

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**

**MARIANA ZANETTI**

**OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA PROVENIENTE  
DA LAVAGEM DE PET PARA RECICLAGEM**

Poços de Caldas/MG

2018

**MARIANA ZANETTI**

**OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA PROVENIENTE  
DA LAVAGEM DE PET PARA RECICLAGEM**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciência e Engenharia Ambiental.

Orientador: Leandro Lodi

Co-orientadora: Giselle Patrícia  
Sancinetti

Poços de Caldas/MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca campus Poços de Caldas

Z28o Zanetti, Mariana.  
Otimização do tratamento da água residuária proveniente da lavagem de PET para reciclagem / Mariana Zanetti. -- Poços de Caldas/MG, 2018.  
86 f. –

Orientador(a): Leandro Lodi.  
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas, 2018.  
Bibliografia.

1. Tratamento de efluente. 2. Recicladora de PET. 3. Decantador.  
4. Bloco drenante. 5. Estatística - Análise. I. Lodi, Leandro. II. Título.

CDD – 628.1

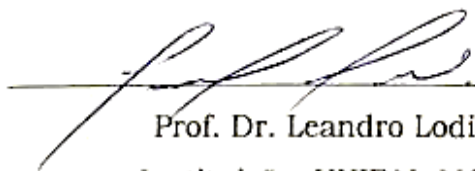
**MARIANA ZANETTI**

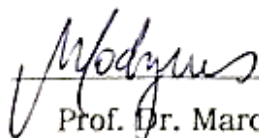
**OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA PROVENIENTE  
DA LAVAGEM DE PET PARA RECICLAGEM**

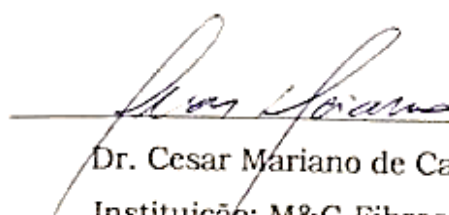
A banca examinadora abaixo-assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfenas.

Área de concentração: Ciência e Engenharia Ambiental.

Aprovada em: 19 de fevereiro de 2018.

  
Prof. Dr. Leandro Lodi  
Instituição: UNIFAL-MG

  
Prof. Dr. Marcos Vinícius Rodrigues  
Instituição: UNIFAL-MG

  
Dr. Cesar Mariano de Carvalho  
Instituição: M&G Fibras Brasil

Dedico aos meus pais, Antonio Marcos e Rosângela, e às minhas irmãs, Monise e Maria Clara.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me dar forças, mantendo-me firme frente às dificuldades, e concebendo-me oportunidades e bênçãos inimagináveis.

Aos meus pais, Antonio Marcos e Rosangela, agradeço por se doarem em silêncio e renunciarem seus sonhos para que eu pudesse realizar os meus, agradeço por me ensinarem a viver a vida com dignidade, respeito e princípios.

Às minhas amadas irmãs, agradeço pelo companheirismo e apoio, sempre dando a certeza de que nunca estarei só.

À minha família, agradeço por compartilharem comigo momentos de muito cansaço e preocupação, me incentivando a prosseguir sem medo e com esperança, sempre torcendo por mim.

Aos amigos, pela amizade e incentivo em todos os momentos desse árduo caminho.

Aos professores e amigos Leandro e Giselle, que com excepcional paciência e dedicação orientaram da melhor maneira, agradeço pela confiança depositada em mim para realização desse trabalho.

Aos professores Marcos Vinícius, Luiz Felipe, Patrícia e demais docentes pela transmissão de conhecimentos, auxílios e disponibilidade em ajudar.

À Universidade Federal de Alfenas, por possibilitar a realização desse trabalho.

À empresa M&G Fibras Brasil, por abrir as portas para execução desse projeto, dando todo apoio necessário sem medir esforços.

Aos novos amigos, Luciano, César, Laudarcy e funcionários da empresa M&G Fibras Brasil, que com muita atenção e excelência, contribuíram grandemente com meu aprendizado.

Deixo aqui minha eterna gratidão a todos que direta ou indiretamente proporcionaram mais uma conquista em minha vida.

Para os homens isto é impossível, mas não para Deus, porque para Deus tudo é possível.

Marcos 10:27

## RESUMO

A geração de resíduos nos processos produtivos faz parte do cotidiano das empresas. Esses resíduos, quando líquidos, são conhecidos como efluentes e devem ser tratados para posterior reutilização ou lançamento no meio ambiente. Com base nesse conceito, a empresa M&G Fibras Brasil, situada em Poços de Caldas – MG, realiza o tratamento do efluente líquido proveniente do processo de lavagem da recicladora de PET seguindo as etapas de gradeamento, equalização, coagulação, floculação e geotêxtil – tecnologia para separação sólido-líquido. A fim de otimizar o processo atual, este trabalho teve como objetivo avaliar a implantação de decantador primário seguido por bloco drenante, através de um sistema piloto e, caracterizar as análises estatísticas de correlação linear e ANOVA. Assim, posterior a etapa de gradeamento, foi instalado o decantador seguido pelo bloco, e foram analisados nas amostras de efluente bruto, clarificado e filtrado, os parâmetros: DQO, pH, sólidos sedimentáveis, sólidos totais, sólidos voláteis totais, oxigênio dissolvido (OD) e alcalinidade. Ainda, analisou o teor de umidade e sólidos voláteis totais do lodo retido no bloco. Foi constatada a necessidade de implantação do decantador primário, pelo fato deste remover em média, na corrente do clarificado,  $7,4 \pm 6,6\%$  da matéria orgânica (DQO) e  $79,6 \pm 16,9\%$  de sólidos sedimentáveis. Já o bloco drenante não se mostrou eficiente na secagem do lodo retido por um período de 24 horas, constatando umidade em torno de  $82,9 \pm 4,5\%$  e concentração de sólidos fixos totais de  $90,0 \pm 3,5\%$ , sendo necessário um tratamento posterior para retirada da umidade do lodo. De acordo com o método estatístico ANOVA, pelo p-valor, notou-se a variação da DQO de acordo os lotes inseridos no processo, enquanto as demais variáveis, como pH, SS, OD e SFT não variam significativamente com a mudança do tipo de garrafa reciclada. Ainda, pela correlação linear, os valores do coeficiente de Pearson se mostraram próximos da linearidade para relações de SFT *vs* Umidade do lodo e remoção SS clarificado *vs* remoção SS filtrado do efluente.

**Palavras-chave:** Tratamento de efluente. Recicladora de PET. Decantador. Bloco drenante. Análises estatísticas.

## ABSTRACT

The generation of waste in the productions processes is part of the daily life of the companies. These residues, when liquids, are known as effluents and should be treated for later reuse or release into the environment. Based on this concept, M&G Fibras Brasil, located in Poços de Caldas - MG, treats wastewater from PET recycling process following the steps of railing, equalization, coagulation, flocculation and geotextile - technology for separation solid-liquid. In order to optimize the current process, this work aims to evaluate the implementation of primary decanter followed by draining block, through a pilot system and then characterize the statistical analysis of linear correlation and ANOVA. Thus, after the railing step, it was installed the decanter followed by the block, and it was analyzed in the raw, clarified and filtered effluent samples, the following parameters: COD, pH, sedimentable solids, total solids, total volatile solids, dissolved oxygen (OD) and alkalinity. Furthermore, it was analyzed the moisture content and total volatile solids of the sludge retained in the block. It was verified the necessity of implantation of the primary decanter, due to the fact that  $7.4 \pm 6,6\%$  of the organic matter (COD) and  $79.6 \pm 16,9\%$  of the sedimentable solids were removed in the clarified current. However, the draining block was not efficient in drying the sludge retained for a period of 24 hours, with moisture content around  $82.9 \pm 4,5\%$  and total fixed solids concentration of  $90.0 \pm 3,5\%$ , and a subsequent treatment was necessary to remove the sludge moisture. According to the statistical method ANOVA, by the p-value, the COD variation was observed according to the lots inserted in the process, while the other variables, such as pH, SS, OD and SFT do not vary significantly with the change of the type of recycled bottle. Also, by the linear correlation, the values of the Pearson coefficient were shown to be intense in the linear relation SFT vs moisture of the sludge and removal SS clarified vs removal SS filtered of the effluent.

