos recalcitrantes podem ser usados os POAs. Processos como fotocatalise, reagentes de Fenton, foto-fenton e ozonização têm sido utilizados com sucesso em águas residuais de indústrias (BOYJOO et al., 2013).

O processo de tratamento físico-químico inclui a sequência de coagulação, floculação, flotação por ar dissolvido, polimento com filtro de areia e adsorção com carvão ativado. Ciabatti (2009) teve como resultado o efluente nos limites da legislação Italiana para a descarga em águas superficiais, após a saída do filtro de CAG. Já para reutilização/reciclo, os resultados só foram alcançados com o acréscimo do tratamento final por UF. Sostar-turk et al. (2005) realizaram um experimento com as mesmas características retro citadas, e após o tratamento com GAC, a remoção de DQO e DBO<sub>5</sub> foi de 93%; e a remoção de surfactantes aniônicos foi de 95%, estando dentro dos padrões estabelecidos para legislação Eslovena. A qualidade do permeado produzido pelo módulo RO alimentado no permeado de UF foi satisfatória e aceitável para reutilização de água na indústria de lavanderia.

Os tratamentos biológicos são os que requerem menor uso de produtos químicos, mas geralmente estão associados a um pós-tratamento para atender os requisitos legais ou reciclo do efluente. Processos físico-químicos associados, como a sequência de coagulação, floculação, flotação por ar dissolvido, polimento com filtro de areia e adsorção com carvão ativado tem mostrado estar dentro dos limites para lançamento nos corpos hídricos. Contudo, para reúso/reciclo normalmente se requer uma maior depuração a depender de sua utilização/finalidade. Para a remoção de compostos orgânicos recalcitrantes é necessário adicionar processos oxidativos avançados. No entanto, os custos envolvidos devem ser analisados para tais processos, e mais pesquisas se fazem necessárias, com a utilização de luz solar por exemplo.

## 5. CONCLUSÃO

Uma análise das características de águas e efluentes líquidos de lavanderias foram apresentados, e métodos de tratamento foram revistos. Cada um dos processos de tratamento (biológico, físicos, químicos e processos associados), tem as suas peculiaridades, com suas respectivas vantagens e desvantagens, protótipos de sistemas apresentados com seus resultados e exemplos onde cada sistema tem sua utilização com sucesso.

Os processos biológicos apresentaram efluentes de boa qualidade, a associação com membranas de UF/NF fornecem uma qualidade superior para seu reúso/reciclo. Processos físicos por si só não são suficientes para garantir uma redução adequada dos produtos orgânicos, nutrientes e surfactantes. Portanto, não é recomendado para reciclagem de água de lavanderia. Os processos físico-químicos associados, como a sequência de coagulação, floculação, flotação por ar dissolvido, polimento com filtro de areia e adsorção com carvão ativado encontraram-se dentro dos limites para lançamento nos corpos hídricos. Contudo, para reúso/reciclo normalmente é necessário uma maior depuração.

## REFERÊNCIAS

- AHER, P. D.; PIMPLIKAR, S.S. Green Building Design A Sustainable future. **International Journal of Engineering Research and Applications**. v. 2, n. 5, p. 857 – 860, 2012.
- AHMAD, J.; DESSOUKY, H. Design of a modified low cost treatment system for the recycling and reuse of laundry waste water. **Resources, Conservation and Recycling**. n. 52 p. 973–978, 2008.
- ANDREOZZI, R., et al. Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. **Catalysis today**. v.53, n. 1, p. 51-59, 1999.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE LAVANDERIA – ANEL. São Paulo – SP, 2020. Disponível em: <https://anel.com.br/legislacao-do-setor/>. Acesso em 28 de janeiro de 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.211/92**: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro, 1992, 14 p., 1992.
- BERING, S., et al. The application of moving bed bio-reactor (MBBR) in commercial laundry wastewater treatment. **Science of The Total Environment**. v. 627, p. 1638 - 1643, 2018.
- BOYJOO, Y.; PAREEK, V. K.; ANG, M. A. Review of greywater characteristics and treatment processes. **Water Science & Technology**. n. 7, v. 67, p. 1403-1424, 2013.
- BRAGA, J. K.; VARESCHE, M. B. A. Commercial Laundry Water Characterisation. **American Journal of Analytical Chemistry**. n. 5, p. 8-16, 2014.
- BRAILE, P. M.; CAVALACANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias**. 1ª ed., São Paulo: CETESB. 764 p., 1993.
- BUSS, M. V., et al. Tratamento dos Efluentes de Uma Lavanderia Industrial: Avaliação da Capacidade de Diferentes Processos de Tratamento. **Revista de Engenharia Civil IMED**. v. 2, p. 2-10, 2015.
- CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Reúso de Água. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/39-Reúso-de-%C3%81gua>. Acessado em: 27/12/2012.
- CHANAN, A., et al. A gradualist approach to address Australia’s urban water challenge. **Desalination**. v. 3, n. 249, p. 1012–1016, 2009.
- CHARALAMBOS, N.; IOANNIS, V. Closing the water cycle for industrial laundries: An operational performance and techno-economic evaluation of a full-scale membrane bioreactor system. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 92, p. 128-135, 2014.
- CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MCFARLANE, S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. **Desalination**. n. 106, v. 1–3, p. 391–397, 1996.

CIABATTI, I., et al. Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. **Desalination**. v. 245, p. 451–459, 2009.

COLLINS, R.; KRISTENSEN, P.; THYSSEN, N. Water Resources across Europe e Confronting Water Scarcity and Drought. **European Environmental Agency**. EEA. Report series. n. 2. Copenhagen, 2009.

COMANA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO nº 23, de 12 de dezembro de 1996. Diário Oficial da União, n. 13, p. 499–526, 1997.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, 18 de março de 2005. Diário Oficial da União, n. 53, p. 58–63, 2005.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União, n. 92, p. 89–97, 2011.

DACANAL, M.; BEAL, L. L. Filtro anaeróbio associado à membrana de microfiltração tratando lixiviado de aterro sanitário. **Engenharia Sanitária Ambiental**. n. 1, v. 15, p. 11–18, 2010.

DASGUPTA et al. Remediation of textile effluents by membrane based treatment techniques: A state of the art review. **Journal of Environmental Management**, n. 147, p. 55 - 72, 2015.

DE FRAITURE, C.; WICHELNS, D. Satisfying future water demands for agriculture. **Agricultural Water Management**. v. 97, n. 4, p. 502–511, 2010.

DEOWAN, S. A.; BOUHADJAR, S. I.; HOINKIS, J. Membrane bioreactors for water treatment - Advances in membrane technologies for water treatment; Materials, processes and applications, Woodhead Publishing Series in Energy. **Science & Technology, Cambridge**. n. 75, v. 1, p. 155–184, 2015.

DI BERNARDO, L. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Programa de Pesquisa e Saneamento Básico (PROSAB) – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES) – Rio de Janeiro. 498 p., 2003.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. Editora LDIBE LTDA, São Carlos, SP. v. 1, 878 p., 2008.

DIAZ, et al. Wastewater-based resource recovery technologies across scale: A review. **Resources, Conservation & Recycling**. n. 145, p. 94–112, 2019.

DOBILAITÉ V, ALISAUSKIENÉ M., SACEVIENÉ V., Study of textile waste generation and treatment in Lithuania. **Fibres & textiles in Eastern Europe**. V.6, n. 25, p. 8-13, 2017.

FANGYUE LI, A.; WICHMANN, K.; OTTERPOHL, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. **Science of the total environment**. n. 407, p. 3439 – 3449, 2009.

FARIAS, M. R. **Manual para lavanderias: a revolução na arte de lavar**. 2a ed. Caxias do Sul, RS: Educs, 355 p., 2006.

FATONEA, F., et al. Editorial of the IWA H<sub>2</sub> Open Journal - Disseminating research addressing 21st century water challenges to all. **H<sub>2</sub> Open Journal**. v. 1, n. 2, 2018.

FRIEDLER, E.; KATZ, I.; DOSORETZ, C. G. Chlorination and coagulation as pretreatments for greywater desalination. **Desalination**, n. 1-3, v. 222, p. 38–49, 2008.

FROST, B. Ending extreme poverty, what do the SDGs mean for access to water, sanitation and hygiene. **IWA World Water Congress**. October, Brisbane, 2016.

GARRIDO-BARSEBA, et al. Implementation of a knowledge-based methodology in a decision support system for the design of suitable wastewater treatment process flow diagrams. **Journal of environmental management**. v. 112, p. 384-391, 2012.

GONÇALVES, R. F., et al. Caracterização e tratamento de diferentes tipos de águas residuárias de origem residencial após segregação. **Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**. Sección Uruguay. Rescatando antiguos principios para los nuevos desafíos del milenio. **AIDIS**. 10 p., 2006. Punta del Este, Montevideo, Uruguay.

GRABOWSKA, L. E.; GRYGLEWICZ, G. Adsorption characteristics of Congo Red on coal-based mesoporous activated carbon. **Dyes Pigments**. n. 74, p. 34–40, 2007.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova**. v. 23, p. 71-78, 2000.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. **Reuso de água**. 1<sup>a</sup> ed., Ed. Manole; (USP), p.37- 95, 2003.

HOINKIS, J.; PANTEN, V. Wastewater recycling in laundries – From pilot to large-scale plant. **Chemical eng and processing**. v. 47, p. 1159 – 1164, 2008.

HOINKIS, J., et al. Membrane bioreactor (MBR) technology—a promising approach for industrial water reuse. **Procedia Eng**. n. 33, p.234–241, 2012.

ITABORAHY, M. A.; SILVA, V. H. Indústrias de confecção no município de Cianorte-PR e a necessidade de implantação de programas de Gestão Ambiental. **Revista Ciências Empresariais**. v. 12, n. 1, p.360-387, 2006.

KANT, S; JABER F. J.; KARTHIKEYAN R. Evaluation of a portable in-house greywater treatment system for potential waterreuse in urban areas. **Urban Water Journal**. v. 15, n.4. p. 309 - 315, 2018.

KATO, M. T., et al. Feasibility of expanded granular sludge bed reactors for the anaerobic treatment of low-strength soluble wastewaters. **Biotechnology & Bioengineering**. n. 44, p. 469 - 479, 1994.

KUNZ, A.; ZAMORA, P. P. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**. v. 25, n. 1, p 78 - 82, 2002.

- LIN, C. J., et al. Pilot-scale electrocoagulation with bipolar aluminum electrodes for on-site domestic greywater reuse. **Journal of Environmental Engineering** . n. 131, p. 491, 2005.
- LIU, S.; PAPAGEORGIOU, L. G.; GIKAS, P. Integrated management of nonconventional water resources in Anhydrous islands. **Water Resources**. v. 26, n. 2, p. 359 - 375, 2012.
- LODGE, B.; JUDD, S. J.; SMITH, A. J. Characterisation of deadend ultrafiltration of biotreated domestic wastewater. **Journal of Membrane Science**. n. 231, p. 91 – 98, 2004.
- LORENC-GRABOWSKA , E.; GRYGLEWICZ, G. Adsorption characteristics of Congo Red on coal-based mesoporous activated carbon. **Dyes Pigments**. n. 74, p. 34 – 40, 2007.
- MARTÍNEZ-HUITLE, C. A.; FERRO, S. Electrochemical oxidation of organic pollutants for the wastewater treatment: Direct and indirect processes. **Chemical Society Reviews**. v. 35, p. 1324–1340, 2006.
- MARTÍNEZ-HUITLE, C. A.; BRILLAS, E. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: Review. **Applied Catalysis B: Environmental**. v. 87, p. 105-145, 2009.
- MAUCHAUFFEE, S.; DENIEUL, M. P.; COSTE, M. Industrial wastewater re-use: closure of watercycle in the main water consuming industries – the example of paper mills. **Environmental Technology**. v. 33, n. 19, p. 2257–2262, 2012.
- MENEZES, S. S. C. J. Tratamento e reciclagem do efluente de uma lavanderia industrial. 118 p. Dissertação (Tecnologia Mineral e Metalurgia Extrativa) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2005.
- MOLDEN, D., et al. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. **Agricultural Water Management**. v. 97, n. 4, p. 528–535, 2010.
- MORRISON, J. MORIKAWA, M., MURPHY, M., SCHULTE, P.; Water scarcity & climate change: growing risks for Businesses and investors. **Ceres**. n. 60, fev., 2009.
- MOZIA, S., et al. A systemcoupling hybrid biologicalmethod with UV/O3 oxidation and membrane separation for treatment and reuse of industrial laundry wastewater. **Springer-Verlag**. Berlin, 11p., 2016.
- NASCIMENTO, L. F. Aquafлот Ambiental Ltda. **Memorial descritivo estação de tratamento de água ETALAV**. p. 4, 2014.
- NAWAZ, S. M. A.; AHSAN, M. Comparison of physico-chemical, advanced oxidation and biological techniques for the textile wastewater treatment. **Alexandria Engineering Journal**. n. 53, p. 717–722, 2014.
- PANIZZA, M.; CERISOLA, G. Removal of organic pollutants from industrial wastewater by electrogenerated Fenton's reagent. **Water Research**. v. 35, p. 3987-3992, 2001.
- PEREIRA, L. S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Water Manage**. v. 57, n. 3, p. 175-206, 2002.

PICCHIAI, D.; FARIAS, R. M. A visão sistêmica da Lavanderia Hospitalar: Limites e Propostas. **Revista de Gestão em Sistemas de Saúde**. v. 2, n. 2, p. 124-147, 2013.

PIDOU, M. et al. Chemical solutions for greywater recycling. **Chemosphere**. n. 1, v. 71, p. 147–155, 2008.

POLCARO, A. M., et al. Characterization of a stirred tank electrochemical cell for water disinfection processes. **Electrochim Acta**. v. 52, p. 2595–2602, 2007.

PRATHAPAR, S. A., et al. Overcoming constraints in treated greywater reuse in Oman. **Desalination**. v. 186, n. 1–3, p. 177–186, 2005.

RABELO, D. Serviço brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas - SEBRAE – **Ideias de Negócios Sustentáveis - Lavanderia**. 65 p., 2012.

RAMPELOTTO, G. **Caracterização e tratamento de águas cinza visando reúso doméstico**. 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2014.

REALI P. A. M., Moruzzi B. R., Patrizzi J.L. Flotação por ar dissolvido aplicada na clarificação de águas que apresentam picos de turbidez. **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. V. I, pag. 9, 2003.

ROCHA, H. B. J. **Tecnologia eletroquímica como tratamento alternativo de efluentes derivados da indústria têxtil e petroquímica**. 2014. 160f. Tese (Doutorado em Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, 2014.

RUBIO, J.; CARISSIMI, E.; ROSA, J. J. Flotation in water and wastewater treatment and reuse: recent trends in Brazil. **International Journal of Environment and Pollution**. v. 30, n. 2, p. 197-212, 2007.

SCHAAF, N. et al. **Water and Pharmaceuticals – a shared responsibility**, Working Paper 26, SIWI, Stockholm, 2016.

SHANG, X.; KIM, H.C.; HUANG, J. H. Dempsey BA Coagulation strategies to decrease fouling and increase critical flux and contaminant removal in microfiltration of laundry wastewater. **Separation and Purification Technology**. v. 147, p. 44–50, 2015.

SAFT, K.G.; CALHEIRO, D. Avaliação ambiental de processos de lavagem de roupas em uma lavanderia industrial. **5º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**. São Leopoldo – RS, 10 p., 2014.

SAXENA, S.; RAJA, A. S. M.; ARPUTHARA, J. A. Textiles and Clothing Sustainability. **Journal of Cleaner Production**. n. 198, p. 806 - 819, 2017.