**Keywords:** Effluent treatment. PET Recycler. Decanter. Draining block. Statistical analyzes.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Sistema atual de tratamento do efluente proveniente da recicladora de PET. ....                                  | 19 |
| Figura 2 - Licença ambiental emitida pela COPAM. ....   | 22 |
| Figura 3 - Representação da polaridade presente na cadeia molecular dos tensoativos.....                                    | 25 |
| Figura 4 - Sedimentador contínuo convencional.....  | 28 |
| Figura 5 - Ensaio de sedimentação em proveta.....   | 29 |
| Figura 6 - Método de Kynch simplificado. ....   | 30 |
| Figura 7 - Caracterização do tempo de residência ( $t_R$ ). ....  | 32 |
| Figura 8 - Desaguamento do efluente em bloco drenante. ....   | 35 |
| Figura 9 - Geotêxtil. ....  | 36 |
| Figura 10 - Geossintético atuando na separação.....   | 37 |
| Figura 11 - Geotêxtil utilizado na separação sólido-líquido.....  | 38 |
| Figura 12 - Representação gráfica Boxplot. ....   | 39 |
| Figura 13 - Dimensionamento do decantador em escala piloto. ....  | 41 |
| Figura 14 - Bloco drenante. ....  | 42 |
| Figura 15 - Exemplos de lotes de garrafas verde, incolor e azul. ....   | 43 |
| Figura 16 - Representação da planta piloto e pontos de análises. ....   | 44 |
| Figura 17 - Diagrama de blocos do sistema proposto ....   | 45 |
| Figura 18 - Porcentagem de sólidos fixos totais presente no lodo: 1 dia de secagem (1) e 14 dias de secagem (2).....        | 47 |
| Figura 19 - Teor de umidade do lodo para 1 dia de secagem (1) e 14 dias de secagem (2). ....                                | 49 |
| Figura 20 - Porcentagem de remoção DQO na corrente do clarificado (1) e na corrente filtrado (2). ....                      | 50 |
| Figura 21 - Porcentagem de remoção de sólidos sedimentáveis na corrente do clarificado (1) e na corrente filtrado (2). .... | 51 |
| Figura 22 - pH das amostras de efluente bruto (1), clarificado (2) e filtrado (3). ....                                     | 52 |
| Figura 23 - Alcalinidade das amostras de efluente bruto (1), clarificado (2) e filtrado (3). ....                           | 53 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 24 - OD das amostras de efluente bruto (1), clarificado (2) e filtrado (3).<br>.....                   | 54 |
| Figura 25 - Porcentagem de sólidos fixos totais do efluente bruto (1),<br>clarificado (2) e filtrado (3)..... | 55 |
| Figura 26 - Resumo das principais correntes. ....   | 56 |
| Figura 27 - Diagrama blocos sistema atual. ....   | 60 |
| Figura 28 - Vista lateral do sistema proposto. ....   | 63 |
| Figura 29 - Vista superior do sistema proposto. ....  | 64 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Análises e métodos para amostras do efluente bruto, clarificado e filtrado.....               | 46 |
| Tabela 2 - Análises e métodos para amostras de lodo.....   | 46 |
| Tabela 3 - Análise de variância (ANOVA) para as variáveis específicas. ....                              | 57 |
| Tabela 4 - Coeficiente de Pearson (r) para diversas correlações lineares.....                            | 58 |
| Tabela 5 - Sólidos fixos totais para ensaios com 1 dia de secagem e 14 dias .....                        | 71 |
| Tabela 6 - Umidade do lodo para ensaios com 1 dia de secagem e 14 dias..                                 | 71 |
| Tabela 7 - Porcentagem de remoção de DQO nas correntes de clarificado e filtrado.....                    | 72 |
| Tabela 8 - Porcentagem de remoção de sólidos sedimentáveis nas correntes de clarificado e filtrado ..... | 73 |
| Tabela 9 - pH do efluente bruto, clarificado e filtrado. Erro $\pm 0,2$ .....                            | 74 |
| Tabela 10 - Alcalinidade do efluentes bruto, clarificado e filtrado .....                                | 75 |
| Tabela 11 - OD do efluente bruto, clarificado e filtrado. Erro $\pm 0,17$ mg/L..                         | 76 |
| Tabela 12 - SFT nas correntes de efluente bruto, clarificado e filtrado .....                            | 77 |
| Tabela 13 - ANOVA da DQO Bruto para os três tratamentos .....  | 78 |
| Tabela 14 - ANOVA da DQO Clarificado para os três tratamentos.....                                       | 78 |
| Tabela 15 - ANOVA da DQO Filtrado para os três tratamentos .....   | 78 |
| Tabela 16 - ANOVA de SS Bruto para os três tratamentos.....  | 79 |
| Tabela 17 - ANOVA de SS Clarificado para os três tratamentos .....                                       | 79 |
| Tabela 18 - ANOVA de SS Filtrado para os três tratamentos.....   | 79 |
| Tabela 19 - ANOVA do pH Bruto para os três tratamentos .....   | 80 |
| Tabela 20 - ANOVA do pH Clarificado para os três tratamentos.....  | 80 |
| Tabela 21 - ANOVA do pH Filtrado para os três tratamentos .....  | 80 |
| Tabela 22 - ANOVA da Alcalinidade Bruto para os três tratamentos .....                                   | 81 |
| Tabela 23 - ANOVA da Alcalinidade Clarificado para os três tratamentos ...                               | 81 |
| Tabela 24 - ANOVA da Alcalinidade Filtrado para os três tratamentos.....                                 | 81 |
| Tabela 25 - ANOVA de OD Bruto para os três tratamentos .....   | 82 |
| Tabela 26 - ANOVA de OD Clarificado para os três tratamentos .....                                       | 82 |
| Tabela 27 - ANOVA de OD Filtrado para os três tratamentos.....   | 82 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela 28 - ANOVA da %SFT Bruto para os três tratamentos.....        | 83 |
| Tabela 29 - ANOVA da %SFT Clarificado para os três tratamentos ..... | 83 |
| Tabela 30 - ANOVA da %SFT Filtrado para os três tratamentos.....     | 83 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                |   |
|----------------|---|
| <b>DQO</b>     | - Demanda Química de Oxigênio (mg/L)              |
| <b>DBO</b>     | - Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)           |
| <b>OD</b>      | - Oxigênio dissolvido (mg/L)                      |
| <b>PET</b>     | - Politereftalato de etileno                      |
| <b>SFT</b>     | - Sólidos fixos totais                            |
| <b>SS</b>      | - Sólidos sedimentáveis                           |
| <b>ST</b>      | - Sólidos totais                                  |
| <b>SVT</b>     | - Sólidos voláteis totais                         |
| <i>h</i>       | - Altura (m)                                      |
| <i>Z</i>       | - Altura da interface das partículas (m)          |
| $\theta_{sed}$ | - Ângulo sedimentador (°)                         |
| <i>A</i>       | - Área (m <sup>2</sup> )                          |
| <i>D</i>       | - Diâmetro (m)                                    |
| <i>M</i>       | - Massa (kg)                                      |
| $\rho_{sol}$   | - Massa específica lodo (kg/m <sup>3</sup> )      |
| <i>m</i>       | - Vazão mássica (kg/h)                            |
| <i>Q</i>       | - Vazão volumétrica (m <sup>3</sup> /h)           |
| <i>t</i>       | - Tempo de sedimentação (s)                       |
| <i>v</i>       | - Velocidade de sedimentação das partículas (m/s) |
| <i>V</i>       | - Volume (m <sup>3</sup> )                        |

## SUMÁRIO

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                                 | 15 |
| <b>2</b>     | <b>OBJETIVO</b> .....                                   | 17 |
| 2.1          | OBJETIVOS GERAIS.....                                   | 17 |
| 2.2          | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                             | 17 |
| <b>3</b>     | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                      | 18 |
| 3.1          | CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROCESSO.....                       | 18 |
| 3.2          | PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....                       | 20 |
| 3.3          | PROCESSO DE RECICLAGEM DE PET .....                     | 23 |
| <b>3.3.1</b> | <b>Águas de lavagem do processo de reciclagem</b> ..... | 23 |
| 3.4          | ADITIVOS UTILIZADOS .....                               | 24 |
| 3.5          | TRATAMENTO DE EFLUENTES .....                           | 25 |
| <b>3.5.1</b> | <b>Tratamento Preliminar</b> .....                      | 26 |
| 3.5.1.1      | Gradeamento e peneiramento .....                        | 26 |
| <b>3.5.2</b> | <b>Tratamento Primário</b> .....                        | 27 |
| 3.5.2.1      | Sedimentação .....                                      | 27 |
| 3.5.2.2      | Projeto de sedimentador convencional contínuo .....     | 29 |
| <b>3.5.3</b> | <b>Tratamento Secundário</b> .....                      | 33 |
| <b>3.5.4</b> | <b>Tratamento Terciário ou Avançado</b> .....           | 33 |
| 3.6          | DISPOSIÇÃO DO LODO .....                                | 34 |
| <b>3.6.1</b> | <b>Blocos drenantes</b> .....                           | 34 |
| <b>3.6.2</b> | <b>Geotêxtil</b> .....                                  | 36 |
| 3.7          | ANÁLISE ESTATÍSTICA.....                                | 38 |
| <b>4</b>     | <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....                         | 40 |
| 4.1          | MATERIAIS.....  | 40 |
| <b>4.1.1</b> | <b>Decantador</b> .....                                 | 40 |

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| <b>4.1.2</b> | <b>Bloco drenante</b> .....   | 41 |
| <b>4.1.3</b> | <b>Água residuária</b> .....  | 42 |
| 4.2          | METODOLOGIA .....   | 43 |
| <b>4.2.1</b> | <b>Proposta</b> .....   | 44 |
| <b>4.2.2</b> | <b>Análises</b> .....   | 46 |
| <b>5</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                                       | 47 |
| 5.1          | ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....  | 56 |
| 5.2          | CUSTOS .....  | 59 |
| <b>5.2.1</b> | <b>Manutenção tratamento atual</b> .....                                  | 59 |
| <b>5.2.2</b> | <b>Implantação do sistema proposto</b> .....                              | 61 |
| <b>6</b>     | <b>CONCLUSÃO</b> .....  | 65 |
| <b>7</b>     | <b>SUGESTÕES</b> .....  | 66 |
|              | <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 67 |
|              | APÊNDICE A – Dados obtidos experimentalmente .....                        | 71 |
|              | APÊNDICE B – Análise de variância (ANOVA) no tratamento de dados<br>..... | 78 |
|              | ANEXO A – Relatório de amostras de efluentes líquidos .....               | 84 |

## **1 INTRODUÇÃO**

Nos processos industriais, após o processo de produção, são gerados efluentes líquidos com elevado potencial de poluição. Esses efluentes, quando lançados no meio ambiente, contêm grandes quantidades de produtos químicos utilizados na linha de fabricação, materiais provenientes da lavagem de máquinas e das matérias-primas, entre outros. Uma vez descartado diretamente nos cursos d'água, o efluente pode ocasionar danos ambientais, prejudicando a biota dessa água (METCALF; EDDY, 2016).

O tratamento desse efluente possibilita o reuso da água, diminuindo, assim, os custos produtivos da empresa e contribuindo para preservação do meio ambiente. Existem diversos componentes presentes na água que alteram seu grau de pureza. Esses componentes são determinados pelos parâmetros de qualidade da água, ou seja, as características físicas determinam a presença de sólidos em suspensão, coloidais e dissolvidos, as características químicas representam a matéria orgânica e inorgânica, e as características biológicas os seres vivos ou mortos presentes na água (VON SPERLING, 1996a).

Para caracterizar a carga poluidora de determinada indústria é preciso compreender o processo industrial adotado por ela. Algumas informações que devem ser levadas em consideração são: produtos utilizados para lavagem e desinfecção das matérias-primas, identificação dos pontos de lançamento de efluentes, ritmo de produção, operações de limpeza, manutenção, entre outros (GIORDANO, 2003).

Processos com polímeros vêm recebendo destaque no âmbito industrial, porém a grande variedade das aplicações dos produtos poliméricos, a alta produtividade e o elevado tempo de degradação, contribuem com a poluição do planeta, quando descartados incorretamente (ROMÃO; SPINACÉ; PAOLI, 2009).

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET), em 2011 o Brasil consumiu 572.000 toneladas de resina PET para fabricação de embalagens. Dessa quantia, 59% de garrafas pós-consumo foram

efetivamente recicladas, dando ao país segunda colocação no *ranking* mundial, subsequente ao Japão (ABIPET, 2017).

Contudo, a evolução do mercado e avanço tecnológico vêm impulsionando diversas aplicações do material reciclado. O processo de reciclagem, além de diminuir a lotação de plásticos em aterros, necessita de apenas 0,3% da energia total para geração da resina virgem, e pode ainda ser reciclado diversas vezes sem perder a qualidade do produto, conforme o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2017).

Dessa maneira, no Brasil, diversas empresas desenvolvem alternativas de reutilização e reciclagem desses produtos. Assim, em um completo processo de lavagem, garrafas PET podem ser recicladas e tornarem-se matéria prima, por exemplo, na produção de fibras de poliéster, atualmente maior mercado para o PET pós-consumo (CEMPRE, 2017).

Além disso, outra alternativa já presente no Brasil, é a reciclagem de PET pós-consumo em grau alimentício, na qual utiliza-se da tecnologia conhecida como *bottle to bottle*, em que o PET é reciclado, recuperando-se suas características básicas originais (CEMPRE, 2017).

Como qualquer processo industrial, a reciclagem de PET também gera o efluente de lavagem e devido às características de origem do produto, a geração deste caracteriza a existência de detritos e impurezas, como óleos e gorduras, areia e materiais grosseiros. Para isso, faz-se necessário um eficiente sistema de tratamento do efluente, possibilitando seu reuso ou descarte em recursos hídricos.

Assim, pelo incentivo a inovação e busca por redução dos custos econômicos com o atual tratamento, a empresa M&G Fibras Brasil permite estudos em busca de melhorias no tratamento do efluente gerado na reciclagem de PET pós-consumo, mantendo o baixo impacto ambiental no lançamento ou a possibilidade de seu reuso.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 OBJETIVOS GERAIS**

O presente trabalho tem por objetivo propor alternativas no tratamento de efluentes líquidos do processo de reciclagem de embalagens PET da empresa M&G Fibras Brasil da cidade de Poços de Caldas – MG, contribuindo com a eficiência do tratamento.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Com o intuito de avaliar o tratamento de efluentes líquidos da empresa M&G Fibras Brasil, o projeto tem como objetivos específicos:

- a) Analisar a utilização do sistema piloto de decantador primário seguido por blocos drenantes, sem adição prévia de coagulantes e floculantes na água residuária;
- b) Avaliar a eficiência do processo proposto;
- c) Avaliar, com análises estatísticas, as amostras mensuradas.
- d) Avaliar economicamente os custos envolvidos com a nova proposta.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROCESSO**

Atualmente, devido à crescente demanda por produtos têxteis e a necessidade de preservação do meio ambiente, a reciclagem de PET recebe destaque e a geração de efluente nesse processo deve ser considerada.

A empresa M&G Fibras Brasil, líder no mercado sul-americano de fibras de poliéster, com uma das unidades localizada na cidade de Poços de Caldas – MG, realiza o processo de reciclagem de garrafas PET, o qual gera considerável quantidade de resíduos na lavagem da matéria-prima utilizada.

Os resíduos são dispostos para o tratamento de efluentes implantado na empresa, o qual consiste das seguintes etapas: gradeamento, que retém rótulos, tampas e materiais grosseiros; tanque de equalização, para correção do pH, homogeneização da vazão e adição de coagulante; e geotêxtil, que com prévia floculação, retém partículas sólidas do efluente.

Após prévio tratamento, o efluente é destinado para tratamento biológico por lodos ativados, que tem por finalidade corrigir os parâmetros: DQO, DBO, pH, entre outros. Tal sequência de tratamento é explicitada, de forma simplificada, por diagrama de blocos, na Figura 1.

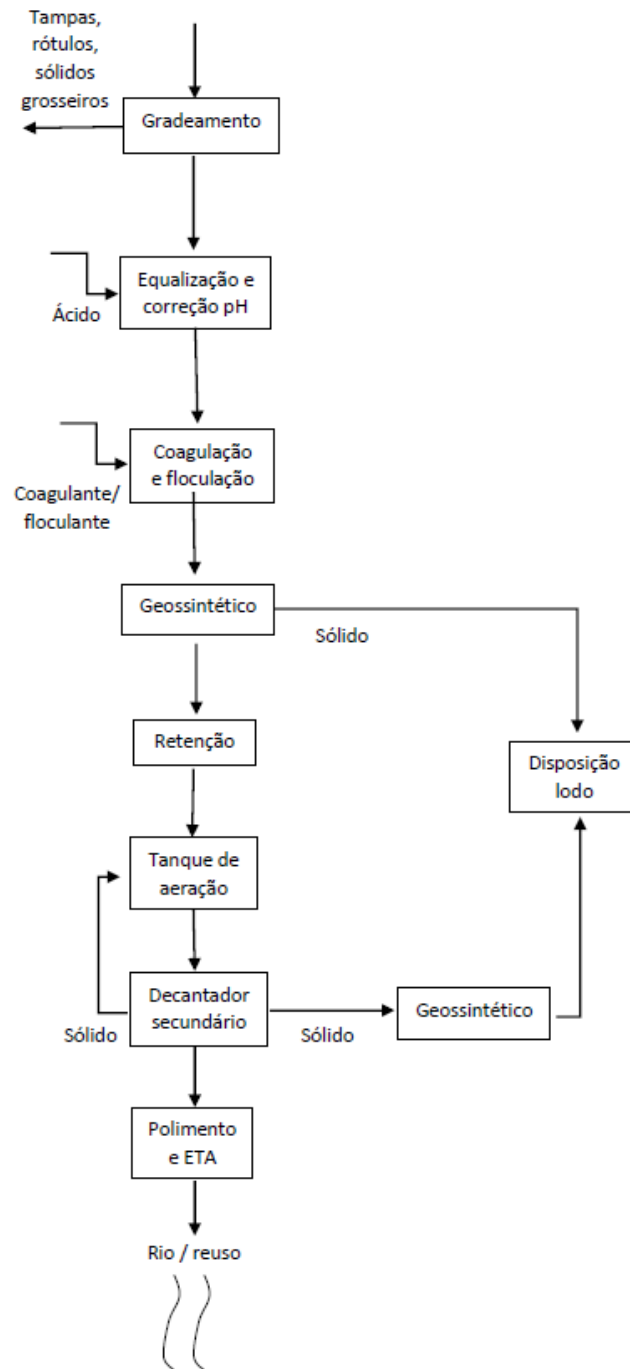


Figura 1 - Sistema atual de tratamento do efluente proveniente da recicladora de PET.

Fonte: Do autor.

A empresa M&G Fibras Brasil tem uma visão voltada, entre diversos aspectos, à questão ambiental e social. Exemplo, pela linha de fibras e de resina recicladas, na qual a matéria-prima dessas linhas são *flakes*, obtidos por meio da reciclagem de garrafas PET pós-consumo e/ou PET-PCR grau

alimentício, conforme a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2016).