SCHEWE, J., et al. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. p. 3245-3250, 2014.

SOSTAR-TURK, S.; PETRINIC, I.; SIMONIC, M. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. **Resources, Conservation and Recycling**; v. 44, n. 2, p. 185–196, 2005.

TARNOWSKI, K. et al. Studies on potential use of sludge from an industrial laundry. **Przemysl Chemiczny**. n. 95, p. 3, 2016.

TELLES, D. D.; COSTA, P. R. **Reúso da Água – Conceitos, teorias e práticas**. 2 ed. São Paulo: Blucher. 408 p., 2010.

UNICEF. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities. New York: United Nations Children’s Fund (UNICEF) and World Health Organization, 140 p., 2019.

XUJIE LU, et al. Textile wastewater reuse as an alternative water source for dyeing and finishing processes: A case study. **Desalination**. n. 258, p. 229–232, 2010.

## 5.2 MANUSCRITO 2

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE  
ÁGUAS RESIDUAIS DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL**Geraldo Rampelotto<sup>1</sup>, Elvis Carissimi<sup>1,2\*</sup>

*<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, <sup>2</sup>Departamento de Engenharia Sanitária  
e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria*

\*Autor correspondente

Elvis Carissimi

Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia,

Programa de Pós - Graduação em Engenharia Civil,

Av. Roraima, 1000 – CEP: 97105-900 Santa Maria-RS – Brasil.

E-mail:ecarissimi@gmail.com

## CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL

### RESUMO

O setor de lavanderias industriais apresenta um elevado consumo de água, conseqüentemente produzindo abundante volume de efluente, tema de interesse global, especialmente em função da escassez de água, demonstrando a importância do tratamento dos efluentes líquidos. Os efluentes de lavanderias, quando devidamente tratados, podem ser reutilizados para consumo não potável na indústria, desde que não proporcione riscos à saúde dos usuários e tenha padrão de qualidade. Neste contexto, foi realizado um estudo em escala industrial de uma lavanderia, durante o período de aproximadamente cinco anos, maio de 2015 a outubro 2019, onde a lavanderia apresenta uma vazão máxima de 5m<sup>3</sup>/dia, potencial poluidor alto que gera grande volume de efluentes líquidos, que, se não tratado de forma adequada causam sérios problemas com seus rejeitos ao serem lançados no corpo hídrico, merecendo atenção especial, principalmente no processo de tratamento. O processo avaliado foi o de flotação por ar dissolvido (FAD), combinado com filtros de areia e carvão ativado para polimento. Os objetivos deste estudo consistiram em caracterizar e avaliar a eficiência do processo de tratamento em escala real, comparar os resultados finais com os padrões de emissões permitidos pelas resoluções CONSEMA 128/2006, e 355/2017, analisando a diferença entre a entrada e saída do efluente para os seguintes parâmetros: temperatura, pH, DQO, sólidos suspensos, óleos/graxas e tensoativos. Através do teste de hipótese e de significância foi verificado se o permeado encontrar-se-ia de acordo com os padrões de lançamento da legislação. Verificou-se que há um intervalo amplo nos valores do influente para os parâmetros sólidos suspensos (17,9 mg/L - 87,5 mg/L), tensoativos (0,2 mg/L - 87,5 mg/L), óleos e graxas (5mg/L - 87,5 mg/L), DQO (192,2 mg/L - 1300 mg/L), em que se constatou que há eficiência após o tratamento para sólidos suspensos, tensoativos, óleos e graxas e DQO, respectivamente de 54,7%; 2,4%; 43,3% e 48,5% .

**Palavras chave:** Lavanderia, Tratamento industrial, Filtração.

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um assunto cada vez mais discutido no mundo devido sua escassez (WANG; ZIMMERMAN, 2016). Como o setor de lavanderias industriais demanda um consumo de água elevado, o tema acerca do tratamento de efluentes líquidos é relevante, sobretudo no tocante a qualidade das águas que são descartadas pelas empresas (MAUCHAUFFEE et al., 2012). O tratamento dos efluentes de lavanderias é particularmente complexo, motivado pelo elevado teor de tensoativos presentes, conjugado com as cargas orgânicas e inorgânicas advindas da lavagem de tecidos (CIABATTI et al., 2009).

Braga e Varesche (2014) acreditam que as descargas que contém tensoativos podem causar alterações graves na biota, em consequência da alteração na tensão superficial da água. As lavanderias utilizam elevado teor de produtos químicos, com características físico-químicas em função do tipo de “roupa/tecido” a ser lavado, sugerindo uma variação no teor de produtos químicos no seu efluente. Conforme Sostar-Turk et al. (2005), as águas residuais de lavanderias podem conter óleos minerais, metais pesados e substâncias perigosas na faixa de DQO entre 1.200 e 20.000 mgL<sup>-1</sup>. Lavanderias de hospitais que contém gordura, restos de alimentos, sangue e urina têm valores de DQO de 400-1200 mgL<sup>-1</sup>, e lavanderias com itens de casas e hotéis apresentam valores de DQO de 600 a 2500 mgL<sup>-1</sup>. Segundo Boyjoo et al. (2013), os efluentes provenientes das lavanderias como sólidos suspensos, possuem valores no intervalo de 35 mgL<sup>-1</sup> a 315 mgL<sup>-1</sup>, respectivamente.

Normalmente, os processos de tratamento de efluentes líquidos têm como base atender aos regulamentos legais e a certos requisitos para o lançamento do tratado em corpos hídricos (BASTIAN et al., 2009). O padrão de lançamento no Rio Grande do Sul está previsto na resolução Consema 355/2017 que dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais. Diferentes tecnologias de tratamento são utilizadas para purificar águas residuais na indústria de lavagem têxtil antes de ser descarregada, e a complexidade do processo varia em função do local, tamanho da instalação, volume de água utilizado, qualidade da água fornecida, produtos químicos consumidos, tipo de material lavado e as especificidades de requisitos da legislação ambientais nacionais e locais (NAWAZ; AHSAN, 2014).

No tratamento dos efluentes de uma lavanderia, a escolha do processo deve combinar esforços de forma segura e econômica, e as alternativas podem envolver processos físicos, químicos e/ou biológicos. Um dos principais processos físicos é a filtração, geralmente é utilizado na fase de pré ou pós-tratamento, antes da desinfecção. March et al. (2004)

empregaram a filtração como pré-tratamento em águas cinzas de uma lavanderia, utilizando peneiras metálicas. Al-Jayyousi (2003), Al-Hamaiedeh e Bino (2010), Chaillou et al. (2011) e Mandal et al. (2011) relataram este processo em meio granular com areia e cascalho, porém, apenas a filtração mostrou-se ineficiente na remoção de produtos orgânicos, nutrientes e agentes patogênicos, demonstrando que este processo não é recomendado quando for necessário uma boa qualidade de água.

Em relação aos processos biológicos, quando utilizados de forma isolada não são suficientes para atender os padrões de descarga exigidos em efluentes têxteis (HOLKAR et al., 2016); corroborando com o estudo de Montano et al. (2006), que considera que o tratamento biológico de esgotos, em geral é uma opção pouco eficiente. Além disso, o tratamento biológico convencional apresenta certas desvantagens, como a alta produção de lodo e a necessidade de manutenção frequente (LIEHR et al., 2004).

Conforme Boyjoo et al. (2013), os sistemas que incluem floculação, sedimentação e filtração são normalmente utilizados como uma fase de pré-tratamento, antes do tratamento biológico, ou, como um pós-tratamento antes da desinfecção. O processo físico-químico, através da coagulação, vem recebendo maior atenção para lavanderias industriais e hospitalares, respectivamente, referenciado por Ciabatti et al. (2009) e Sostar-Turk et al. (2005); e Friedler et al. (2008) e Pidou et al. (2008), no tratamento de águas cinzas residenciais, empregando na sequência adsorção por carvão ativado granulado (CAG) no tratamento dos efluentes. Enquanto a flotação constitui um processo de separação que se originou do processamento mineral, que, atualmente, foram ampliadas para o tratamento de água e esgoto (KYZAS; MATIS, 2018).

Os sistemas naturais são aqueles em que se utilizam solos e plantas para realizar a filtração e degradação biológica. Para Boyjoo et al. (2013), esses sistemas existem principalmente em países de renda média e baixa, em função do seu baixo custo (DALAHMEH et al., 2009; MEMON et al., 2007), sendo que podem ser utilizados como tratamento primário ou secundário.

Os métodos e barreiras para atingir o padrão desejado são diversos, sendo usualmente subdivididos em etapas, de acordo com o nível de tratamento desejado. Segundo Braga e Varesche (2014), a avaliação do método de tratamento adequado deve-se ter por base o conhecimento das características específicas de águas residuais. A composição dos efluentes industriais é variável, tornando-se imprescindível as associações de diversos níveis de tratamento para atingir efluentes com as qualidades requeridas pelos padrões de lançamento.

Alguns aspectos devem ser observados na delimitação do processo de tratamento, considerando fatores como: custos de investimento e operacionais, produtos químicos, mão de obra especializada, manutenção, controle analítico e geração de resíduos, área disponível, clima, legislação, a classe do corpo receptor, assistência técnica e controle da operação (NAWAZ; AHSAN, 2014).

O objetivo deste estudo é a caracterização e avaliação do tratamento dos efluentes de uma lavanderia industrial em escala real, realizado através da coagulação e floculação, combinado com o processo de flotação por ar dissolvido (FAD), filtros de areia e carvão ativado para polimento. A caracterização e o monitoramento em termos de vazão, temperatura, pH, DQO, sólidos suspensos, óleos e graxas minerais e tensoativos. Tais parâmetros avaliados são os demandados no documento de licenciamento ambiental para lançamento dos efluentes líquidos na drenagem pluvial. Vários estudos sobre tratamentos de águas de têxteis têm sido realizados com diferentes tecnologias que podem variar em complexidade e desempenho (FANGYUE et al., 2009). No entanto, não estão disponíveis ou são insuficientes, já que são raros estudos por um longo período de tempo (superior a 365 dias) das águas residuais de lavanderia.

Dessa forma, este trabalho é considerado inovador, onde foi realizado o monitoramento de uma Lavanderia industrial de tratamento de águas de lavagem de roupas por um período de tempo de 52 meses.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Área de Estudo**

A lavanderia industrial do estudo tem classificação pelo órgão ambiental de pequeno porte, e potencial poluidor alto, denominada ECOLAV - Lavanderia e Comercio de Confecções Ltda., localizada em Santa Cruz do Sul, RS, Brasil, atua no ramo de lavagem de roupas domésticas e artefatos industriais, desde 2005, tendo como principais clientes pessoas físicas, hotéis, clínicas médicas e geriátricas, restaurantes e empresas metalúrgicas. Para o desenvolvimento das atividades são utilizados equipamentos convencionais de lavagem (máquinas de lavar de tambor), capacidade de lavagem mensal de 3000 kg de peças, ciclo de produção utilizando o volume de água de 500 m<sup>3</sup>/mês, que gera um efluente líquido de aproximadamente o mesmo volume, possuindo nove lavadoras, três centrífugas, três mesas passadoras e oito secadoras. Os procedimentos de lavagem comuns no ramo, como:

desengomagem, desbotamento, estonagem, e amaciamento entre outros, geram efluentes que devem ser tratados antes de serem lançados nos mananciais hídricos.

Na etapa de lavagem os principais produtos utilizados contêm tensoativos (tensoativos aniônicos e não iônicos), bem como espessante, coadjuvante, conservante, umectante, corantes, agentes sequestrantes, suspensivos, dispersantes, complexantes, branqueador óptico, mistura de hidrocarbonetos aromáticos, resinas emulsionadas, resinas emulsionadas, bactericidas, fungicidas, hidróxido de sódio e hipoclorito de sódio.

A Tabela 1 apresenta uma estimativa da quantidade mensal dos produtos utilizados e sua composição.

Tabela 1 – Estimativa mensal de insumos utilizada no processamento de lavagem.

| <b>Insumo/nome comercial</b>                              | <b>Composição</b>   | <b>Quantidade utilizada/unidade</b> |
|---|---|-------------------------------------|
| Detergente neutro concentrado                             | Tensoativos Aniônicos (Dodecil Benzeno Sulfonato de Sódio e Lauril Éter Sulfato de Sódio), Espessante, Alcalinizante (Hidróxido de Sódio), Coadjuvante, Conservante, Umectante, Corantes. | 100 kg                              |
| Sabão em pó concentrado<br>CLARIT 7000                    | Tensoativos aniônicos, não iônicos, agentes sequestrantes, suspensivos, dispersantes, coadjuvantes, complexantes, alcalinizantes, branqueador óptico e corante                            | 50 kg                               |
| Desengraxante<br>TEXSPAR DEGREASE                         | Mistura de hidrocarbonetos aromáticos e tensoativos não iônicos   | 10 kg                               |
| Goma líquida GMI-TR ou Inibidor para transferência de cor | Mistura sinérgica de resinas emulsionadas e com elevada solubilidade em água.   | 5 litros                            |
| Detergente para tênis – DT TÊNIS                          | Mistura sinérgica de tensoativos aniônicos, alcalinizantes, desengraxantes de efetividade e biocida.  | 5 litros                            |
| Detergente para couro – DT CR                             | Tensoativos não iônicos, umectantes e amaciantes naturais   | 5 litros                            |
| Capturador de odores - CAPT DM<br>COMFORT                 | Bactericidas/Fungicidas, catiônicos de elevada efetividade, óleos essenciais e tensoativos umectantes.  | 10 litros                           |
| Hipoclorito de sódio                                      | hipoclorito de sódio (NaClO) mínimo 11%, hidróxido de sódio (NaOH) máximo 1,5%;   | 150 kg                              |
| Peróxido de hidrogênio                                    | Peróxido de hidrogênio, solução aquosa 50%; 200 volumes.  | 100 kg                              |
| Metabissulfito de sódio                                   | Metabissulfito de sódio/pirossulfito de sódio, Dióxido de enxofre, cloreto de sódio e ferro.  | 20 kg                               |

| <b>Insumo/nome comercial</b>                       | <b>Composição</b>  | <b>Quantidade utilizada/unidade</b> |
|--|--|-------------------------------------|
| Sabão de glicerina em barra                        | Óleo vegetal, carbonato de sódio, cloreto de sódio, gordura animal, palmiste, branqueador óptico, alcalinizante(hidróxido de sódio), álcool, sorbitol, glicerina bidestilada, sacarose, fragrância e água. | 10 kg                               |
| Corante sulfuroso / Marinho Sulfuroso 4 RT-VLDS AC | Sal, Alcalis, agentes oxidantes, agentes redutores e corantes  | 5 kg                                |
| Cloreto de sódio                                   | Cloreto de sódio   | 5 kg                                |
| Redutor/estabilizador para tingimento – TEXPAL ULL | Composição sinérgica de compostos redutores em solução de elevada concentração.  | 3 kg                                |
| Soda cáustica escamada                             | Hidróxido de sódio   | 2 kg                                |

Fonte: Lavanderia ECOLAV, 2020. Uma descrição completa dos insumos como composição química, peso molecular, entre outras, não foi apresentada em função do sigilo industrial alegado pelos fabricantes.