Nesse processo, as embalagens, fornecidas por cooperativas, lixões ou coletores, são lavadas com detergente, soda cáustica, agente umectante e antiespumante, e transformadas em *flakes*, que são utilizados na linha de fibras de poliéster para confecção de roupas, carpetes, diversos artigos têxteis, e embalagens alimentícias.

A empresa em questão tem vazão do efluente da recicladora variando entre 2 e 10 m<sup>3</sup>/h. Ainda que, atendendo todos os parâmetros de lançamentos no tratamento atual, caracteriza-se a necessidade pela busca por processos viáveis tanto econômica quanto ambientalmente.

### 3.2 PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Para enquadramento dos corpos d'água, normas e procedimentos são definidos pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, e se procedem de acordo com principais usos restritos da água, atuais ou pretendidos (BRASIL, 2005).

No efetivo descarte ou reuso da água, após o tratamento completo, faz-se necessário que os padrões de qualidade e lançamento sejam atendidos, e baseados nos limites requeridos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) e pelo Conselho Estadual de Política Ambiental, na Deliberação Normativa de Minas Gerais – COPAM 010/86 (COPAM, 1987), laudos internos são emitidos mensalmente pela empresa para controle do processo.

As ações de gestão que representam a utilização dos recursos hídricos, como cobranças de licenciamentos ou controle de poluição, baseiam-se nas metas progressivas intermediárias e final, aprovadas pelo órgão responsável à bacia ou curso hídrico específico (BRASIL, 2005).

Considerando-se, como água doce de classe 2, o curso hídrico responsável pelo recebimento da água tratada da empresa, alguns padrões de qualidade do corpo receptor devem ser adotados, baseados da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005):

- I) Cor: até 75 mg Pt/L;
- II) Turbidez: até 100 UNT;
- III) Sabor e odor: ausentes;
- IV) Material flutuante: ausente;
- V) Óleos e graxas: ausentes;
- VI) Corantes artificiais: ausentes;
- VII) Sólidos dissolvidos: 500 mg/L;
- VIII) Cloretos: 250 mg/L;
- IX) pH: 6,0 a 9,0;
- X)  $DBO_5$  a 20°C: até 5 mg/L;
- XI) OD: superior a 5 mg/L  $O_2$ ;
- XII) Amônia ionizada: 0,02 mg/L;
- XIII) Coliformes totais: 5.000 org/100 mL
- XIV) Coliformes fecais: 1.000 org/100 mL;

Ainda, de acordo com a legislação estadual específica, emitida pela Deliberação Normativa de Minas Gerais – COPAM 010/86, o padrão de lançamento possui características próprias, que devem ser atendidas para descarte do efluente tratado no corpo d'água. (COPAM, 1987).

- I) Temperatura: menor 40° C;
- II) Material flutuante: ausente;
- III) Óleos e graxas: minerais 20 mg/L;
- IV) pH: 5,0 a 9,0;
- V)  $DBO_5$  a 20°C: até 60 mg/L;
- VI)  $DQO$ : 90 mg/L;
- VII) Sólidos em suspensão: 100 mg/L
- VIII) Amônia total: 5,0 mg/L;
- IX) Regime de lançamento: vazão máxima de 1,5 vezes a vazão média do período de atividade do agente poluidor.

Dessa maneira, atendendo a esses e outros parâmetros, o tratamento atual conta com efetiva remoção dos parâmetros que contribuem com a carga

poluente do meio, como DQO, pH, SS, geração de óleo (GR/ÓL). O certificado de licença ambiental está detalhado na Figura 2.

**GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS**  
SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - SEMAD

**CERTIFICADO REVLO N.º. 163/2014 - SUL**  
**L I C E N Ç A   A M B I E N T A L**

O Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM no uso de suas atribuições, e com base no artigo 10 do Decreto nº 44.844, de 25 de Junho de 2008, nos termos do artigo 4º, inciso VIII, da Lei 178, de 29 de Janeiro de 2007, artigo 38, § 1º, inciso VI do Decreto 43.316, de 07 de Junho de 2006 e do artigo 1º, inciso III da DN COPAM nº 17, de 17 de Setembro de 1996, Revalida a Licença de Operação, da empresa **M&G FIBRAS BRASIL S/A**, CNPJ N.º. 04.241.585/0003-54, para as atividades de FABRICAÇÃO DE RESINAS TERMOPLÁSTICAS A PARTIR DE PRODUTOS PETROQUÍMICOS BÁSICOS e RECICLAGEM DE PLÁSTICOS COM A UTILIZAÇÃO DE PROCESSO DE RECICLAGEM A BASE DE LAVAGEM COM ÁGUA, localizada na Alameda Poliéster, nº 1000, Bairro Bortolan, Coordenadas Geográficas (Datum SAD 69) Lat. -21º 48' 37" e Long. -46º 38' 12", no município de **Poços de Caldas**, no Estado de Minas Gerais conforme processo administrativo de nº 00019/1982/028/2014, e decisão da Unidade Regional Colegiada Copam Sul de Minas, em reunião do dia 01/12/2014.

Sem condicionantes

Com condicionantes  
(Válida somente acompanhada das condicionantes listadas no anexo)  
(A concessão da Licença deverá atender ao art. 6º da DN COPAM 13/95, sob pena de revogação da mesma)  
(A revalidação da licença dar-se-á com base nas DN COPAM 017/96 e 023/97)

O PRESENTE CERTIFICADO SOMENTE TEM VALIDADE ACOMPANHADO DOS ANEXOS I e II, DO TÍTULO AUTORIZATIVO VÁLIDO EMITIDO PELO DNPM (CASO DE MINERAÇÃO) E ANP (CASO DE PETRÓLEO/GAS).  
ESTA LICENÇA NÃO DISPENSA, NEM SUBSTITUI A OBTENÇÃO PELO REQUERENTE DE CERTIDÕES, ALVARÁS, LICENÇAS E AUTORIZAÇÕES DE QUALQUER NATUREZA, EXIGIDOS PELA LEGISLAÇÃO FEDERAL, ESTADUAL E MUNICIPAL.

Validade da Licença Ambiental: 8 (oito) anos, com vencimento em 01/12/2022.

Varginha, 1º de Dezembro de 2014.

**AMILTON FERRI VASCONCELOS**  
Superintendente Regional de Regularização Ambiental Sul de Minas

feam - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE  
IEF - INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS  
IBRAN - INSTITUTO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Figura 2 - Licença ambiental emitida pela COPAM.

Fonte: M&G Fibras Brasil Ltda (2017).

Como observado no Anexo A, relatório mensal enviado à Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2017), tem-se a remoção de DQO no tratamento atual em média de 95%, a geração de óleo reduzida em 65% e o pH atingindo valores próximos à neutralidade, caracterizando, assim, o eficiente tratamento atual adotado pela empresa.

### 3.3 PROCESSO DE RECICLAGEM DE PET

O PET é um poliéster termoplástico, polímero sintético, dos mais utilizados no Brasil, dentre uma variedade existente como: polipropileno (PP), polietileno (PE), policloreto de vinila (PVC). As características de leveza, resistência e transparência do PET, satisfazem a demanda de consumo doméstico e alimentício (CEMPRE, 2017).

A reciclagem, buscando minimizar o impacto causado pelos polímeros, pode ser dividida em quatro classes: primária, secundária, terciária e quaternária. A primária e a secundária são conhecidas como reciclagem mecânica ou física, de forma que na primeira utiliza-se polímero pós-industrial, o qual converte os resíduos em produtos com características próximas ao original, e na segunda utiliza-se polímero pós-consumo, que transforma, por meio da reciclagem, resíduos em produtos de menor exigência. A terciária é chamada de reciclagem química, pelo fato de converter resíduos poliméricos em insumos químicos ou combustíveis, e a quaternária de energética, por recuperar energia dos resíduos pela incineração controlada (ROMÃO; SPINACÉ; PAOLI, 2009).

#### **3.3.1 Águas de lavagem do processo de reciclagem**

Para realização da reciclagem de PET é necessária a utilização de água como componente crucial. Ela tem como objetivo principal a remoção dos resíduos provenientes dos aterros sanitários e depósitos de coleta. Nesse caso, ela participa na remoção de detritos e impurezas presentes nesses plásticos, como óleos e gorduras, areia, sólidos grosseiros, entre outros. Essas impurezas, quando não removidas, contaminam a matéria-prima causando problemas para posterior reutilização do PET reciclado (BORDONALLI; MENDES, 2009).

Além da água, para limpeza das garrafas na recicladora, é necessária a utilização de produtos como detergente, agente umectante, soda cáustica e antiespumante. Observa-se, assim, a necessidade do tratamento do efluente gerado, de forma a adequá-lo tanto para o descarte na rede pública, como para

reutilização da água pela empresa. Para isso uma análise contínua deve ser realizada, pois o descarte sem tratamento prévio gera danos ao meio ambiente, e a água tratada quando reutilizada reduz, além dos gastos econômicos, a poluição dos cursos hídricos (ROCHA et al., 2005).

Tendo em mente a escassez hídrica e os custos relativos ao consumo de água, torna-se cada vez mais necessária a busca por soluções em atividades industriais para o reuso desse recurso. O tratamento da água advinda da reciclagem de plásticos, com alto grau de carga orgânica, é uma alternativa viável, independente do destino que será dado a ela (ROCHA et al., 2005).