## 2.2 Coleta e análise dos efluentes da lavanderia

As coletas e análises quali-quantitativas dos efluentes foi terceirizada, executada através do Laboratório de Análises Ambientais da Universidade de Santa Cruz (UNISC), sede em Santa Cruz do Sul, RS, devidamente cadastrado no órgão ambiental Estadual (FEPAM) como laboratório de análises ambientais, sob o certificado número 00009/2015-DL. As coletas foram efetuadas em dois pontos de monitoramento, sendo um na entrada do tratamento, denominados influente e outro na saída do tratamento efluente. O período de monitoramento compreendeu o tempo de quatro anos e quatro meses, entre 05 de maio de 2015 a 16 de outubro 2019, onde foram efetuadas 295 avaliações, distribuídas em 56 amostras do influente e 239 do efluente. Assim, foram coletados os resíduos líquidos (bruto), que são aqueles que saem dos equipamentos de lavagem e tem o tratamento iniciado com grades e peneiras para retenção de sólidos maiores, principalmente fios residuais dos tecidos, e depois são conduzidos para um tanque de equalização, onde se encontra a mistura da saída de todos os equipamentos da lavanderia. O efluente tratado foi coletado após passar pelo processo completo, por flotação, filtro de areia e carvão ativado granular.

Assim, foram avaliados os parâmetros como temperatura, sólidos suspensos, óleos e graxas, demanda química de oxigênio (DQO), pH, e tensoativos, os quais são previstos no licenciamento, de acordo com o disposto na resolução CONSEMA números 128/2006, 355/2017 e 372/2018. A atividade é classificada como de impacto local pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Saneamento e Sustentabilidade (SMMASS) de Santa Cruz do Sul, conforme licença de operação número 036/2015 e 080/2019, que indica que os efluentes líquidos industriais, após tratamento, devem atender padrões de emissão conforme padrão de emissão para lançamento em corpos hídricos.

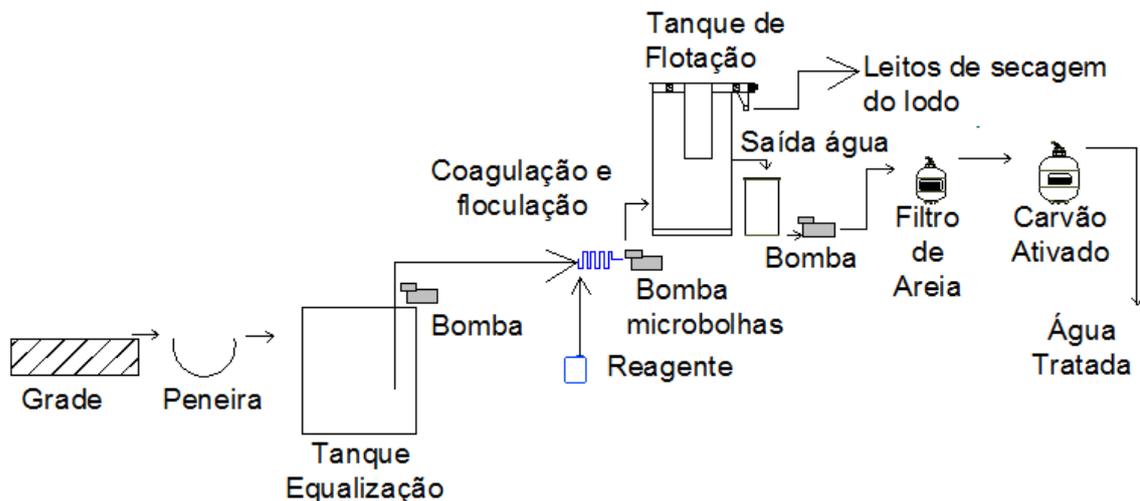
Os parâmetros avaliados para a lavanderia estão descritos em conformidade com as resoluções CONSEMA 128/2006 e CONSEMA 355/2017, já que, ocorreu uma alteração na legislação ambiental. A primeira legislação, CONSEMA 128/2006, dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, a qual foi revogada e passou a valer a resolução CONSEMA 355/2017, relacionada ao lançamento de efluentes líquidos em águas superficiais. A metodologia empregada nas análises destes parâmetros seguiram o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2015).

### 2.3 Processo de tratamento

O sistema de tratamento de efluentes foi constituído basicamente de grades/peneira, tanque de equalização com capacidade de 10m<sup>3</sup>, sistema de recalque do efluente a partir do tanque de equalização, medição de vazão, medidor de área variável (rotâmetro), unidade de coagulação hidráulica (em PVC, para geração dos coágulos dos contaminantes), unidade de floculação hidráulica (em PVC, para geração de flocos), unidade de flotação por ar dissolvido, dotada de câmara de flotação com raspador mecânico de lodo e unidade de controle de nível, leitos de secagem do lodo, sistema de reciclo e despressurização, contando com sistema gerador de microbolhas e sistema de distribuição de fluxo, sistema de armazenagem e dosagem de reagente químico orgânico natural, medição de vazão por medidor de área variável (rotâmetro), unidade de filtração com areia e duas unidades de filtração por carvão ativado.

Na Figura 1 está representado o esquema da estação de tratamento de efluentes da lavanderia e suas fases nos processos de purificação do efluente líquido do estudo.

Figura 1 - Esquema da estação de tratamento de efluentes da lavanderia



Fonte: Autor, 2020.

## 2.4 Análises estatísticas dos dados

Para análise dos dados foi utilizado o *software* estatístico R [2], e comparada à diferença entre o influente (antes) e o efluente (depois) do tratamento, estudando a diferença para cada variável (pH, temperatura, sólidos suspensos, tensoativos, óleos e graxas e DQO). A estatística descritiva apresentada contém a quantidade de observações da amostra (N), desvio padrão, mínimo e máximo, primeiro e terceiro quartil e mediana.

Para examinar estatisticamente se os valores de efluentes são iguais aos influentes, foi realizado o teste de hipóteses de Wilcoxon Pareado, e se o p-valor for menor que 0,05, uma significância estatística de 5%, aceita-se que a hipótese tem diferença entre o valor efluente e influente, caso contrário, são iguais. Para verificar se as variáveis do efluente tratado se comportam de acordo com os padrões estipulados pelas legislações CONSEMA 128/2006 e 355/2017, que dispõe sobre o padrão de emissão para lançamento em corpos hídricos, utilizou-se o Teste t, com a hipótese e se  $p < 0,05$  a variável não segue o padrão, caso contrário segue o padrão preconizado pelo órgão ambiental.

Os parâmetros de qualidade foram controlados através da amostragem antes e após a saída do tratamento, com a finalidade de acompanhar o desempenho geral do sistema de tratamento. A eficiência  $\eta$  foi calculada, com base nas médias dos valores de acordo com a equação;  $\eta (\%) = ((C_i - C_f) / C_i \times 100)$ , em que  $C_i$  é a concentração média influente (inicial) do poluente e  $C_e$  é a concentração média do efluente (final).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Monitoramento dos influentes e efluentes

Na Tabela 2 e 3 encontram-se as características físico-químicas do influente e do efluente pelo período de estudo (52 meses de monitoramento).

Tabela 2 – Características dos influentes no período 07/05/2015 a 10/09/2019.

| <b>Parâmetro</b>                | <b>n</b> | <b>Média</b> | <b>Desvio padrão</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Mediana</b> | <b>Máximo</b> |
|---------------------------------|----------|--------------|----------------------|---------------|----------------|---------------|
| <b>Temperatura (°C)</b>         | 7        | 23,14        | 2,62                 | 19            | 23,60          | 27,10         |
| <b>pH</b>                       | 9        | 7,81         | 0,73                 | 7,04          | 7,56           | 9,56          |
| <b>Sólidos Suspensos (mg/L)</b> | 8        | 52,45        | 23,05                | 17,86         | 54,12          | 87,50         |
| <b>Tensoativos (mg/L)</b>       | 8        | 1,60         | 1,60                 | 0,20          | 3,80           | 5             |
| <b>Óleos e Graxas (mg/L)</b>    | 8        | 24,85        | 25,73                | 5             | 11             | 73,10         |
| <b>DQO (mg/L)</b>               | 8        | 411,63       | 368,62               | 192,24        | 284,17         | 1300          |

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 3 – Características dos efluentes no período 07/05/2015 a 10/09/2019.

| <b>Parâmetro</b>                | <b>n</b> | <b>Média</b> | <b>Desvio padrão</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Mediana</b> | <b>Máximo</b> |
|---------------------------------|----------|--------------|----------------------|---------------|----------------|---------------|
| <b>Temperatura (°C)</b>         | 45       | 24,76        | 4,32                 | 12            | 25,40          | 31,60         |
| <b>pH</b>                       | 44       | 7,13         | 0,55                 | 6,17          | 7,02           | 9,41          |
| <b>Sólidos Suspensos (mg/L)</b> | 9        | 23,73        | 23,67                | 2,50          | 17,50          | 75,00         |
| <b>Tensoativos (mg/L)</b>       | 44       | 3,07         | 4,24                 | 0,1           | 1,6            | 18,60         |
| <b>Óleos e Graxas (mg/L)</b>    | 44       | 14,10        | 17,51                | 0             | 7,7            | 88,8          |
| <b>DQO (mg/L)</b>               | 45       | 212,10       | 147,67               | 34,88         | 191,41         | 691,20        |

Fonte: Autor, 2020.

O número de amostras produzidas no período está relacionado com o mínimo recomendado pelo órgão ambiental na licença de operação, ou seja, os influentes com coletas semestrais e os efluentes coleta mensal. A vazão é de aproximadamente 5,0m<sup>3</sup>/dia, por se tratar de empreendimento de pequeno porte, ficando dentro dos padrões requeridos nas resoluções do CONSEMA 128/2006 e 355/2017.

A temperatura influente e efluente apresentou valores máximos de 27,10 °C e 31,60 °C, respectivamente, e estão em conformidade com as resoluções recomendadas no licenciamento, ou seja, menor que 40 °C. O pH tem comportamento próximo do intervalo recomendado entre 6,0 e 9,0; e sua média influente pH = 7,04; e efluente pH = 6,17; no padrão esperado para lançamento no corpo receptor, conforme legislação Brasileira Resolução CONAMA nº 430 de 13/05/2011; que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e

diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, bem como na Legislação do Estado do Rio Grande do Sul, CONSEMA 355/2017.

Apenas uma amostra do total dos dados do efluente foi superior ao intervalo recomendado; representando 2,50% do total das amostragens do efluente. Para o valor do pH, o mesmo demonstrou-se elevado na entrada do tratamento (influyente), valor máximo de 9,56 (pH), possivelmente por uma carga pontual de insumos utilizado no processamento de lavagem, como hidróxido de sódio, corroborado por estudos realizados por Eriksson et al. (2002) que relataram que o valor do pH é diretamente proporcional a sua entrada (influyente).

Os sólidos suspensos são motivos de preocupação, especialmente por causarem possíveis obstruções no sistema de tratamento, por sua quantidade excessiva, e por adsorverem contaminantes orgânicos, metais pesados e microrganismos dos desinfetantes (BOYJOO et al., 2013). De acordo com Braga e Varesche (2014) e Ciabatti et al. (2009), os limites para sólidos suspensos totais foram encontrados em intervalos maiores, como indicado na Tabela 4.

Tabela 4 – Comparação da caracterização das águas de lavanderia industrial, limites mínimos e máximos dos influentes (não tratado).

| Variável (UN.)                                     | Resultados do estudo | Braga e Varesche (2014) | Ciabatti et al.(2009) |
|--|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| <b>Vazão (m<sup>3</sup>/dia)</b>                   | 5,0                  | -                       | -                     |
| <b>Temperatura (°C)</b>                            | 19 - 27,10           | -                       | -                     |
| <b>pH</b>  | 7,04 - 9,56          | 3,3 – 6,8               | 7,0 – 9,0             |
| <b>DQO (mgL<sup>-1</sup>)</b>                      | 192,24 – 1300        | 622,25 - 4795,80        | 400 – 1000            |
| <b>Sólidos suspensos totais (mgL<sup>-1</sup>)</b> | 17,86 - 87,50        | 10 - 290                | 90 - 200              |
| <b>Óleos e Graxas (mgL<sup>-1</sup>)</b>           | 5,0 - 73,10          | -                       | -                     |
| <b>Tensoativos (mgL<sup>-1</sup>)</b>              | 0,20 - 5,00          | 12,24 – 1023,7          | 1 – 15                |

Fonte: Autor, 2020.

Os tensoativos influentes apresentaram limites inferiores aos descritos no estudo de Ciabatti et al. (2009). Na caracterização descrita por Braga e Varesche (2014), existem elevados teores de tensoativos, sendo essa concentração muito alta quando comparado com outros estudos. Nesta pesquisa, óleos e graxas apresentaram variação ampla (Tabela 4) para influentes. Esse limite elevado de teor pode estar ocorrendo em função da supressão do projeto original da caixa separadora de óleo, destinada à retenção dos óleos livres.

O limite de DQO do influente apresentou ampla variação conforme o tipo de têxteis a lavar, ou seja, da sujidade dos mesmos, corroborando com Sostar-Turk et al. (2005), que verificaram que as características de águas residuárias podem variar de acordo com os itens de lavagens.

### 3.2 Análises estatísticas das diferenças do influente e efluente e eficiência do processo

No estudo estatístico das diferenças entre influentes e efluentes para pH, temperatura, sólidos suspensos, tensoativos, óleos e graxas e DQO, os valores do p-valor com um nível de significância estatística de 5% (p menor 0,05), resultaram em aceitação da hipótese, ou seja, há diferença entre o valor influente e efluente nos seguintes parâmetros: pH e DQO. Para os demais parâmetros, foram considerados iguais.

A Tabela 5 apresenta as estatísticas descritivas das diferenças entre o influente e efluente. A diferença é definida como sendo o efluente menos o influente, portanto se a diferença for negativa, significa que o valor do efluente é menor do que o do influente.

Tabela 5 – Estatísticas descritivas das diferenças entre os efluentes e influentes.

| Variável                        | N | Média   | Desvio padrão | Mínimo  | Máximo | p valor |
|---------------------------------|---|---------|---------------|---------|--------|---------|
| <b>Temperatura (°C)</b>         | 7 | 0,09    | 0,85          | -1,30   | 1,20   | 0,799   |
| <b>pH</b>                       | 7 | -0,37   | 0,50          | -1,36   | 0,14   | 0,047   |
| <b>Sólidos Suspensos (mg/L)</b> | 7 | -31,30  | 36,21         | -70     | 31,67  | 0,078   |
| <b>Tensoativos (mg/L)</b>       | 7 | -0,74   | 2,50          | -3      | 4,41   | 0,297   |
| <b>Óleos e Graxas (mg/L)</b>    | 6 | -7,77   | 11,03         | -29,40  | 0      | 0,059   |
| <b>DQO (mg/L)</b>               | 8 | -143,17 | 201,94        | -608,80 | 39,37  | 0,039   |

Fonte: Autor, 2020.

A diferença entre a temperatura de entrada e saída do tratamento foi positiva, observando que houve uma elevação pela passagem no tratamento, que pode ser explicado através da agitação no processo purificação. A diferença média foi de 0,09 °C, p = 0,799, onde indica estatisticamente um nível de significância de 5%, e que esses valores são iguais entre a entrada e saída.

As diferenças no pH, sólidos suspensos, tensoativos, óleos e graxas e DQO, entre o efluente e o influente apresentaram média negativa, respectivamente de -0,37; -31,30 mg/L; -

0,74 mg/L; -7,77 mg/L; e -143,17 mg/L; ou seja, o efluente é menor que o influente. Para o pH ( $p < 0,05$ ) a maioria dos resultados não apresentou variação, sendo a diferença média próxima de zero, que pode ser justificada pela adição de coagulante no processo de tratamento, utilizado para aglutinação dos sólidos.

Em relação aos sólidos suspensos, o valor de p-valor foi de 0,078, rejeitando a hipótese estatística em que houve diferenças a nível de significância de 5%, que pode ser justificada em função de uma das amostra ter o comportamento fora do esperado, onde o valor efluente foi maior do que o influente, podendo ter ocorrido um arraste de espuma no momento da coleta. No entanto, a eficiência para a média do parâmetro foi de 54,75%, assim como nos tensoativos, p-valor igual a 0,297,  $\eta = 2,45\%$ , com eficiência ínfima para o parâmetro tensoativos. Óleos e graxas mostraram p-valor de 0,059, dentro dos padrões de  $p=0,05$  e  $\eta = 43,28\%$ , com um nível de purificação maior. Os dados de DQO apresentaram p-valor menor que 0,039, com eficiência  $\eta = 48,47\%$ , havendo uma diferença estatística entre entrada e saída do tratamento.

Um estudo semelhante efetuado em escala piloto por Ciabatti et al. (2009), mostrou que a eficiência na saída do tratamento para sólidos suspensos, tensoativos e DQO, foi de 88%, 87%, 77%, respectivamente, resultados superiores aos encontrados em nosso estudo. Porém, para os tensoativos atenderem ao limite legal de 2mg/L para descarga de água em superfície, previstos na legislação Italiana, foi necessário um pós-tratamento com membranas de ultrafiltração.

### 3.3 Análises dos resultados em função dos padrões de lançamento nos corpos hídricos

Para comparar os resultados dos padrões de lançamento nos corpos hídricos foi aplicado o teste estatístico T, com nível de significância de 5%, testando como a média das variáveis se comporta de acordo com os padrões estipulados. A Tabela 6 apresenta os resultados dos testes de hipótese para o padrão do efluente recomendado pelo órgão ambiental, exigidos pela resolução 128/2006 e 355/2017, que passou a vigorar em 19 de julho de 2017.

Tabela 6 – Resultado dos testes T, médias das variáveis estão dentro do padrão esperado.

| Variável   | N  | Média  | Padrão a ser atendido Resolução CONSEMA |              |            |              |
|--|----|--------|---|--------------|------------|--------------|
|  |    |        | 128/2006                                | p            | 355/2017   | p            |
| Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )                       | 45 | 24,76  | $\leq 40$                               | <b>1</b>     | $\leq 40$  | <b>1</b>     |
| pH   | 44 | 7,13   | 6 a 9                                   | <b>1</b>     | 6 a 9      | <b>1</b>     |
| DQO ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ )                      | 45 | 212,09 | $\leq 400$                              | <b>1</b>     | $\leq 330$ | <b>1</b>     |
| Sólidos Suspensos totais ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ ) | 09 | 23,73  | $\leq 180$                              | <b>1</b>     | $\leq 140$ | <b>1</b>     |
| Óleos e Graxas ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ )           | 44 | 14,09  | $\leq 10$                               | <b>0,064</b> | $\leq 10$  | <b>0,064</b> |
| Tensoativos ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ )              | 44 | 3,07   | $\leq 2$                                | <b>0,050</b> | $\leq 2$   | <b>0,050</b> |

Fonte: Autor, 2020.

De acordo com os resultados, as temperaturas das 45 amostras encontraram-se abaixo de  $40^{\circ}\text{C}$ , no padrão esperado. A análise do parâmetro pH, do total de 44 amostras apenas uma ficou acima do intervalo recomendado,  $\text{pH} = 9,41$ , não influenciando no resultado estatístico para o parâmetro.

A análise da variável DQO e sólidos suspensos os parâmetros estão bem abaixo do recomendado, por conseguinte dentro do esperado para lançamento na rede pluvial. A variável óleos e graxas apresentou  $p=0,064$  e média de  $14,09 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ . Das 44 análises, 17 estão acima de  $10 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ , contudo, a nível de confiança de 5% se comporta de acordo com o esperado nas resoluções. Os tensoativos apresentaram  $p=0,050$ , se apresentando dentro do limite do nível de confiança de 5%, para os 44 dados, 17 estão acima de  $2 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ , sendo que, de acordo com Pettersson et al. (2000), nestas concentrações o efluente pode ser tóxico para as plantas e animais aquáticos.

Sendo assim, recomenda-se uma avaliação na operação do sistema, visto que existem análises de entrada com índice menor que a saída do tratado, podendo ter ocorrido um arraste da espuma e concentrando o poluente na coleta da amostra. Outra possibilidade seria a introdução de um pós-tratamento para sanar o índice excessivo de tensoativos.

#### 4. CONCLUSÃO

A partir da análise da diferença entre a entrada e saída do efluente, o processo de tratamento demonstrou que os percentuais de redução para sólidos suspensos, tensoativos, óleos e graxas e DQO, são respectivamente de 54,75%; 2,45%; 43,28% e 48,47%, deste modo, a possibilidade seria introduzir um pós-tratamento para sanar os baixos índices

apresentados. Ainda, pode-se observar que o sistema de tratamento não permite um reciclo fechado de aproveitamento das águas residuárias, em função da ampla variação de parâmetros apresentados processo de purificação, sendo que o reúso dessas águas constituem uma alternativa para fins não nobres, como por exemplo, a lavagem de pisos.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem aos proprietários da Lavanderia ECOLAV, pela permissão do estudo em sua empresa e apoio nos encaminhamentos dos ensaios para os laboratórios.

## REFERÊNCIAS

- APHA (2015) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. **American Public Health Association, American Water Association, Water Environmental Federation**, 22<sup>th</sup> ed. Washington.
- AL-JAYYOUSI, O. R. Greywater Reuse: Towards Sustainable Water Management. **Desalination**, v. 156, n. 1-3, p. 181-192, 2003.
- AL-HAMAIIEDEH, H. E.; BINO, M. Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. **Desalination**, v. 256, n. 1–3, p. 115 – 119, 2010.
- BASTIAN, ELZA Y. ONISHI. Guia técnico ambiental da indústria textil. **Cetesb; Sinditêxtil**, 2<sup>a</sup> ed., 85 p., SP. 2009.
- BOYJOO, Y., et al. A review of greywater characteristics and treatment processes. **Water Science & Technology**, n. 7, v. 67, p. 1403-1424, 2013.
- BRAGA, J. K.; VARESCHE, M. B. A. Commercial laundry water characterization. **American Journal of Analytical Chemistry**, n. 5, p. 8-16, 2014.
- CHAILLOU, K., et al.. Bathroom greywater characterization and potential treatments for reuse. **Water, Air & Soil Pollution**, n. 215, v. 1, p. 31–42, 2011.
- CIABATTI, I., et al. Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. **Desalination**, n. 245, p. 451–459, 2009.
- CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 128 de 24 de novembro de 2006**, Diário Oficial do Estado. n. 232, p. 20–22, 2006.
- CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 355 de 19 de julho de 2017**, Diário Oficial do Estado. n. 136, p. 39–40, 2017.
- CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 372 de 22 de fevereiro de 2018**, Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, Ano LXXVI, n.41, p. 84 - 124, 2018.
- CONAMA. Conselho nacional do meio ambiente. **Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011**, Diário Oficial da União, n. 232, p. 89 - 97, 2011.
- DALAHMEH, S. S.; ASSAYED, M.; SULEIMAN, W. T. Themes of stakeholder participation in greywater management in rural communities in Jordan. **Desalination**, n. 243, p. 159–169, 2009.
- ERIKSSON, E., et al. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**. v. 4, n 1, p. 85-104, 2002.
- FANGYUE L., et al. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. **Science of the Total Environment**. v. 407, p. 3439–3449, 2009.

FRIEDLER, E., et al. Chlorination and coagulation as pretreatments for greywater desalination. **Desalination**. v. 222, n. 1-3, p. 38–49, 2008.

KYZAS, Z. G.; MATIS, A. K. Flotation in water and wastewater treatment. **Processes**. v. 6, n. 116, 16 p., 2018.

HOLKAR, C. R., et al. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. **Journal of Environmental Management**. n. 182, p. 351- 366, 2016.

LIEHR, S. K.; RUBIN, A. R; TONNING, B. Natural treatment and onsite processes. **Water Environ**. n. 76, p. 1191–1237, 2004.

MANDAL, D., et al. Water conservation due to greywater treatment and reuse in urban setting with specific context to developing countries. **Resources, Conservation and Recycling**. n. 55, v. 3, p. 356–361, 2011.

MAUCHAUFFEE S.; DENIEUL M.P.; COSTE M. Industrial wastewater re-use: closure of watercycle in the main water consuming industries – the example of paper mills. **Environ Technol**, volume 33, n. 19, p. 2257–2262, 2012.

MARCH, J. G.; GUAL, M.; OROZCO, F. Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel. **Desalination** n. 164, p. 241–247, 2004.

MEMON, F. A., et al. Life cycle impact assessment of greywater recycling technologies for new developments. **Environmental Monitoring and Assessment**. n. 129, v. 1, p. 27–35, 2007.

MONTANO, J. G., et al. Environmental assessment of different photo - Fenton approaches for commercial reactive dye removal. **The Journal of Hazardous Materials**. n. 138, p. 218 – 225, 2006.

NAWAZ, S. M. A.; AHSAN, M. Comparison of physico-chemical, advanced oxidation and biological techniques for the textile wastewater treatment. **Alexandria Engineering Journal**. n. 53, p. 717–722, 2014.

PETTERSSON, A., et al. Toxicity and detoxification of Swedish detergents and softener products. **Chemosphere**. n. 41, v. 10, p. 1611–1620, 2000.

PIDOU, M., et al. Chemical solutions for greywater recycling. **Chemosphere**. n. 1, v. 71, p. 147–155, 2008.

SOSTAR-TURK, S., et al. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. **Resources, Conservation and Recycling**. n. 2, v. 44, p. 185–196, 2005.

WANG R., ZIMMERMAN J. Hybrid analysis of blue water consumption and water scarcity implications at the global, national, and basin levels in an increasingly globalized world. **Environ Sci Technol**, n. 50, p. 5143–5153, 2016.

## 5.3 MANUSCRITO 3

**TOXICIDADE E PRESENÇA DE *Legionella* spp. NO EFLUENTE DE UMA  
LAVANDERIA INDUSTRIAL**

Geraldo Rampelotto<sup>1,2</sup>, Matheus Conrad<sup>2</sup>, Delmira Beatriz Wolff<sup>1,2</sup>, Elvis Carissimi<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>*Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria,* <sup>2</sup>*Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria.*

\*Autor correspondente

Elvis Carissimi

Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia,

Programa de Pós - Graduação em Engenharia Civil,

Av. Roraima, 1000 – CEP: 97105-900 Santa Maria-RS – Brasil.

E-mail:ecarissimi@gmail.com

## TOXICIDADE E PRESENÇA DE *Legionella* spp. NO EFLUENTE DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL

### RESUMO

Os efluentes da lavanderia ao serem lançados em corpos hídricos podem causar danos à biota aquática, causando a morte de peixes por intoxicação. Os peixes têm sido amplamente utilizados em estudos ecotoxicológicos ao longo dos anos. O objetivo deste estudo foi realizar uma avaliação previa da toxicidade aguda e a presença de *Legionella* spp. no efluente de uma lavanderia industrial localizada em Santa Cruz do Sul, RS. Os testes de toxicidade foram realizados no efluente após o tratamento da água de lavagem, empregando como bioindicador *Cyprinus carpio* (carpa), 10 peixes por aquário (20 L), com o efluente bruto a 100%, 75%, 50% e 25%, utilizando água do meio de adaptação para as diluições, sob aeração constante, e a toxicidade avaliada em 24, 48 e 72 horas de exposição. Além disso, foram avaliados parâmetros físico-químicos como: temperatura, pH, óleos e graxas, demanda química de oxigênio (DQO) e tensoativos. A pesquisa de *Legionella* spp. ocorreu nos efluentes bruto e tratado em amostras coletadas entre outubro e novembro de 2019, de uma lavanderia industrial. As análises foram realizadas em laboratório externo e seguiram a metodologia analítica do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. A avaliação da toxicidade nos peixes apontou que as mortes ocorreram com maior frequência nas primeiras cinco horas de exposição com efluente a 100% (puro), n=7, do total de 30. Contudo, não foi possível realizar o cálculo da concentração letal (CL<sub>50</sub>), visto que o efluente se enquadra-se na classificação levemente tóxica e de baixo índice de mortalidade. Os resultados dos parâmetros físico-químicos, mostraram que a DQO foi de 358,57 mg/L, valor acima do previsto na Resolução CONSEMA nº 355/2017, e os demais parâmetros dentro dos limites permitidos. Em nenhuma amostra ocorreu o desenvolvimento de *Legionella* spp., portanto, a estimativa preliminar com o uso de *Cyprinus carpio* como bioindicador mostrou ter baixa toxicidade, e em relação a presença de *Legionella* spp., o efluente pode ser considerado seguro para o reuso.

**Palavras-chave:** Toxicidade. Reciclo. *Legionella* spp.

## 1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos vêm ganhando destaque no cenário internacional, devido à relevância no manejo sustentável da água para o bem-estar da população, além de fundamental interesse no planejamento, que é revertido ao meio ambiente, especialmente na quantidade e qualidade do efluente líquido lançado (OECD, 2020). O lançamento de resíduos líquidos, sem o devido tratamento ou tratamento inadequado, pode provocar alterações no corpo hídrico receptor, e não apenas no aspecto estético, como também em toda a biodiversidade aquática (QUEIROZ et al., 2015) . Muitos desses compostos presentes no efluente líquido são passíveis de acumulação nos organismos vivos, capazes de atingir concentrações superiores à dose letal, principalmente em invertebrados e peixes (QUEIROZ et al., 2016).

A água exerce um papel fundamental nas operações industriais, principalmente nos processos de limpeza de artigos têxteis em lavanderias, em virtude do volume utilizado para a limpeza dos tecidos (CIABATTI et al., 2009). Assim, o elevado consumo de água das lavanderias industriais tem consequência direta na geração abundante de efluentes líquidos, contendo compostos recalcitrantes, como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, dioxinas e os estrogênios ambientais, sugerindo um elevado teor de produtos químicos (NICOLAIDIS; VYRIDES, 2014).

Segundo Buss et al. (2015), são poucas as lavanderias industriais que se preocupam em tratar e lançar os efluentes dentro dos padrões de qualidade exigidos pelos órgãos ambientais, reportam que as poucas empresas que realizam o tratamento dos efluentes líquidos, a maioria não conseguem atingir a eficiência necessária, em função de utilizarem processos simplificados de tratamento.

Correntemente para o monitoramento dos efluentes líquidos tratados, os empreendimentos utilizam análises químicas, físicas e biológicas, apresentando como critérios de referência os padrões de emissão para lançamento em corpos hídricos, com a medição de parâmetros que dependem normalmente do porte, faixa de vazão e tipo da indústria, atendendo a valores de concentrações estabelecidos ou eficiência mínima fixada. Segundo Costa et al. (2008), somente análises químicas e físicas não possibilitam a avaliação completa do potencial de risco ambiental de todos os contaminantes, sendo essenciais testes de toxicidade para distinguir substâncias que afetam os sistemas biológicos, e as inertes no ambiente.

A aplicação de técnicas de mitigação de impactos ambientais aos ecossistemas cresceu consideravelmente nos últimos anos, tendo em vista ao rigor da legislação ambiental sobre as empresas, assim como alternativas para de redução de custos nos tratamentos dos efluentes (QUEIROZ et al., 2016). Entretanto, observa-se a ocorrência de sérias dificuldades para garantir a efetiva descontaminação das águas residuais, sendo que algumas apresentam alta concentração de compostos recalcitrantes. Estas substâncias em geral tem efeito acumulativo nos organismos, chegando a atingir concentrações superiores ao limite de tolerância biológica, ocasionando a morte de várias espécies (MANENTI et al., 2015).