Existem diversas alternativas de tratamento de efluentes industriais com elevada carga orgânica. Após o efluente passar pelo tratamento preliminar e primário, pode-se utilizar como tratamento secundário sistemas aeróbios ou anaeróbios. Ambos são viáveis para tratar efluentes advindos da lavagem de garrafas PET, o que varia é o custo para implantação e manutenção, tempo de degradação da matéria orgânica, eficiência de remoção de DQO e DBO, entre outros (METCALF; EDDY, 2016).

### 3.4 ADITIVOS UTILIZADOS

O agente tensoativo ou surfactante é um dos compostos químicos presentes em detergentes e produtos para limpeza de uso diário, e quando descartado na natureza sem qualquer tratamento, causa danos ao ecossistema natural. Assim, se efetuado o tratamento do efluente contendo esse composto, parte dele consegue ser degradado biologicamente, porém parte é adsorvida ao lodo, que ao ser descartado no solo torna-se fonte poluidora. Para isso torna-se necessária a análise da concentração de tensoativos de forma rápida e precisa, possibilitando o monitoramento da biodegradação destes ao longo do tempo (JURADO et al., 2006).

Jurado et al. (2006) propõem a simplificação do método espectrofotométrico de azul de metileno, a fim de determinar, em menor tempo e com menor quantidade de reagentes, os surfactantes aniônicos em amostras aquosas relativamente limpas.

Os tensoativos são compostos difíceis de serem tratados, e isso se deve às características da sua cadeia molecular, em que parte possui caráter polar capaz de interagir com a água, e parte apolar que interage com o óleo, como mostrado na Figura 3. Desta forma a quebra da molécula, para futura coagulação e floculação, necessárias no tratamento dos compostos presentes no efluente, torna-se prejudicada (DALTIM, 2011).

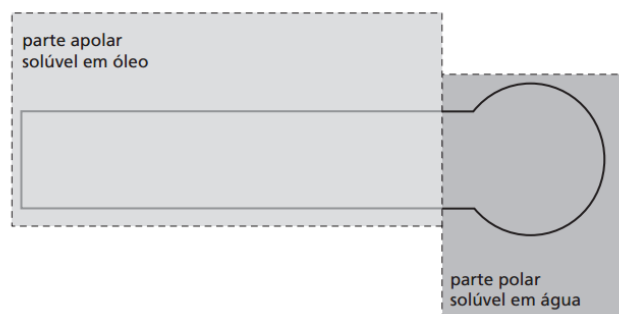


Figura 3 - Representação da polaridade presente na cadeia molecular dos tensoativos.

Fonte: DALTIM (2011, p. 11).

Como já mencionado, para que as garrafas PET sejam utilizadas como matéria-prima de materiais têxteis ou embalagens alimentícias é necessário que outros aditivos sejam adicionados no processo de lavagem entre eles destaca-se a soda cáustica, o agente umectante e antiespumante. Esses produtos são utilizados, entre diversas funções, para tornar óleos e gorduras substâncias solúveis e fluidas que podem ser removidas pela água na lavagem.

### 3.5 TRATAMENTO DE EFLUENTES

O processo de tratamento dos efluentes pode ser classificado em físico, químico e biológico de acordo com a natureza do poluente que se deseja remover, e se divide em etapas. Inicialmente, devem-se realizar os tratamentos preliminar e primário, processos físicos que envolvem a remoção de sólidos grosseiros e em suspensão, pelo uso das operações: gradeamento, peneiramento, separação de óleos e gorduras, sedimentação, flotação e filtração. Posteriormente, os tratamentos secundário e terciário devem ser realizados, os quais constituem-se de processos químicos e biológicos, com a

função de promover a remoção de poluentes e degradação da matéria orgânica. Nessas últimas etapas estão presentes os processos: coagulação, floculação, filtros biológicos, lagoas facultativas etc (VON SPERLING, 1996b).

### **3.5.1 Tratamento Preliminar**

O tratamento preliminar consiste na utilização de grades ou peneiras, e equalizadores para retirada de sólidos grosseiros indesejados no processo e homogeneização do efluente. Essa retirada impede a passagem de materiais com potencial de danificar bombas, tubulações e posteriores etapas do tratamento. Para que se tenha boa eficiência na retenção de sólidos desejados é necessário, além do correto dimensionamento das grades ou peneiras, a escolha adequada dessas. (METCALF; EDDY, 2016).

#### 3.5.1.1 Gradeamento e peneiramento

As grades são constituídas por barras paralelas, com aberturas de dimensões uniformes, posicionadas entre 45 e 90°, responsáveis por reter sólidos grosseiros presentes no efluente. Pode ser dividida em grades grossas, médias e finas, atuando na limpeza manual ou mecanicamente. As grossas, com espaçamento entre 40 e 100 mm das grades, retêm garrafas, galhos, etc. As médias atuam na retenção de plásticos, papéis, madeira, com espaçamento de 20 a 40 mm. Por fim as finas com dimensões de 10 a 20 mm, retêm fibras de tecido, cabelos, etc (METCALF; EDDY, 2016).

As peneiras, possuem espaçamento das malhas entre 0,5 e 2 mm, e objetivam a remoção de sólidos nessas dimensões. Geralmente são utilizadas no tratamento de efluentes de indústrias têxtil, frigoríficos, cervejarias etc, e podem ser estáticas ou rotativas (GIORDANO, 2003).

Além disso, tanques de equalização podem ser utilizados nessa etapa a fim de amortizar picos de vazão e concentração do efluente. A correção de pH, efetuada nessa fase, normalmente se procede, caso o efluente possua característica básica, com a adição de ácido sulfúrico ou clorídrico, por exemplo (METCALF; EDDY, 2016).

### 3.5.2 Tratamento Primário

O tratamento primário tem por função eliminar os sólidos em suspensão e sedimentáveis que não foram retidos no tratamento preliminar. Parte desses sólidos não removidos compreendem a matéria orgânica em suspensão, e dessa forma, a remoção por simples processo de sedimentação contribui para redução da carga de DBO encaminhada ao tratamento secundário (VON SPERLING, 1996a).

#### 3.5.2.1 Sedimentação

O processo de sedimentação é responsável pela eliminação de sólidos sedimentáveis por meio de decantadores. Esses equipamentos funcionam baseados na diferença de densidade entre as fases existentes para separação sólido-líquido, na qual as partículas depositam-se no fundo do equipamento (VON SPERLING, 1996b).

O efluente flui lentamente no tanque e as partículas em suspensão, com densidade maior que o líquido, decantam no fundo do equipamento. Ao fim do processo torna-se possível a obtenção de produtos desejados, entre eles o líquido clarificado e o sólido decantado, também chamado de lodo (DEZOTTI, 2008).

Esse processo físico é inserido no tratamento de efluentes a fim de, dentre as diversas aplicações, remover areia, sólidos suspensos, remover flocos biológicos ou químicos, concentrar sólidos em espessadores etc. Tal característica se procede por meio da interação das partículas em quatro tipos distintos de zona de sedimentação gravitacional: zona discreta, floculenta, retardada e compressão (METCALF; EDDY, 2016).

Na zona discreta as partículas não interagem, e mantendo sua individualidade em processo de decantação, sedimentam sem alteração de massa ou forma. Na zona floculenta as partículas, não mais livres, formam aglomerados e aumentam a concentração dessa região, facilitando a sedimentação. Na retardada ou sedimentação em zona, as partículas próximas umas das outras formam blocos, e em elevada concentração,

sedimentam juntas, ao instante em que o líquido, em força contrária, tende a movimentar-se para cima. Por fim, a zona de compressão é formada pelas partículas sedimentadas no fundo, que são comprimidas com o aumento da quantidade de partículas (METCALF; EDDY, 2016).

Dentre os diversos tipos de decantadores, podendo estes serem mecanizados ou não, os tanques cilíndricos recebem destaque (FIGURA 4). Nesses, com auxílio de tubulação central ascendente, o líquido flui do centro em direção as paredes do tanque, e raspadores auxiliam no descarte do sólido. Comumente podem ser classificados em espessadores e clarificadores, os quais variam no produto final de interesse. O primeiro visa a produção de espessados com alta concentração de partículas (*Underflow*), enquanto o segundo destina-se ao líquido clarificado (*Overflow*) (CREMASCO, 2014).

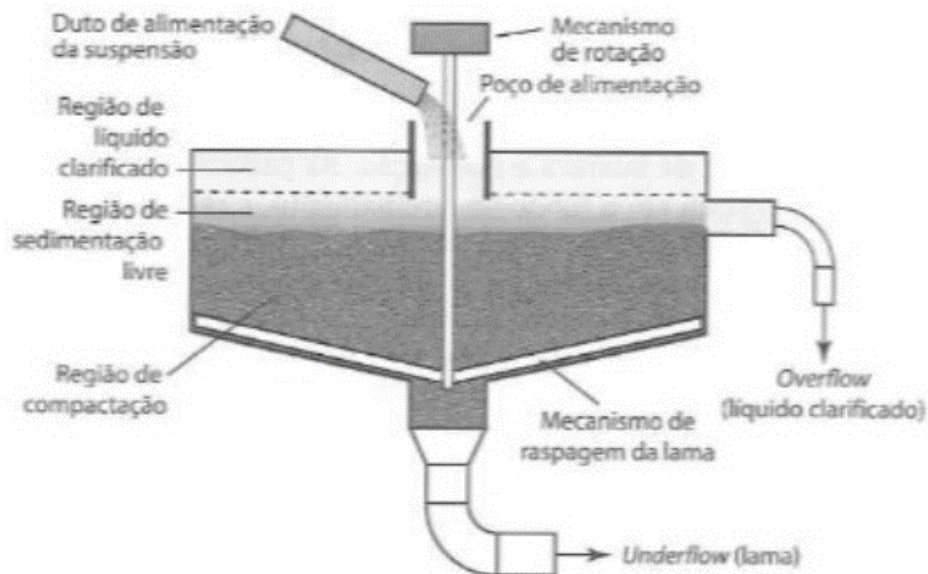


Figura 4 - Sedimentador contínuo convencional.