Os testes de ecotoxicidade permitem analisar o grau de toxicidade nos efluentes industriais, domésticos, agrícolas e produtos químicos, através dos seus efeitos sinérgicos e antagônicos (LOMBARDI, 2004; MARSCHNER, 1999). Ensaio de toxicidade aguda possibilitam a percepção de efeitos de substâncias tóxicas novas que possam surgir no ecossistema aquático, mesmo quando expostos por um curto período de tempo (ARENZON et al., 2011). Esta ferramenta torna-se de substancial importância na busca por generalizações sobre o grau de toxicidade em vários tipos de efluentes líquidos, na determinação de influência direta dos elementos vindos das atividades antrópicas e/ou naturais (ZAGATTO; GHERARDI-GOLDSTEIN, 1991).

Além disso, detectam a capacidade inerente de um agente tóxico ou de uma mistura para produzir efeitos deletérios nos organismos vivos, permitindo avaliar em que medida as substâncias são nocivas, como e onde manifestam seus efeitos (DASGUPTA, et al. 2015). Em suma, os procedimentos ecotoxicológicos tradicionais têm maior preocupação em caracterizar os efeitos adversos causados por uma amostra tóxica, sem a preocupação de identificar os agentes tóxicos isoladamente (MAGALHAES; FERRÃO FILHO, 2008).

No caso de efluentes líquidos, a avaliação é pertinente, visto que esses despejos são constituídos por diversos agentes químicos, lançados continuamente nos recursos hídricos (BERTOLETTI, 2013). O processo de análise científico para avaliar o risco que um efluente impõe ao ambiente aquático é considerado, inicialmente, por sua ecotoxicidade e diluição no corpo de água. Desse modo, o processo de julgamento baseia-se no conhecimento do efluente como um todo, ao invés dos agentes químicos isolados presentes na sua composição, sendo que, para serem reutilizados, devem ser purificados a níveis aceitáveis para reúso, estarem isentos de microrganismos, evitando prejuízos para a saúde (BERTOLETTI, 2013).

Trabalhos sobre ecotoxicologia realizados em estudo agrícolas têm sido encontrados na literatura, porém não foram encontrados publicações que relatem pesquisas com peixes sobre a água de lavanderia como possível agente tóxico.

Assim, outro fator importante é a verificação da incidência de bactérias do gênero *Legionella* spp., um microrganismo oportunista, que pode causar pneumonia em pessoas com o sistema imune debilitado, responsável pela legionelose, doença que ocorre devido a inalação ou aspiração de aerossóis contendo o microrganismo. *Legionella* spp. pode ser encontrada em ambientes aquáticos naturais e artificiais, incluindo mananciais, viveiros de peixes, sistemas domésticos de água potável, prédios, hospitais, fontes decorativas, equipamentos industriais, sistemas de água quente e fria, sistemas de encanamento doméstico e torres de resfriamento; e os surtos geralmente estão associados à água contaminada, já que este microrganismo é capaz de sobreviver em condições ambientais variadas (CDC, 2019; CORREIA et al., 2016; GARRISON et al., 2016; JOMEHZADEH et al., 2019).

Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação prévia da toxicidade aguda utilizando *Cyprinus carpio* e a verificação da presença de *Legionella* spp. no efluente de uma lavanderia industrial. A relevância da divulgação deste estudo se traduz em produzir resultados sobre as ações que podem contribuir para inserção do segmento landerias na perspectiva da ecoeficiência, sem comprometer o equilíbrio dos ecossistemas e respeitando as limitações dos recursos naturais.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Área de Estudo**

O estudo foi realizado no município de Santa Cruz do Sul – RS, em uma lavanderia industrial de pequeno porte (ECOLAV), alto potencial poluidor, atividade de impacto local de acordo com o disposto na resolução CONSEMA número 372/2018, classificação expressa na licença de operação, emitida através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Saneamento e Sustentabilidade, órgão responsável pelo licenciamento ambiental do empreendimento.

A lavanderia possui como principais usuários/clientes, pessoas físicas, hotéis, clínicas médicas, restaurantes e empresas metalúrgicas, suas atividades no ramo de lavagem voltada têxteis domésticos e artefatos industriais. Os equipamentos utilizados para operação de limpeza são máquinas de tambor. A capacidade de processamento mensal é de 3000 kg de

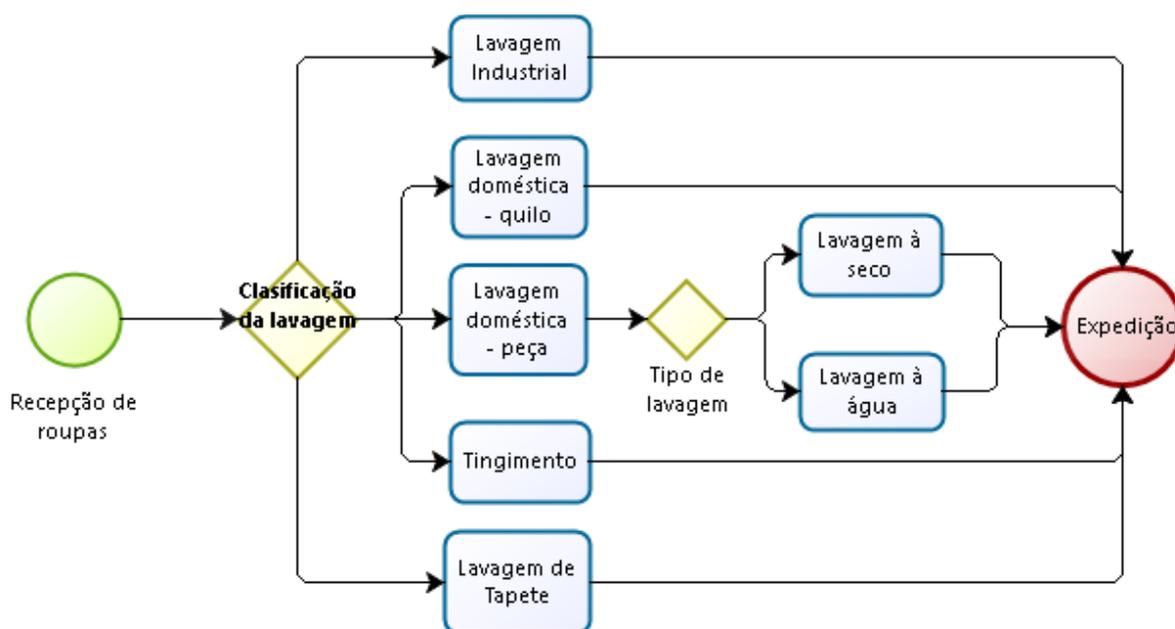
peças, consumindo água no total de 500m<sup>3</sup>/mês. Para essa operação é utilizado água fria e quente, essa água é aquecida através de uma caldeira até 80°C.

Os procedimentos de lavagem mais comuns são de desengomagem, desbotamento, estonagem e amaciamento gerando efluentes que devem ser tratados antes de serem lançados nos mananciais hídricos.

Na etapa de lavagem, os principais produtos utilizados contém tensoativos, espessante, coadjuvante, conservante, umectante, agentes sequestrantes, suspensivos, dispersantes, complexantes, branqueador óptico, mistura de hidrocarbonetos aromáticos, resinas emulsionadas, resinas emulsionadas, bactericidas, fungicidas, hidróxido de sódio e hipoclorito de sódio.

A Figura 1 mostra um fluxograma simplificado do processo produtivo da lavanderia.

Figura 1 - Fluxograma simplificado da lavanderia em estudo.



Fonte: Lavanderia ECOLAV, 2020.

## 2.2 Sistema de tratamento

O processo de tratamento de efluentes é constituído basicamente por grades/peneira, tanque de equalização, sistema de recalque do efluente a partir do tanque de equalização, medição de vazão, medidor de área variável (rotâmetro), unidade de coagulação hidráulica, em PVC (para geração dos coágulos dos contaminantes), unidade de floculação hidráulica, em

PVC (para geração de flocos), unidade de flotação por ar dissolvido, dotada de câmara de flotação com raspador mecânico de lodo, unidade de controle de nível, leitos de secagem do lodo, sistema de reciclo e despressurização (contando com sistema gerador de microbolhas e sistema de distribuição de fluxo), sistema de armazenagem e dosagem de reagente químico orgânico natural, medição de vazão por medidor de área variável (rotâmetro), unidade de filtração com areia e duas unidades de filtração por carvão ativado.

O sistema de tratamento de efluentes empregado está baseado no processo de Flotação por Ar Dissolvido (FAD), em síntese, constitui da separação sólido/líquido baseado em fenômenos físico-químicos. O efluente passa pela grade e peneira, chegando ao tanque de equalização, e deste é bombeado, onde é adicionado um reagente químico que atua como coagulante e floculante das partículas em suspensão, formando flocos. Estes flocos, uma vez formados, entram em contato com uma corrente de água misturada com ar na forma de microbolhas, chamada de “reciclo”. Estas microbolhas provenientes do reciclo se aderem à superfície dos flocos, formando um conjunto bolhas + flocos com uma densidade menor do que a da água. Este conjunto, por ser menos denso, tende a subir à superfície da água, dentro do tanque de flotação. Uma vez na superfície, estes flocos formam uma espuma que é retirada pela ação do raspador de lodo. Com isso, a água tratada, que sai pela parte inferior do tanque de flotação, segue sob pressão para a unidade de filtração com areia e carvão ativado, e após, é encaminhada para o descarte ou reúso.

### 2.3 Coleta, análise e descrição dos experimentos

Os experimentos de toxicidade com *Cyprinus carpio* e *Legionella* spp. foram executados em locais distintos e encaminhados para laboratórios terceirizados.

### 2.3.1 *Cyprinus carpio*

#### 2.3.1.1 Coleta e análise dos efluentes da lavanderia para ensaios toxicológicos com *Cyprinus carpio*

A coleta para as análises físico-químicas foram realizadas no efluente tratado, na saída do sistema, após passagem pelo filtro de carvão ativado, executadas no Laboratório de Análises Ambientais da Universidade de Santa Cruz (UNISC), sede em Santa Cruz do Sul, RS, devidamente cadastrado no órgão ambiental Estadual (FEPAM) como laboratório de análises ambientais, sob o certificado número 00009/2015-DL, no dia 1º de outubro de 2019. Foram avaliados os parâmetros temperatura, pH, óleos e graxas, demanda química de oxigênio (DQO) e tensoativos. A metodologia empregada nas análises destes parâmetros seguiu o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2017); sendo que os resultados foram comparados com análises físico-químicas totais, realizadas na mesma lavanderia, no período de 52 meses. (07/05/ 2015 a 16/10/19).

Simultaneamente ao procedimento anterior, uma amostra de 300 L de efluente tratado foi retirada e acondicionada em um reservatório, transportada para o Laboratório de Engenharia e Meio Ambiente (LEMA), Universidade Federal de Santa Maria, RS, para realização dos testes toxicológicos. O efluente foi distribuído em aquários, em suas respectivas diluições para realização do teste toxicológico.

#### 2.3.1.2 Ensaios toxicológicos

Para realização dos ensaios toxicológicos foram utilizadas espécies do gênero *Cyprinus carpio* (carpa capim), por serem resistentes e se adaptarem facilmente a ambientes inóspitos, as quais podem ser utilizadas como bioindicadores em experimentos de ecotoxicologia, além de serem as prevalentes na região.

Foram utilizadas 150 carpas, obtidas de pisciculturas da região, pesando aproximadamente 12 a 25 gramas. As espécies foram transferidas para um aquário de 500 litros, para aclimação, mantidos sob temperatura e aeração constantes, permanecendo nestas condições durante dezesseis dias, entre 1º de outubro de 2019 a 15 de outubro de 2019. Parâmetros de qualidade da água, como temperatura (°C) e oxigênio dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>)

foram monitorados diariamente e, os peixes alimentados uma vez ao dia com ração comercial Supra® (42% de proteína bruta).

Após o período de aclimação, os peixes foram transferidos para aquários de 20 L de água com concentrações variadas de efluente, mantidos sob aeração constante. Este experimento realizou-se em triplicata, totalizando 15 aquários, utilizando 10 peixes por aquário. Foram testadas quatro concentrações de efluente (100 %, 75 %, 50 % e 25 % de efluente tratado no aquário e controle/branco); com exposição de 72 horas com aeração constante, e um aquário controle onde não se adicionou efluente. A análise para toxicidade aguda constituiu-se no intervalo de 24, 48 e 72 horas de exposição, onde foi avaliada a percentagem de peixes (*Cyprinus carpio*) vivos e mortos, realizando a média entre os três aquários (triplicata).

### 2.3.2 Coleta e análise dos efluentes da lavanderia para ensaios microbiológicos de *Legionella* spp.

Foram realizadas dez análises para verificar a presença de *Legionella* spp., sendo cinco coletas do efluente bruto e cinco do tratado, realizadas em triplicata, no período compreendido entre 16 de outubro de 2019 a 13 de novembro de 2019. As amostras foram retiradas na entrada do tratamento (efluente bruto), saída do tratamento (após o filtro de carvão ativado) onde devidamente dispostas em frascos de vidro de um litro, acondicionados em caixas térmicas, e em seguida enviadas ao laboratório QuímioAmbiental Ltda., Porto Alegre, RS, via transportadora.

Os ensaios foram executados através do respectivo laboratório, devidamente credenciado pelo órgão ambiental conforme número de registro 031/2019; seguindo a metodologia analítica do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (9260 J), métodos EPA e farmacopéia Brasileira / USP (APHA, 2017).

#### 2.3.2.1 Ensaios microbiológicos para detecção de *Legionella* spp.

Para esta análise, as amostras concentraram-se em membrana de policarbonato de 47 mm de diâmetro, com porosidade de 0,22 µm. Em seguida, o material suspenso na membrana foi adicionado a 10 mL de água destilada em tubos tipo falcon (50 mL), homogeneizados três

vezes (30 s) em *vortex*. Após, armazenou-se 1 mL do material e 1 mL submetido ao tratamento com ácido, o qual ocorreu a transferência do mesmo para um tubo de ensaio onde adicionou-se 1,0 mL de KCl/HCl 0,2 M (ácido). A solução ficou em repouso por 15 min e após foi acrescentado 1,0 mL de solução alcalina (KOH 0,1N) para neutralização.

Em seguida, as amostras, tratada com ácido e não tratada ficaram inoculadas em meio *Buffered Charcoal Yeast Extract Alpha Base* (BCYE-alfa) e incubadas em estufa bacteriológica a  $35 \pm 0,5$  °C por 48 h. As placas que não apresentaram crescimento e mantiveram-se incubadas por até oito dias, verificadas diariamente. Das placas em que ocorreu a presença de colônias “suspeitas” de *Legionella* spp. as mesmas foram transferidas para meios de cultura BCYE-alfa e BCYE sem cisteína, incubadas a  $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  por 24 h, e após, se estivesse ocorrido o crescimento deveria ser realizado o teste de aglutinação em látex para confirmação do gênero.

## 2.4 Conceitos éticos

Este estudo foi submetido à Comissão de Ética no uso de animais da Universidade Federal de Santa Maria (CEUA/UFSM), protocolada sob CEUA nº 8767241019.

## 2.5 Análise estatística

Após a realização dos testes, os dados obtidos foram verificados a partir de planilha eletrônica, para obter a estatística descritiva dos parâmetros analisados, como: média, máximo, mínimo.