Fonte: CREMASCO (2014, p.329).

A fim de realizar testes para comparações, o processo de sedimentação pode ser representado por ensaio em proveta, no qual avalia-se o deslocamento da interface sólido-líquido em relação ao tempo (FIGURA 5).

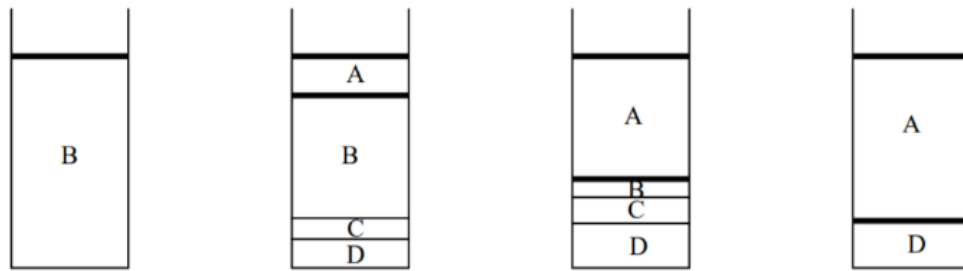


Figura 5 - Ensaio de sedimentação em proveta.

Fonte: CUNHA (2004, p.57).

Inicialmente, no teste, a concentração da fase particulada é constante em todos os pontos e a suspensão mostra-se homogênea (zona B). Instantes posteriores, as partículas mais densas e com maior velocidade de sedimentação, direcionam-se ao fundo da proveta, e formam a região de compactação (zona D). Por sua vez, aglomerados menos densos, com velocidade de sedimentação inferior, permanecem na região intermediária de sedimentação livre (zona B e C). Após as partículas iniciarem a sedimentação, nota-se a região de líquido clarificado, isenta de sólidos (zona A). Assim, finalizado o período necessário para decantação dos sólidos suspensos e sedimentáveis, atinge-se as regiões características de compactação e líquido clarificado (CREMASCO, 2014).

### 3.5.2.2 Projeto de sedimentador convencional contínuo

Baseado nos testes em batelada com ensaios em proveta, a curva que representa a variação da altura da interface particulada com o tempo, possibilita o dimensionamento do sedimentador, com determinação de sua altura e área transversal.

Dentre diversos métodos para dimensionamento, o método gráfico desenvolvido por Kynch em 1952 recebe destaque pela redução do número de ensaios, comparado a outros métodos, e a simplicidade na determinação dos parâmetros necessários de projeto (CREMASCO, 2014).

Para isso, o método de Kynch conta com algumas suposições, entre elas: sedimentação unidimensional, velocidade de sedimentação tendendo a zero

quando concentração atinge valor máximo, velocidade de sedimentação dependendo apenas da concentração local de sólidos, e efeitos da parede desconsiderados (NUNES, 2008).

Assim Biscaia Jr, sucessor de Kynch, a fim de minimizar a razão da vazão pela área do sedimentador, propôs um método em que a curva de sedimentação atua como a combinação de uma reta com a exponencial. Com isso, torna-se possível a determinação de parâmetros explorando a curva de sedimentação da Figura 6 (MASSARANI, 1997).

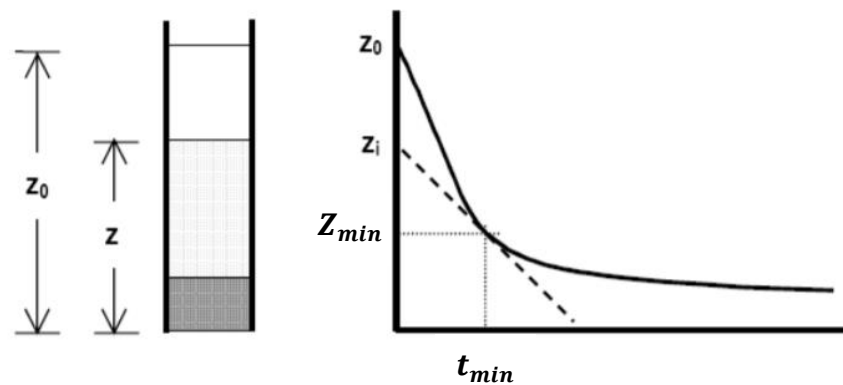


Figura 6 - Método de Kynch simplificado.

Fonte: Adaptado de FRANÇA; MASSARANI (2004).

Tal método gráfico possibilita a determinação da velocidade de sedimentação das partículas sólidas ( $v$ ), pela Equação 1 (FRANÇA; MASSARANI, 2004).

$$v = \frac{Z_i - Z_{min}}{t_{min}}, \quad (1)$$

em que  $Z_i$  é a altura da interface das partículas obtida pelo rebatimento da tangente traçada em determinados pontos da curva de sedimentação,  $Z_{min}$  e  $t_{min}$ , altura e tempo do ponto escolhido após fim da linearidade observada no gráfico.

No método em questão, pela relação da altura da interface com o tempo de sedimentação, viabiliza-se pela Equação 2, a determinação da área do sedimentador ( $A_{sed}$ ) (MASSARANI, 1997).

$$A_{sed} = \frac{Q \cdot t_{min}}{Z_0}, \quad (2)$$

em que  $Q$  é a vazão de alimentação do sedimentador,  $Z_0$  é a altura a interface no tempo  $t = 0$ , e  $t_{min}$  é o tempo que corresponde a altura mínima de sedimentação  $Z_{min}$ . Tal altura pode ser determinada pela Equação 3 (MASSARANI, 1997).

$$Z_{min} = Z_0 \cdot \frac{\varepsilon_{p0}}{\varepsilon_{pL}}, \quad (3)$$

a qual  $\varepsilon_{p0}$  e  $\varepsilon_{pL}$  representam a concentração de partículas na alimentação e no espessado, respectivamente.

Após plotado os dados obtidos em ensaio de proveta, com o gráfico exponencial  $Z$  versus  $t$  pode-se determinar a equação da curva pela Equação 4.

$$Z_{min} = a \cdot e^{-b \cdot t_{min}}, \quad (4)$$

em que  $a$  e  $b$  são os coeficientes determinados pela curva de sedimentação. Dessa maneira, torna-se viável isolar  $t_{min}$  e determiná-lo pela Equação 5.

$$t_{min} = \frac{1}{b} \ln \left( \frac{Z_{min}}{a} \right) \quad (5)$$

Com isso, conhecendo-se os valores de vazão de alimentação ( $Q$ ), a altura da interface inicial ( $Z_0$ ), e determinando-se o parâmetro  $t_{min}$ , pode-se encontrar a área do sedimentador, descrita anteriormente pela Equação 2, e em seguida, determinar o diâmetro ( $D$ ) deste pela Equação 6.

$$A_{sed} = \pi \frac{D^2}{4} \quad (6)$$

A fim de determinar a altura do sedimentador ( $H$ ) França e Massarani (2004) constataram a soma de três parcelas distintas, de acordo com a Equação 7.

$$H = H_1 + H_2 + H_3, \quad (7)$$

na qual  $H_1$  representa a região de líquido clarificado, variando de 0,45 a 0,75 m,  $H_2$  é altura da região de espessamento determinada pela Equação 8, e  $H_3$  altura do fundo do sedimentador caracterizada pela Equação 9.

$$H_2 = \frac{4}{3} Z_{min} \frac{t_R}{t_{min}}, \quad (8)$$

$$H_3 = 0,073 \cdot D, \quad (9)$$

em que  $D$  é o diâmetro do sedimentador, e  $t_R$  é o tempo de residência da fase particulada na região de compactação (FIGURA 7), correspondente ao tempo consumido entre o final do período de sedimentação, a velocidade constante, e o instante em que o substrato atinge a concentração desejada (CREMASCO, 2014).

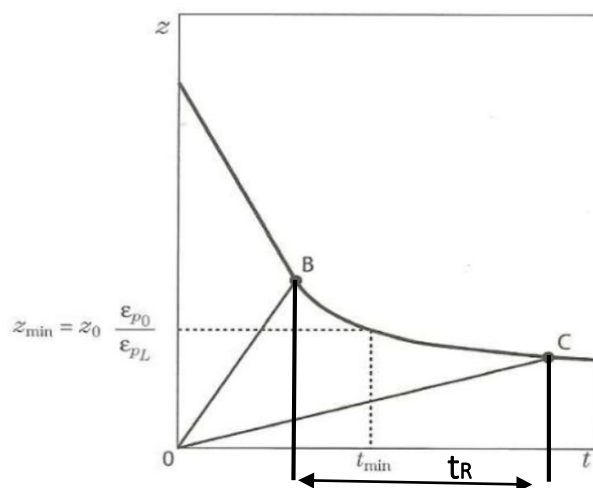


Figura 7 - Caracterização do tempo de residência ( $t_R$ ).