# 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Análises físico-químicas

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da análise físico-química do efluente tratado da lavanderia, comparado com o efluente utilizado no ensaio toxicológico com *Cyprinus carpio*.

Tabela 1 – Comparação dos efluentes da lavanderia no período 07/05/2015 a 10/09/2019 com o efluente utilizado para ensaio de toxicológico (01/10/2019).

| Parâmetro             | n  | Média  | Desvio padrão | Mínimo | Máximo | Efluente utilizado no ensaio |
|-----------------------|----|--------|---------------|--------|--------|------------------------------|
| Temperatura (°C)      | 45 | 24,76  | ± 4,32        | 12     | 31,60  | <b>19,8</b>                  |
| pH                    | 44 | 7,13   | ± 0,55        | 6,17   | 9,41   | <b>7,02</b>                  |
| Tensoativos (mg/L)    | 44 | 3,07   | ± 4,24        | 0,1    | 18,60  | <b>1,4</b>                   |
| Óleos e Graxas (mg/L) | 44 | 14,10  | ± 17,51       | 0      | 88,8   | <b>&lt; 5,0</b>              |
| DQO (mg/L)            | 45 | 212,10 | ± 147,67      | 34,88  | 691,20 | <b>358,57</b>                |

Fonte: Autor, 2020.

As características do efluente avaliado para o ensaio toxicológico com *Cyprinus carpio* teve seus parâmetros nos limites físico-químicos, semelhantes aos monitorados no período de funcionamento da estação de tratamento. A DQO foi o único parâmetro acima da média (358,57mg/L). Temperatura, pH, tensoativos e óleos e graxas apresentaram valores abaixo da média do total da amostragem, quando comparadas com a série de dados do período de monitoramento.

A Resolução CONSEMA nº 355/2017, Rio Grande do Sul, 2017, estabelece valores padrões de emissão em função da vazão. Nesse estudo, a faixa de vazão do efluente foi menor que 100m<sup>3</sup>/dia, com a DQO no limite máximo de 330 mg/L, portanto acima do permitido na legislação. Para os demais parâmetros listados na Tabela 2, os mesmos permanecem de acordo com o recomendado na resolução mencionada.

Arenzon et al. (2011) ponderam que as análises físico-químicas, como, pH, tensoativos e óleos e graxas, realizadas por exigência do órgão ambiental, são insuficientes para relacionar com toxicidade de um efluente; sendo que muitas vezes, apresentam-se dentro dos limites e mesmo assim podem ser tóxicas.

### 3.2 Ensaio toxicológicos preliminares

A Tabela 2 apresenta os dados referentes ao número de óbitos de *Cyprinus carpio* nas diluições de 0 % (controle, com água de ambientação), 25 %, 50 %, 75 % e 100 % do efluente nos intervalos de 24h, 48h e 72h, com os valores de temperatura (°C) da água e oxigênio dissolvido (mg/L).

Tabela 2 – Resultados médios dos óbitos para ensaios em três aquários com dez exemplares de *Cyprinus carpio* por aquário.

| Efluente<br>Tempo | Controle(0%) |           |            | 25% efluente |           |            | 50% efluente |           |            | 75% efluente |           |            | 100% efluente |           |            |
|-------------------|--------------|-----------|------------|--------------|-----------|------------|--------------|-----------|------------|--------------|-----------|------------|---------------|-----------|------------|
|                   | Óbitos       | t<br>(°C) | OD<br>mg/L | Óbitos        | t<br>(°C) | OD<br>mg/L |
| <b>24h</b>        | 0            | 21,6      | 8,42       | 0            | 21,7      | 7,42       | 1            | 21,6      | 7,75       | 0            | 21,5      | 8,03       | 7             | 21,5      | 7,69       |
| <b>48h</b>        | 0            | 21,7      | 7,67       | 1            | 21,9      | 7,3        | 1            | 21,9      | 7,3        | 0            | 21        | 7          | 1             | 21,6      | 7,56       |
| <b>72h</b>        | 0            | 21,3      | 8,67       | 1            | 21        | 7          | 0            | 21        | 8,33       | 1            | 21        | 7          | 1             | 21        | 8          |
| <b>Média</b>      |              | 21,5      | 8,3        |              | 21,5      | 7,2        |              | 21,5      | 7,8        |              | 21,2      | 7,3        |               | 21,4      | 7,8        |
| <b>Total</b>      | <b>0</b>     |           |            | <b>2</b>     |           |            | <b>2</b>     |           |            | <b>1</b>     |           |            | <b>9</b>      |           |            |

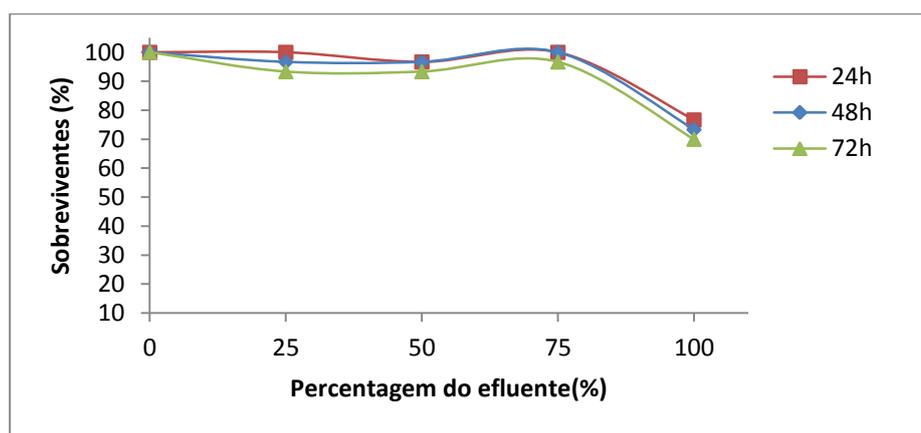
Fonte: Autor, 2020.

Dos parâmetros de qualidade medidos diariamente na água e no efluente, a temperatura manteve-se em  $21 \pm 1,0$  °C e o oxigênio dissolvido (OD) em  $7 \pm 1$  mg.L<sup>-1</sup>. O pH inicial do efluente foi de 7,02, e no decorrer dos ensaios houve uma pequena elevação chegando no máximo ao valor de pH = 7,38.

Os resultados das mortes dos peixes ocorreram com maior frequência nas primeiras cinco horas de exposição com o efluente a 100% (puro), totalizando 7 peixes mortos, do total de 30. A toxicidade aguda ocorre como um resultado da exposição ao agente tóxico por um curto período de tempo, causando a morte. De acordo com a CETESB (1990), normalmente o efeito agudo trata-se de uma resposta severa e rápida dos organismos a um estímulo, que se manifestam, em geral, em um intervalo curto, entre 0 a 96 horas. Para o efluente nas diluições de 25%, 50%, 75% e controle (0%), houve apenas uma morte na diluição a 50% nas primeiras 24h; apontando para a tendência de baixa toxicidade nas diluições.

Na Figura 2 está representado a relação dose-resposta para estimar a medição das concentrações em função do tempo, a percentagem do efluente/controle, e o percentual de sobreviventes em 24, 48 e 72 h. Os valores de  $CL_{50(24h)}$ ,  $CL_{50(48h)}$  e  $CL_{50(72)}$  não foram estimados, devido a interpolação dos dados, em função do alto índice de peixes sobreviventes, ocorrido nas diluições e no efluente a 100% (puro).

Figura 2 – Concentração de efluente e percentagem de diluição da amostra do efluente nas primeiras 24h, 48h e 72h de exposição.



Fonte: Autor, 2020.

Pesquisas anteriores buscaram estabelecer faixas de toxicidade em relação ao valor da  $CL_{50}$ , a fim de classificar os lançamentos de efluentes por níveis de toxicidade. Segundo Bulich et al., 1982, quatro classes de toxicidade podem ser utilizadas com base neste valor. De

acordo com essa escala proposta, o efluente enquadra-se na classificação “levemente tóxica”, ou seja, com  $CL_{50}$  maior que 75%.

Estudos toxicológicos realizados por Longhin e Silva (2016) utilizando bioensaios com cebolas, elaborados em uma lavanderia industrial de jeans, apresentaram baixos valores tóxicos, corroborando com os resultados apresentados no experimento. Contudo, ressalta-se que o efluente de lavanderia tem características variáveis, dependendo do têxtil e produtos utilizados na lavagem. Assim, mudanças nas características dos efluentes podem levar a resultados distintos, principalmente no que se refere à toxicidade.

### 3.3 Ensaios microbiológicos de *Legionella* spp.

Das 10 amostras de efluente, bruto e tratado, provenientes da lavanderia industrial, uma delas apresentou colônias suspeitas de *Legionella* spp. (Figura 3), porém, não foi confirmada posteriormente; assim, neste estudo, não houve a detecção de *Legionella* spp.

Figura 3 - Amostra suspeita de *Legionella* spp. em meio *Buffered Charcoal Yeast Extract Alpha Base* (BCYE-alfa).



Fonte: Autor, 2020.

Um estudo realizado por Carvalho et al., (2007), avaliando 67 amostras de água de reservatórios naturais, torres de resfriamento, unidades dentárias, chuveiros, aquecedores e condensadores, em São Paulo, SP, encontraram em 13,4% das amostras com *Legionella* sp., diferentemente da nossa pesquisa. O controle e a prevenção da legionelose exigem a identificação das fontes potenciais destes microrganismos e a redução da produção de

aerossóis nos ambientes que podem estar contaminados com este microrganismo; bem como para a reutilização da água, visto que esta bactéria pode ser patogênica aos seres humanos (LIU et al., 2011; JOMEHZADEH et al., 2019). Procedimento para controle de infecções por *Legionella spp.* é evitar a propagação de aerossóis de água contaminada (JOMEHZADEH et al., 2019).

O efluente em estudo apresenta características predispostas para a incidência de *Legionella spp.*. Dentre os fatores, está a temperatura. Zanetti et al. (2000) e Rakić et al. (2012) em seus estudos, mostraram que a temperatura tem um impacto significativo sobre *Legionella spp.*. Para Arvand et al., 2011, a faixa ideal para o desenvolvimento desta bactéria está entre 25 e 45 °C. Kooij et al. (2016) detectaram a presença de *Legionella spp.* em sistemas de água quente, em até 66 °C, no entanto em seus estudos concluem que a temperatura ideal de crescimento para este microrganismo é de 35 °C (variando de 20 °C a 42 °C), Lasheras et al. (2006) concluíram que a temperatura não é um fator preponderante para o crescimento deste microrganismo.

Outro fator relevante para a proliferação de *Legionella spp.* é a maior disponibilidade de nutrientes. Visto que águas de lavanderias possuem um alto teor de nutrientes, é incidente a probabilidade da sua ocorrência neste tipo de efluente (BLANKY et al., 2015). Porém, estes mesmos autores relataram que concentrações residuais de cloro, muitas vezes utilizado como desinfetante, não interfere no seu desenvolvimento.

#### **4. CONCLUSÃO**

A avaliação da toxicidade aguda do efluente tratado com o uso de *Cyprinus carpio* apontou que as mortes ocorreram com maior frequência nas primeiras cinco horas de exposição com efluente a 100% (puro), contudo, não foi possível realizar o cálculo da CL<sub>50</sub>, já que o efluente se enquadra na classificação levemente tóxica e de baixo índice de mortalidade; demonstrando baixa toxicidade.

Apesar do efluente tratado não ter apresentado valores tóxicos consideráveis, ocorreram variações nas suas características físico-químicas, que dependem dos processos de lavagem, matéria prima e insumos que são utilizados na lavanderia. Assim, a avaliação toxicológica é uma análise pontual, e qualquer modificação na linha de produção pode acarretar em alterações destes resultados. No que se refere a detecção de *Legionella spp.*,

todos os resultados foram negativos, logo, o efluente pode ser considerado seguro para reúso e manipulação em relação a este fator.

Assim, é recomendado a realização de novos ensaios em diferentes períodos e organismos, bem como a investigação nas correntes formadoras do efluente para identificar uma possível toxicidade.

### **Agradecimentos**

Agradecemos aos colaboradores da Lavanderia ECOLAV, de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, RS.

## REFERÊNCIAS

APHA (2017) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. **American Public Health Association, American Water Association, Water Environmental Federation**, 23<sup>th</sup> ed. Washington. Item 9260J.

ARENZON, A.; NETO PEREIRA, J. T.; GERBER, W. **Manual sobre toxicidade em efluentes industriais**, In: Federação das Indústrias do Rio Grande do Sul – FIERGS. Coordenação: Conselho de Meio Ambiente – CODEMA, 40 p., 2011.

ARVAND, M.; JUNGKIND, K.; HACK, A. Contamination of the cold water distribution system of health care facilities by *Legionella pneumophila*: do we know the true dimension. **Euro Surveill**, v. 16, p. 1–6, 2011.

BERTOLETTI, E. Controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no Estado de São Paulo. **CETESB, 2a. Ed. Ampliada e revisada**, 42 p., 2013.

BLANKY M. *Legionella pneumophila*: From potable water to treated greywater; quantification and removal during treatment. **Science of the Total Environment**, n. 533, p. 557–565, 2015.

BRANCO, S. M. Considerações sobre a Nova Legislação Brasileira de Qualidade de Águas. **Revista DAE**, v. 49, n. 157, p. 185-187, 1989.

BULICH, A. A. A practical and realible method for monitoring the toxicity of aquatic samples. **Process Biochem**, n. 2, p. 45-47, 1982.

BUSS, M.V.; RIBEIRO, E.F. ; SCHNEIDER, I.A.H. ; MENEZES, J.C.S.S. Tratamento dos Efluentes de Uma Lavanderia Industrial: Avaliação da Capacidade de Diferentes Processos de Tratamento. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 2, p. 2-10, 2015.

CARVALHO, R. S., et al. Detection of *Legionella pneumophila* in water and biofilm samples by culture and molecular methods from man-made systems in São Paulo - Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 38, n. 4, p. 743-751, 2007.

CDC. CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. *Legionella* (Legionnaires' disease and Pontiac fever). Retrieved from.<https://www.cdc.gov/legionella/index.html>,2019. Acesso em 11 de dezembro 2019.

CIABATTI, I. et al. Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. **Desalination**, n. 245, p. 451– 459, 2009.

CLASEN, B., et al. Effects of the commercial formulation containing fipronil on the non-target organism *Cyprinus carpio*: implications for rice–fish cultivation. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.77, p.45–51, 2012.

CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 121 de dezembro de 2010**. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de

novembro de 2005. Diário Oficial da União de 16 de março de 2011, n. 51, seção 1, p. 86, 2011.

CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 54 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Diário Oficial da União de 09 de março de 2006, n. 47, seção 1, p. 91 – 92, 2006.

COMANA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 23, de 12 de dezembro de 1996**. Diário Oficial da União, n. 13, p. 499–526, 1997.

CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 355 de 19 de julho de 2017**. Diário Oficial do Estado, n. 136, p. 39–40, 2017.

CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 372 de 22 de fevereiro de 2018**, Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, Ano LXXVI, n.41, p. 84 - 124, 2018.

CORREIA, A. M., et al. Probable person-to-person transmission of Legionnaires' disease. **The New England Journal of Medicine**. n. 374, p. 497- 498, 2016.

COSTA, C. R., et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**. v. 31, n. 7, p.1820-1830, 2008.

DASGUPTA et al. Remediation of textile effluents by membrane based treatment techniques: A state of the art review. **Journal of Environmental Management**, n. 147, p. 55 - 72, 2015.