Fonte: Adaptado de CREMASCO (2014).

Em relação à angulação do fundo do tanque de sedimentação ( $\theta_{sed}$ ), esta pode ser obtida experimentalmente por meio da obtenção de ângulo de repouso do espessado ( $\theta_{rep}$ ), já que efluentes industriais possuem características distintas do esgoto sanitário, em que o fundo do tanque normalmente tem declividade 1:12 (vertical:horizontal) (METCALF; EDDY, 2016).

Assim, de maneira que as partículas presentes no efluente, na região do espessado, se direcionem para a saída de fundo do sedimentador, tem-se a necessidade de  $\theta_{sed} > \theta_{rep}$ , sendo esta última determinada por procedimentos experimentais.

### **3.5.3 Tratamento Secundário**

Esse tratamento, conhecido por tratamento biológico, tem por finalidade a eliminação da matéria orgânica biodegradável não sedimentável e diversos poluentes. Atua no crescimento de microrganismos, os quais degradam a matéria orgânica suspensa ou dissolvida. O contato efetivo de bactérias, protozoários e fungos, com a matéria orgânica presente no efluente, contribui para conversão desta em gás carbônico, água e material celular (VON SPERLING, 1996a).

Temperatura, pH e tempo de contato são algumas das condições necessárias para o bom rendimento do processo de degradação. A degradação pode se perfazer de duas maneiras distintas, sendo elas anaeróbia ou aerobiamente. Caso o tratamento seja aeróbio, tem-se o oxigênio como componente fundamental do processo e pode ser de diversos tipos: lagoas de estabilização, lodos ativados, biodiscos etc. Já o tratamento anaeróbio não requer oxigênio e pode ser: fossa séptica, reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) etc (VON SPERLING, 1996a).

### **3.5.4 Tratamento Terciário ou Avançado**

Práticas mais avançadas de tratamento secundário definem o tratamento terciário, o qual é projetado para reter poluentes orgânicos não

biodegradáveis e nutrientes minerais, como nitrogênio e fósforo. Esse tratamento pode se efetivar quando se deseja, principalmente em indústrias, reaproveitar a água ou aumentar sua qualidade para descarte em cursos hídricos. Dentre os diversos tipos de processos realizados nessa etapa tem-se: adsorção com carvão ativado, osmose reversa, troca iônica etc (VON SPERLING, 1996a).

### 3.6 DISPOSIÇÃO DO LODO

A fim de encaminhar o lodo à processos de estabilização, como incineração, compostagem e aterro, que reduzem a concentração de patógenos, eliminam maus odores e reduzem o potencial de putrefação, faz-se necessário prévia desidratação do material sólido por meio de tecnologias de desaguamento. Dentre essas tecnologias se destacam leitos de secagem de lodo e geotêxtil (METCALF; EDDY, 2016).

#### **3.6.1 Blocos drenantes**

Os resíduos gerados tanto em indústrias quanto nas cidades devem ser tratados, e nesse processo ocorre a geração de lodo como subproduto. Esse, por sua vez, necessita ser disposto de forma adequada, a fim de evitar problemas ambientais. A destinação em aterros sanitários, o tratamento por meio da compostagem, incineração, reaproveitamento como subproduto na fabricação de cerâmica, ou aplicação na agricultura são alternativas para sua disposição final. Antecedendo tal disposição, faz-se necessário, para redução da umidade, a desidratação do lodo, que pode ser feita por meio da utilização de leitos de secagem convencionais, centrífugas, filtro prensa, geotêxtil etc.

Outra alternativa que recebe destaque é a utilização de blocos drenantes, peças plásticas injetadas que atuam como meio filtrante. Esses são constituídos por camadas moldadas e justapostas, de alta porosidade, que contem orifícios com resistência à abrasão e corrosão. O funcionamento desses blocos se baseia no descarte do lodo, advindo da sedimentação, para os leitos, e a água escoar pelos blocos. Com isso o lodo é seco até o teor de

sólidos desejado, para futura raspagem desse conteúdo (FIGURA 8) (MÜLLER, 2005).



Figura 8 - Desaguamento do efluente em bloco drenante.

Fonte: SILVA; POHLMANN (2014, p.3).

Além de apresentar alta eficiência de desaguamento e secagem, os blocos drenantes operam em pequenas dimensões, com alturas das baias específicas para cada projeto, e altas capacidades, apresentando fácil manutenção e baixo custo de operação (SILVA; POHLMANN, 2014).

A fim de avaliar a área necessária para implantação de um projeto em escala industrial, deve-se inicialmente considerar os testes em escala piloto, para determinar, pela Equação 10, a vazão mássica real do sistema ( $\dot{m}^r$ ).

$$\dot{m}^r = \frac{\dot{m}^p}{Q^p} \cdot Q^r, \quad (10)$$

em que  $\dot{m}^p$  é a vazão mássica da planta piloto,  $Q^p$  é a vazão volumétrica da planta piloto, e  $Q^r$  a vazão volumétrica adotada para sistema industrial real.

Desta forma, torna-se possível determinar a massa de lodo retida no bloco drenante ( $M$ ) em escala real, por meio da Equação 11, avaliando-se o tempo de funcionamento do sistema ( $t_r$ ), e sua vazão mássica ( $\dot{m}^r$ ).

$$M = \dot{m}^r \cdot t_r \quad (11)$$

Assim, de acordo com a massa determinada anteriormente ( $M$ ) e a massa específica característica do lodo ( $\rho_{sol}$ ), apura-se pela Equação 12 o volume necessário para descarte, no bloco drenante, do lodo retido no decantador.

$$V = \frac{M}{\rho_{sol}} \quad (12)$$

Por fim, em termos de dimensionamento, por meio da Equação 13, compreende-se a área necessária para implantação de um bloco drenante em escala industrial ( $A_{BD}$ ), a qual utiliza-se do volume mensurado ( $V$ ) e da altura limite da torta de filtração do lodo apresentada em escala piloto ( $h$ ).

$$A_{BD} = \frac{V}{h} \quad (13)$$

### 3.6.2 Geotêxtil

O geotêxtil é uma classificação genérica dada aos geossintéticos ou geomembranas baseada no processo de fabricação. Esse, flexível e impermeável, é caracterizado por mantas de fibras ou filamentos, empregados na separação, proteção, filtração, drenagem, reforço e controle de erosão. Sua estrutura é demonstrada na Figura 9 (BATHURST, 2017a).

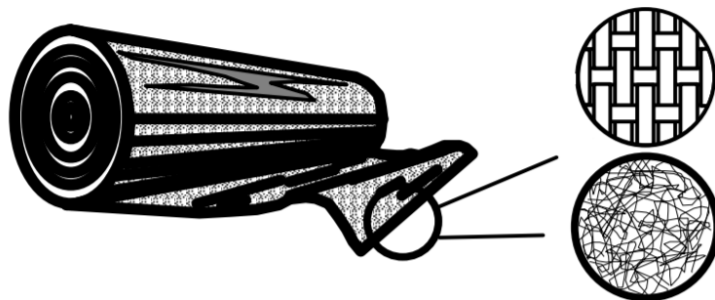


Figura 9 – Geotêxtil.

Fonte: BATHURST (2017a, p.1).

O geossintético, material polimérico com diversas aplicações, é amplamente empregado em questões geotécnicas, ambientais, hidráulicas e de transporte. A separação, como função primária do material, recebe destaque. Baseado na Figura 10, o produto atua como um filtro, separando duas fases, permitindo a passagem de água enquanto retêm as partículas sólidas, por exemplo (BATHURST, 2017b).

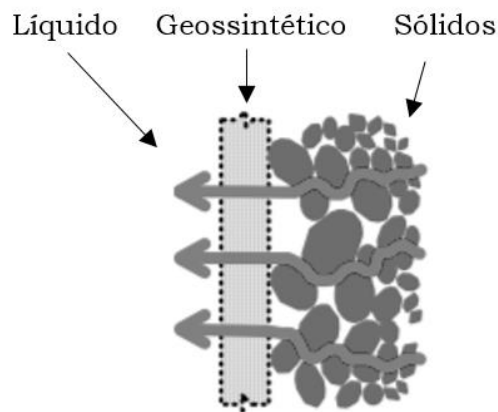


Figura 10 - Geossintético atuando na separação.

Fonte: Adaptado de BATHURST, 2017b.

É um tipo de tecnologia de fácil manuseio e implantação, utilizada em diversas empresas para desidratação de lodos ou separação das fases sólido-líquido (FIGURA 11). No caso da utilização para separação de fases, o processo consiste em algumas etapas. A primeira é caracterizada pelo bombeamento do efluente líquido com os sólidos para o geotêxtil. Posteriormente ocorre a desidratação, a qual os sólidos presentes no efluente ficam retidos nos poros do equipamento, tendo como produto o líquido clarificado. Por fim, procede-se a consolidação, na qual os sólidos se depositam no interior do equipamento (ALLONDA, 2017).