GARRISON L. E., et al. Vital signs: Deficiencies in environmental control identified in outbreaks of Legionnaires' disease—North America, 2000–2014. **Morbidity and Mortality Weekly Report**, n. 65, v. 22, p. 576–584, 2016.

JOMEHZADEH N. et al. *Legionella* and legionnaires' disease: An overview. **Journal of Acute Disease**. n. 8, p. 221-32, 2019.

KOOIJ D. et al. Multiplication of *Legionella pneumophila* sequence types 1, 47, and 62 in buffered yeast extract broth and biofilms exposed to flowing tap water at temperatures of 38 °C to 42°C . **Appl Environ Microbiol**, n. 82, v.22, p. 6691- 6700, 2016.

LAAFFAT, J., et al. Biotechnological approach of greywater treatment and reuse for landscape irrigation in small communities. **Saudi Journal of Biological Sciences**. v. 26, n. 1, p. 83-90, 2019.

LASHERAS, A. et al. Influence of amoebae and physical and chemical characteristics of water on presence and proliferation of *Legionella* species in hospital water systems. **American Journal of Infection Control**, v. 34, p. 520–525, 2006.

LIU, Y., et al. Disinfection of bacterial biofilms in pilot-scale cooling tower systems. **Biofouling**. v. 27, n. 4, p. 393-402, 2011.

LOMBARDI, J. V. **Fundamentos de toxicologia aquática**. In: Sanidade de organismos aquáticos. Livraria Varela, São Paulo. 426p. p. 261-270, 2004.

MANENTI, D. R. et al. Performance evaluation of different solar advanced oxidation processes applied to the treatment of a real textile dyeing wastewater. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 22, p. 833-845, 2015.

MARSCHNER, A. **Biologische Bodensanierung und ihre Erfolgskontrolle durch Biomonitoring**. p. 568-576. In: Ökotoxikologie -Ökosystemare Ansätze und Methoden. Ecomed, Landsberg. 576 p, 1999.

MOOSAVIAN, M.; DASHTI, A. Isolation and identification of legionellosis agents from fishponds, swimming pools and cooling towers in Khuzestan province, Iran. **Jundishapur Journal of Microbiology**. n. 4, p. 209-216, 2011.

OECD - **Organisation for Economic Cooperation and Development. Water governance initiative**. Disponível em: <http://www.oecd.org/gov/regional--policy/water-governance-initiative.htm>. Acesso em 08 de janeiro de 2020.

PRINCIPE, L.; TOMAO, P.; VISCA, P. Legionellosis in the occupational setting. **Environmental Research**, v. 152, p. 485-495, 2017.

QUEIROZ, M. T. A. et al., Análise espaço-temporal de parâmetros de qualidade da água no rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.6, p. 2-10, 2015.

QUEIROZ M. T. A. et al. Gestão de resíduos na indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: estudo de caso. **Journal of Industrial Engineering**, v. 8, n. 15, p. 114-135, 2016.

RAKIĆ, A.; PERIĆ, J. F.; FOGLAR, L. Influence of temperature, chlorine residual and heavy metals on the presence of *Legionella pneumophila* in hot water distribution systems. **The Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 19, p. 431–436, 2012.

VAN DER KOOIJ, D. et al. Multiplication of *Legionella pneumophila* sequence types 1, 47, and 62 in buffered yeast extract broth and biofilms exposed to flowing tap water at temperatures of 38 C to 42 C. **Applied and Environmental Microbiology**. n. 82, v. 22, p. 6691-6700, 2016.

ZAGATTO, P. A.; GHERARDI-GOLDSTEIN, E. Toxicidade em águas do Estado de São Paulo. **Ambiente**. v. 5, n. 1, p. 13–20, 1991.

ZANETTI, F. et al. Water characteristics associated with the occurrence of *Legionella pneumophila* in dental units. **The European Journal of Oral Sciences**, v. 108, p. 22–28, 2000.

## 6 CONCLUSÃO

- O processo de tratamento demonstrou que os percentuais de redução para sólidos suspensos, tensoativos, óleos e graxas e DQO, são, respectivamente de 54,7%; 2,4%; 43,3% e 48,5% , ficando abaixo dos índices apresentados em outras pesquisas com as mesmas características do sistema de tratamento;
- A possibilidade seria introduzir um pós-tratamento para sanar os baixos índices apresentados e a utilização no reciclo do efluente;
- Ocorreu uma ampla variação de parâmetros apresentados processo de purificação, inferindo que o sistema de tratamento não permite um reciclo fechado de aproveitamento das águas residuárias;
- O reúso dessas águas constituem uma alternativa para fins não nobres como, por exemplo, a lavagem de pisos da lavanderia, e/ou o posterior retorno para o tratamento;
- Foi observada baixa toxicidade aguda nos ensaios preliminares com *Cyprinus carpio*, sendo que estudos complementares devem ser elaborados utilizando outras espécies e diferentes características do efluente;
- Todos os resultados foram negativos para *Legionella* spp., demonstrando segurança para o reúso do efluente quanto a este parâmetro.

## REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.211/92**: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro, 1992, 14 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12.216/92**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992, 18 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13.969/97**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997, 60 p.

AHER P. D.; PIMPLIKAR S.S. Green Building Design A Sustainable future. **International Journal of Engineering Research and Applications**, V. 2, n. 5, p. 857 – 860, 2012.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: APHA, 2012. 1000p.

ARENZON, A.; NETO PEREIRA, J. T.; GERBER, W. **Manual sobre toxicidade em efluentes industriais**. Realização: Federação das Indústrias do Rio Grande do Sul – FIERGS. Coordenação: Conselho de Meio Ambiente – CODEMA, 40 p., 2011.

BASTIAN, ELZA Y. ONISHI. Guia técnico ambiental da indústria textil. **Cetesb; Sinditêxtil**, 2ª ed., 85 p., SP. 2009.

BENAMI M., GILLOR O. e GROSS A. Potential Health and Environmental Risks Associated with On site Greywater Reuse: A Review. **Built Environment**, n. 2, vol. 42, p. 212 – 229, 2016.

BERTOLETTI, E. Controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no Estado de São Paulo. CETESB, 2a. Ed. **Ampliada e revisada**, p. 42, 2013.

BOYJOO, Y.; PAREEK, V. K.; ANG, M.A. Review of greywater characteristics and treatment processes. **Water Science & Technology**, n. 7, v. 67, p. 1403-1424, 2013.

BRAGA J. K., VARESCHE M. B. A. Commercial Laundry Water Characterisation. **American Journal of Analytical Chemistry**, v. 5, p. 8-16, 2014.

BRAILE, P.M. & CAVALACANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: CETESB. 764 p. 1993.

BUSS, M.V.; RIBEIRO, E.F. ; SCHNEIDER, I.A.H. ; MENEZES, J.C.S.S. Tratamento dos Efluentes de Uma Lavanderia Industrial: Avaliação da Capacidade de Diferentes Processos de Tratamento. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 2, p. 2-10, 2015.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. *Legionella* (Legionnaires' disease and Pontiac fever). Retrieved from <https://www.cdc.gov/legionella/index.html>, 2019. Acesso em 11 de dezembro 2019.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Reúso de Água. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/39-Reúso-de-%C3%81gua>. Acessado em: 27/12/2012.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Reúso de Água**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/39-Reúso-de-%C3%81gua>. Acessado em: 27/12/2018.

CHAN H. High performance achieved by microbes to separate laundry effluents resulting in producing high water quality in a compact area. **Separation and Purification Technology**, n. 90, p. 101–108, 2012.

CHARALAMBOS N., IOANNIS V. Closing the water cycle for industrial laundries: An operational performance and techno-economic evaluation of a full-scale membrane bioreactor system. **Conservation and Recycling**, n. 92 p. 128-135, 2014.

CHRISTOVA-BOAL D.; EDEN R. E.; MCFARLANE S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. **Desalination**. n. 106, v. 1–3, p. 391–397, 1996.

CIABATTI, I. et al. Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. **Desalination** n. 245, p. 451–459, 2009.

COLLINS, R., KRISTENSEN, P., THYSSEN, N. Water Resources across Europe e Confronting Water Scarcity and Drought. **European Environmental Agency**. EEA . Report series. n. 2/2009. EEA, Copenhagen, v. único, p. 60, 2009.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 23, de 12 de dezembro de 1996**. Diário Oficial da União, n. 13, p. 499-526, 1997.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 357, de 18 de março de 2005**. Diário Oficial da União, n. 53, p. 58 - 63, 2005.

CONAMA. Conselho nacional do meio ambiente. **Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011**. Diário Oficial da União, n. 232, p. 89 - 97, 2011.

CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 128 de 24 de novembro de 2006**. Diário Oficial do Estado. n. 232, p. 20–22, 2006.

CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 355 de 19 de julho de 2017**. Diário Oficial do Estado. n. 136, p. 39–40, 2017.

CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 372 de 22 de fevereiro de 2018**, Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, Ano LXXVI, n.41, p. 84 - 124, 2018.

COSTA, C. R., et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p.1820-1830, 2008.

CORREIA, A. M., et al. Probable person-to-person transmission of Legionnaires' disease. **The New England Journal of Medicine**, v. 374, p. 497- 498, 2016.

COSTA, R.H.R.; MARTINS, G.B.H. **Práticas Limpas aplicadas as indústrias têxteis do Estado de Santa Catarina**. In, 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. I-141, p. 804 a 812. Foz do Iguaçu, SC, 1997.

CRESWELL, J.W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Tradução Luciana de Oliveira da Rocha. 2 ed. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 248 p., 2007.

DEOWAN S. A., BOUHADJAR S. I. , HOINKIS J. **Membrane bioreactors for water treatment**. In: Basile A, Cassano A, Rastogi NK (eds) Advances in membrane technologies for water treatment. Materials, processes and applications, Woodhead Publishing Series in Energy: Number 75, 1st edn. Elsevier Science & Technology, Cambridge, pp. 155–184, (2015).

DI BERNARDO, L. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Programa de Pesquisa e Saneamento Básico (PROSAB) – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES) – 1ª ed., Rio de Janeiro. 498 p., 2003.

DIAZ et al. Wastewater-based resource recovery technologies across scale: A review. **Conservation & Recycling** v. 145, p. 94–112, 2019.

EPA(US). ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for Water Reuse**.EPA/600/R-12/618. Office of Research and Development. Washington, D.C., setembro, 1992.

FANGYUE, L. A.; WICHMANN, K.; OTTERPOHL R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. **Science of The Total Environment**, n. 407, p. 3439 – 3449, 2009.

FARIAS, M. R. **Manual para lavanderias: a revolução na arte de lavar**. 2ª ed., Caxias do Sul, RS: educs, 355 p., 2006.

FATONEA, F. et al.; Editorial of the IWA H2 Open Journal - Disseminating research addressing 21st century water challenges to all. **H<sub>2</sub> Open Journal**, Vol. 1, n 2, 2018.

FERREIRA, T. **Biomarcadores enzimáticos e ecotoxicidade por cobre em *Eisenia andrei* (Bouché 1972)**. 2015. 68 p. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria.

FREIRE, S.R. et al. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, v. 23, n. 4, p. 504 – 511, 2000.

FRIEDLER, E. Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities. **Environmental Toxicology**, n. 25, p. 997 – 1008, 2004.

FRIEDLER, E.; KATZ, I.; DOSORETZ, C. G. Chlorination and coagulation as pretreatments for greywater desalination. **Desalination**, n. 1-3, v. 222, p. 38–49, 2008.

FROST, B. Ending extreme poverty, what do the SDGs mean for access to water, sanitation and hygiene. **IWA World Water Congress & Exhibition**, p. 8-13, Austrália, 2016.

GARRIDO-BARSEBA, M. REIF, R. HERNANDEZ, F. PONCH, M. Implementation of a knowledge-based methodology in a decision support system for the design of suitable wastewater treatment process flow diagrams. **Journal of Environmental Management**, v. 112, p. 384-39, 2012.

GARRISON, L. E. et al. Vital signs: Deficiencies in environmental control identified in outbreaks of Legionnaires' disease—North America, 2000–2014. **Morbidity and Mortality Weekly Report**, v. 22, n. 65, p. 576–584, 2016.

GONÇALVES, R. F., et al. Caracterização e tratamento de diferentes tipos de águas residuárias de origem residencial após segregação. **Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**. Sección Uruguay. Rescatando antiguos principios para los nuevos desafíos del milenio. **AIDIS**. 10 p., 2006. Punta del Este, Montevideo, Uruguay.

HOINKIS J., et al. Membrane bioreactor (MBR) technology—a promising approach for industrial water reuse. **Procedia Engineering**, v. 33, p.234–241, 2012.

HOINKIS, J.; PANTEN, V. Wastewater recycling in laundries – From pilot to large-scale plant. **Chemical Eng. and processing**, v. 47, p. 1159 – 1164, 2008.

ITABORAHY, M.A.; SILVA, V.H. Indústrias de confecção no município de Cianorte-PR e a necessidade de implantação de programas de Gestão Ambiental. **Revista Ciências Empresariais**, v.12, n. 1, p.360-387, 2006.

JOMEHZADEH, N., et al. *Legionella* and legionnaires' disease: An overview. **Journal of Acute Disease**, v. 8, p. 221-32, 2019.

KUNTAL A. V. L.; et al. Characterization of greywater in an Indian middle-class household and investigation of physicochemical treatment using electrocoagulation. **Separation and Purification Technology**, n. 130, p. 160 - 166, 2014.

LI Z.; BOYLE F.; REYNOLDS A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. **Desalination**, n. 260, pag. 1– 8, 2010.

LIU, S.; PAPAGEORGIU, L. G.; GIKAS, P. Integrated management of nonconventional water resources in Anhydrous islands. **Water Resources**. v. 26, n. 2, p. 359 - 375, 2012.

LOMBARDI, J. V. **Fundamentos de toxicologia aquática**. In: Sanidade de organismos aquáticos. Livraria Varela, São Paulo. 426p. p. 261-270, 2004.

MANENTI, D. R. et al. Performance evaluation of different solar advanced oxidation processes applied to the treatment of a real textile dyeing wastewater. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 22, p. 833-845, 2015.

MAUCHAUFFEE S.; DENIEUL M.P.; COSTE M. Industrial wastewater re-use: closure of watercycle in the main water consuming industries – the example of paper mills.

**Environmental Technology**, v. 33, n. 19, p. 2257–2262, 2012.

MAGALHÃES, D.P., FILHO FERRÃO, A.S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. *Oecologia Brasiliensis*. n. 12(3), p. 355 -381, Rio de Janeiro, 2008.

MAY, S. **Caracterização, Tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2008, 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARSCHNER, A. **Biologische Bodensanierung und ihre Erfolgskontrolle durch Biomonitoring**. In: *Ökotoxikologie -Ökosystemare Ansätze und Methoden*. Ecomed, Landsberg. v. 576 p. 568 - 576, 1999.

MOZIA, S. et al. A systemcoupling hybrid biologicalmethod with UV/O3 oxidation and membrane separation for treatment and reuse of industrial laundry wastewater. **Springer-Verlag, Environmental Science and Pollution Research**, v.23, p. 19145 -19155, Berlin, 2016.

MPA – Ministério da Pesca e Aquicultura. **Anuário brasileiro de pesca e aquicultura**. 2014.

NASCIMENTO, L.F. Aquafлот Ambiental Ltda. **Memorial descritivoestação de tratamento de água ETALAV**, . p.4, 2014.

NAWAZ S. M. A, AHSAN M. Comparison of physico-chemical, advanced oxidation and biological techniques for the textile wastewater treatment. **Alexandria Engineering Journal**, v. 53, p. 717–722, 2014.

NICOLAIDIS C., VYRIDES I. Closing the water cycle for industrial laundries: An operationalperformance and techno-economic evaluation of a full-scalemembrane bioreactor system. **Conservation and Recycling**, n. 92, p. 128–135, 2014.

NOLDE, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings-over ten years experience in Berlin. **Urban Water**, n. 4, v. 1, p. 275–284, 2000.

ORON, G. et al.; Greywater use in Israel and worldwide: standards and prospects. **Water Research**, n. 58, p. 92 – 101, 2014.

OZTURK E.; CINPERI C. N. Water efficiency and wastewater reduction in an integrated woolen textile mill. **Journal of Cleaner Production**, n. 201, p. 686 – 696, 2018.

QUEIROZ et al. Gestão de resíduos na indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: estudo de caso. **Journal of Industrial Engineering**. v. 8, n. 15, p. 114-135, 2016.

PEREIRA, L.S., OWEIS, T., ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Manage*, n. 57, v. 3, p. 175 a 206, 2002.

PICCHIAI, D.; FARIAS, R. M. A visão sistêmica da Lavanderia Hospitalar: Limites e Propostas. **Revista de Gestão em Sistemas de Saúde**, v. 2, n. 2, p. 124-147, 2013.

PIDOU, M.; AVERY, L.; STEPHENSON, T.; JEFFREY, P.; PARSONS, S.A.; LIU, S.; MEMON, F.A.; JEFFERSON, B. **Chemical solutions for greywater recycling**. *Chemosphere*, n. 1, v. 71, p. 147–155, 2008.

PORTO, B.E.A; SHOENHALS, M. Tratamento de efluentes, reúso de água e legislação aplicada em lavanderia têxtil industrial. **Revista Engenharia Ambiental**. V. 10, n.2, p. 60-80, 2013.

PRATHAPAR S. A. et al. Overcoming constraints in treated greywater reuse in Oman. **Desalination**, v. 186, n. 1–3, p. 177–186, 2005.

RABELO D. Serviço Brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas - SEBRAE – **Idéias de Negócios Sustentáveis- Lavanderia**.v. único, p. 65, 2012.

RAMPELOTTO, G. **Caracterização e tratamento de águas cinzas visando reúso doméstico**. 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2014.

RUBIO, J.; SOUZA, R. W.; SMITH, R.W. Overview of flotation as a wastewater treatment technique. **Minerals Engineering**, v.15, n.3, 139-155, 2002.

SANTOS C., TAVEIRA-PINTO F., CHENG C.Y., LEITE D. Development of an experimental system for greywater reuse. **Desalination**, n. 285; p. 301 – 305, 2012.

SAXENA, S., RAJA, A.S.M., ARPUTHARAJ, A. Textiles and Clothing Sustainability. **Journal of Cleaner Production**, n. 198, p. 806 - 819, 2018.

SCHEWE, J. et al. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. U. S. A.,v.111. n.9, p. 3245 a 3250, 2014.

SHANG X, KIM H.C., HUANG J.H. Dempsey BA Coagulation strategies to decrease fouling and increase critical flux and contaminant removal in microfiltration of laundry wastewater. **Sep Purif Technol**, v. 147, p. 44–50, 2015 .

SINDILAV - Sindicato Intermunicipal de Lavanderias no Estado de São Paulo. **Panorama do mercado de lavanderias**. <http://sindilav.com.br/mercado-panorama.php>. acesso em 20 de fevereiro de 2020.

SOSTAR-TURK, S.; PETRINIC, I.; SIMONIC, M. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. **Conservation and Recycling**, n. 2, v. 44, p. 185–196, 2005.

SOUZA et al. Análise das práticas de reuso de água residual: estudo de casos em lavanderias industriais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria**, V. 20, n. 1, janeiro – abril, p. 497–496, 2016.

TELLES, D. D.; COSTA, P. R. (coord); **Reúso da Água – Conceitos, teorias e práticas**. 2 ed. São Paulo: Blucher. 408 p., 2010.

UNITED NATIONS - UN. **World Water Day**, p.29, 2007.

VUPPALADADIYAM K. A. et al; A review on greywater reuse: quality, risks, barriers and global scenarios. **Springer Nature**, p. 23, 2018.

WANG R., ZIMMERMAN J. Hybrid analysis of blue water consumption and water scarcity implications at the global, national, and basin levels in an increasingly globalized world. **Environmental Science & Technology**, n. 50, p. 5143–5153, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) E UNICEF. **Diarrhoea: Why children are still dying and what can be done**. Outubro, p.68, 2009.

XUJIE LU, et al. Textile wastewater reuse as an alternative water source for dyeing and finishing processes: A case study. **Desalination**, v. 258, p. 229–232, 2010.

ZAGATTO, P. A.; GHERARDI-GOLDSTEIN, E. Toxicidade em águas do Estado de São Paulo. **Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 13–20, 1991.

## APÊNDICE

### Apêndice I

Quadro 3 – Dados do monitoramento período de 05 de maio de 2015 a 16 de outubro 2019.

| Amostra | Data da coleta | pH         |           | Temperatura (°C) |           | Sólidos Suspensos (mg L <sup>-1</sup> ) |           | Tensoativos (mg L <sup>-1</sup> ) |           | Óleos e graxas totais (mg L <sup>-1</sup> ) |           | DQO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> ) |           |
|---------|----------------|------------|-----------|------------------|-----------|---|-----------|-----------------------------------|-----------|---|-----------|--|-----------|
|         |                | Influyente | Efluyente | Influyente       | Efluyente | Influyente                              | Efluyente | Influyente                        | Efluyente | Influyente                                  | Efluyente | Influyente                               | Efluyente |
| A 01    | 07/05/15       |            | 7,18      |                  | 20,7      | 26,5                                    | 2,5       | 2,1                               | 0,2       |   | 88,8      | 1300                                     | 691,2     |
| A 02    | 11/05/15       |            |           |                  |           |   |           |                                   |           | 73,1  |           |  |           |
| A 03    | 26/05/15       |            |           |                  |           |   |           |                                   |           |   |           |  |           |
| A 04    | 26/06/15       |            | 6,87      |                  | 29,9      |   |           |                                   | 0,1       |   | 0,5       |  | 80,74     |
| A 05    | 31/07/15       |            | 7,18      |                  | 27,6      |   |           |                                   | 0,1       |   | 0,4       |  | 34,88     |
| A 06    | 27/08/15       |            | 7,35      |                  | 25,8      |   |           |                                   | 0,5       |   | 19,6      |  | 117,17    |
| A 07    | 28/09/15       |            | 7,8       |                  | 26        |   |           |                                   | 2,2       |   | 20,6      |  | 164,04    |
| A 08    | 22/10/15       |            | 8,3       |                  | 25,8      |   |           |                                   | 1,3       |   | 37,8      |  | 421,87    |
| A 09    | 24/11/15       | 9,56       | 9,41      | 27,1             | 28,3      | 43,33                                   | 75        | 5                                 | 9,41      | 9,2   | 0,4       | 347,47                                   | 212,34    |
| A 10    | 07/12/15       | 7,68       |           |                  | 27,3      |   |           |                                   | 1,2       |   | 25,6      |  | 57,02     |
| A 11    | 25/01/16       |            | 7,06      |                  | 31,5      |   |           |                                   | 0,5       |   | 24,3      |  | 288,36    |
| A 12    | 24/02/16       |            | 6,94      |                  | 29,2      |   |           |                                   | 1,6       |   | 69,4      |  | 109,76    |
| A 13    | 21/03/16       |            | 6,85      |                  | 26,3      |   |           |                                   | 3         |   | 23,3      |  | 246,07    |
| A 14    | 28/04/16       |            | 7         |                  | 23,3      |   |           |                                   | 1,1       |   | 13,8      |  | 234,34    |
| A 15    | 23/05/16       | 8,2        | 6,84      | 23,1             | 23,4      | 55,38                                   | 11        | 4,4                               | 1,7       | 56,4  | 27        | 269,14                                   | 176,86    |

continua....

| Amostra | Data da coleta | pH         |           | Temperatura (°C) |           | Sólidos Suspensos (mg L <sup>-1</sup> ) |           | Tensoativos (mg L <sup>-1</sup> ) |           | Óleos e graxas totais (mg L <sup>-1</sup> ) |           | DQO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> ) |           |
|---------|----------------|------------|-----------|------------------|-----------|---|-----------|-----------------------------------|-----------|---|-----------|--|-----------|
|         |                | Influyente | Efluyente | Influyente       | Efluyente | Influyente                              | Efluyente | Influyente                        | Efluyente | Influyente                                  | Efluyente | Influyente                               | Efluyente |
| A 16    | 26/05/15       |            | 7,26      |                  | 24,6      |   |           |                                   |           |   |           |  | 36,6      |
| A 17    | 23/09/16       |            | 7,18      |                  | 22,6      |   |           |                                   | 0,6       |   | 5         |  | 117,17    |
| A 18    | 18/10/16       | 7,36       | 7,50      | 23,6             | 24        |   |           |                                   | 0,2       |   | 5         | 234,34                                   | 58,58     |
| A 19    | 18/11/16       | 7,51       | 7,02      | 20,8             | 19,5      | 87,5                                    | 17,5      | 1,9                               | 0,7       | 5   | 5         | 201,94                                   | 125,01    |
| A 20    | 23/12/16       |            | 6,84      |                  | 28,9      |   |           |                                   | 0,9       |   | 5         |  | 64,85     |
| A 21    | 25/01/17       |            | 7,1       |                  | 28        |   |           |                                   | 2,5       |   | 5         |  | 84,59     |
| A 22    | 24/02/17       |            | 7,07      |                  | 28,5      |   |           |                                   | 0,2       |   | 5         |  | 169,17    |
| A 23    | 21/03/17       |            | 7,58      |                  | 26,8      |   |           |                                   | 1         |   | 13        |  | 269,14    |
| A 24    | 18/04/17       |            | 7,31      |                  | 24        |   |           |                                   | 0,7       |   | 5,2       |  | 211,46    |
| A 25    | 15/05/17       | 7,47       | 7,28      | 23,7             | 24,1      | 72,5                                    | 3,5       | 3,8                               | 0,8       | 12  | 7,6       | 192,24                                   | 76,9      |
| A 26    | 26/06/17       |            | 7,19      |                  | 24,2      |   |           |                                   | 2,1       |   | 14,6      |  | 162,96    |
| A 27    | 18/07/17       |            | 6,88      |                  | 13,4      |   |           |                                   | 1,5       |   | 7,4       |  | 78,11     |
| A 28    | 22/08/17       |            | 7,58      |                  | 21,4      |   |           |                                   | 1,9       |   | 12,8      |  | 180,42    |
| A 29    | 30/10/17       |            | 6,94      |                  | 23,1      |   |           |                                   | 2,5       |   | 5         |  | 217,9     |
| A 30    | 05/01/18       | 7,89       |           |                  |           | 17,86                                   |           | 3,8                               |           | 25,2  |           |  |           |
| A 31    | 23/01/18       |            | 6,63      |                  | 27,2      |   |           |                                   | 4,8       |   | 48        |  | 347,66    |
| A 32    | 19/02/18       |            | 6,41      |                  | 28,9      |   | 21        |                                   | 3,2       |   | 5         |  | 222,66    |
| A 33    | 19/03/18       |            | 6,57      |                  | 25        |   |           |                                   | 3,9       |   | 5         |  | 191,41    |
| A 34    | 17/05/18       |            | 6,48      |                  | 18,1      |   |           |                                   | 5,8       |   | 10,8      |  | 222,22    |

| Amostra | Data da coleta          | pH                    |           | Temperatura (°C)      |           | Sólidos Suspensos (mg L <sup>-1</sup> ) |          | Tensoativos (mg L <sup>-1</sup> ) |           | Óleos e graxas totais (mg L <sup>-1</sup> ) |           | DQO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> ) |           |
|---------|-------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|---|----------|-----------------------------------|-----------|---|-----------|--|-----------|
|         |                         | Influent <sub>e</sub> | Efluente  | Influent <sub>e</sub> | Efluente  | Influent <sub>e</sub>                   | Efluente | Influent <sub>e</sub>             | Efluente  | Influent <sub>e</sub>                       | Efluente  | Influent <sub>e</sub>                    | Efluente  |
| A 35    | 19/06/18                |                       | 6,17      |                       | 16,5      |   |          |                                   | 1,6       |   | 11,4      |  | 268,2     |
| A 36    | 31/07/18                | 7,04                  | 6,53      | 19                    | 19,4      | 63,64                                   | 25       | 4                                 | 3,3       | 10  | 8,9       | 448,68                                   | 468,18    |
| A 37    | 20/08/18                |                       | 6,84      |                       | 12        |   |          |                                   | 3,8       |   | 5         |  | 297,46    |
| A 38    | 27/09/18                |                       | 6,63      |                       | 27,6      |   |          |                                   | 3         |   | 7,8       |  | 324,85    |
| A 39    | 08/10/18                |                       | 6,78      |                       | 31,6      |   |          |                                   | 3,8       |   | 5         |  | 648,65    |
| A 40    | 28/11/18                |                       | 7,29      |                       | 25,4      |   |          |                                   | 6         |   | 14,4      |  | 269,31    |
| A 41    | 19/12/18                |                       | 6,96      |                       | 25,4      |   |          |                                   | 4,8       |   | 6,8       |  | 269,31    |
| A 42    | 25/02/19                |                       | 6,94      |                       | 28,9      |   |          |                                   | 18,6      |   | 10        |  | 64        |
| A 43    | 25/02/19                |                       | 6,94      |                       | 28,9      |   | 10       |                                   | 16,7      |   | 10        |  | 83        |
| A 44    | 22/04/19                |                       | 7,21      |                       | 25,1      |   |          |                                   | 0,7       |   | 0         |  | 127       |
| A 45    | 06/05/19                |                       | 6,92      |                       | 24,1      |   |          |                                   | 15,1      |   | 10        |  | 39        |
| A 46    | 30/08/19                |                       | 8,21      |                       | 28,1      |   |          |                                   | 0,1       |   | 5         |  | 316,71    |
| A 47    | 10/09/19                | 7,56                  | 7,55      | 24,7                  | 23,9      | 52,86                                   | 48,11    | 0,2                               | 0,1       | 7,9   | 5         | 299,21                                   | 338,58    |
| A 48    | 16/10/19                |                       | 7,02      |                       | 19,8      |   |          |                                   | 1,4       |   | 5         |  | 358,57    |
|         | <b>AMOSTRAS</b>         | <b>9</b>              | <b>44</b> | <b>7</b>              | <b>45</b> | <b>8</b>                                | <b>9</b> | <b>8</b>                          | <b>44</b> | <b>8</b>                                    | <b>44</b> | <b>8</b>                                 | <b>45</b> |
|         | <b>Média</b>            | 7,81                  | 7,13      | 23,14                 | 24,76     | 52,45                                   | 23,73    | 3,15                              | 3,07      | 24,85                                       | 14,10     | 411,63                                   | 212,10    |
|         | <b>Mediana</b>          | 7,56                  | 7,02      | 23,60                 | 25,40     | 54,12                                   | 17,50    | 3,80                              | 1,60      | 11,00                                       | 7,70      | 284,18                                   | 191,41    |
|         | <b>Desvio Padrão(S)</b> | 0,73                  | 0,55      | 2,62                  | 4,32      | 23,05                                   | 23,67    | 1,60                              | 4,24      | 25,73                                       | 17,51     | 368,62                                   | 147,67    |