Figura 11 - Geotêxtil utilizado na separação sólido-líquido

Fonte: ALLONDA, 2017.

### 3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Em busca de melhorias no desempenho do tratamento de efluentes, além da otimização de parâmetros de processo, os procedimentos operacionais, tecnologia das instalações e substituição dos equipamentos recebem destaque. Para viabilização desses avanços, requer-se o emprego de ferramentas sofisticadas, e a análise dos dados operacionais caracteriza as condições existentes e proposição de oportunidades para otimização (METCALF; EDDY, 2016).

A correlação linear é um método estatístico utilizado para análise de dados de registros históricos, cuja caracterização se dá pela relação entre um parâmetro que precisa ser otimizado e demais variáveis com efeito sobre esse parâmetro. O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) indica a relação linear entre os parâmetros analisados e varia de -1 a 1 (METCALF; EDDY, 2016).

A análise de variância (ANOVA) é baseada em conceitos estatísticos, a fim de rejeitar ou aceitar determinada hipótese, na qual  $H_0$  as médias são iguais e  $H_1$  médias distintas. Tal teste é utilizado para comparar três ou mais tratamentos, por meio da avaliação dos valores de  $F$  e  $F_{crítico}$ , e p-valor gerados na análise (OLIVEIRA, 2008).

Testes em escala piloto são úteis para avaliar o desempenho de diversas alternativas tecnológicas, e diagnosticar critérios para projeto da instalação em escala industrial (METCALF; EDDY, 2016). As informações obtidas possibilitam, dentre as diversas características benéficas para o processo, a

determinação da eficiência do método proposto ( $E$ ) para parâmetros específicos, demonstrada pela Equação 14.

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100, \quad (14)$$

em que  $S_0$  é a concentração inicial, e  $S$  concentração final do recurso analisado.

Ainda, para melhor entendimento dos resultados obtidos, executou-se as análises exploratórias por meio dos gráficos denominados “Boxplots”, os quais possibilitam a comparação visual entre diversos grupos de dados (FIGURA 12).

Analisado em quartis, o gráfico se apresenta como diagrama de caixa, em que no retângulo central, do primeiro ao terceiro quartil, localizam-se 50% dos dados, com a mediana das amostras em seu interior. Duas retas, por meio de cálculos, em lados opostos, vão desde o primeiro e terceiro quartis até os limites inferior e superior, respectivamente. Por fim, os *outliers*, representados por pontos, são dados que ultrapassam os limites estabelecidos pelas retas (HELSEL; HIRSCH, 1992).

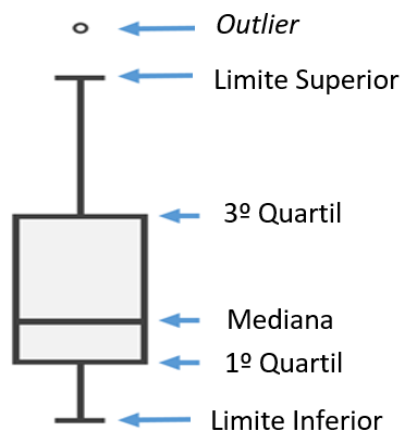


Figura 12 - Representação gráfica Boxplot.

Fonte: Do autor.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

A primeira parte do projeto foi realizada na empresa M&G Fibras Brasil, e consistiu na implantação de sistema piloto com um decantador seguido por blocos drenantes como parte do tratamento primário do efluente líquido gerado na lavagem da recicladora de PET. A segunda etapa, análise estatística, foi realizada com auxílio da ferramenta computacional, EXCEL.

### 4.1 MATERIAIS

#### 4.1.1 Decantador

O equipamento utilizado, fabricado em aço, consistiu em uma parte cônica na base, seguida por uma parte cilíndrica, a qual internamente possuía um cilindro coaxial de 10 cm de diâmetro, de modo a facilitar a distribuição do efluente. Tal equipamento foi previamente dimensionado de acordo com os parâmetros de projeto estudados por Vicente e Brito (2015), os quais, de acordo com a curva de sedimentação, apresentaram para concentração de partículas médias,  $Z_{min} = 0,0567 m$  e  $t_{min} = 19,15 min$ , determinados pelas Equações 3 e 5, respectivamente, em que  $Z_0 = 0,42 m$ .

Com tais valores, e avaliando o gráfico de concentração de partículas média apresentado por Vicente e Brito (2015), determinou-se pela Equação 1,  $v = 0,35 m/h$  para a velocidade de sedimentação das partículas sólidas. Ainda, para tempo de residência no decantador de 30 min, e contando com uma vazão de alimentação de 1,5 L/min, tornou-se possível o dimensionamento da escala piloto desejada, a qual por meio da Equação 2 e 6 determinou-se a área e diâmetro do decantador, sendo  $A_{sed} = 0,0684 m^2$  e  $D = 0,30 m$ .

Dessa maneira, o volume total do decantador utilizado foi de  $V = 0,045 m^3$ , e a angulação do cone na base de 39°, valor esse determinado experimentalmente por Vicente e Brito (2015). Assim, de maneira simplificada, determinou-se as alturas do cilindro e cone constituintes no equipamento, de acordo com a Figura 13.

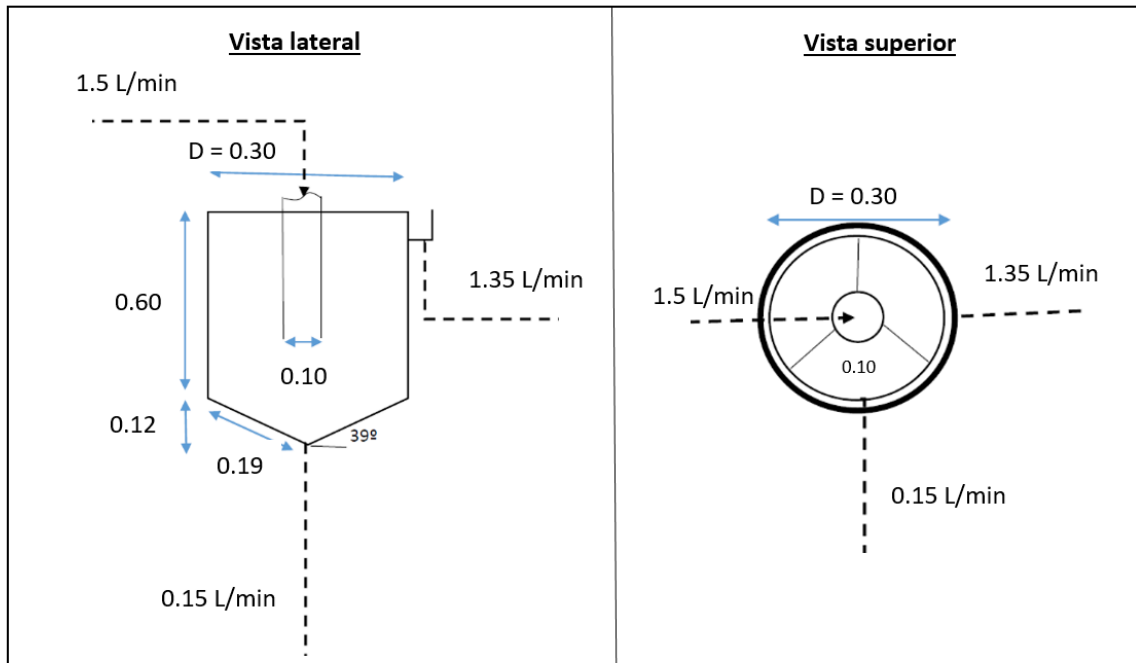


Figura 13 - Dimensionamento do decantador em escala piloto.

Fonte: Do autor.

#### 4.1.2 Bloco drenante

A fim de filtrar o sólido sedimentado no decantador, utilizou-se de polímero filtrante com baias de 10 cm de altura e 30 cm de largura e comprimento. Possuindo aberturas de 0,65 mm, as quais totalizaram 12% de área livre, foi disponibilizado pela Brasworld Engenharia, de acordo com o modelo apresentado na Figura 14.



Figura 14 - Bloco drenante.

Fonte: BRASWORLD ENGENHARIA (2015, p.1).

#### **4.1.3 Água residuária**

Utilizou-se o efluente proveniente da lavagem de garrafas PET para reciclagem, da empresa M&G Fibras Brasil. Devido à grande variedade de lotes de garrafas inseridas no processo e condições de lavagem, a DQO do efluente variou entre 5.000 e 70.000 mg/L. De acordo com o produto desejado na reciclagem – *flakes* variados –, são processados lotes de garrafas de óleo, garrafas verdes, garrafas azuis, incolores com grau alimentício (A), e incolores com percentual de óleo e segregados distintos (B) e (C) (FIGURA 15).

Além disso, tal efluente possui grande quantidade de detritos e impurezas, de acordo com a proveniência dos lotes, e é composto por detergente, soda cáustica, agente umectante e antiespumante, inseridos na lavagem.



Figura 15 - Exemplos de lotes de garrafas verde, incolor e azul.

Fonte: Do autor.

## 4.2 METODOLOGIA

Inicialmente, com o efluente bruto, preencheu-se o decantador com uma vazão de  $1,5 L/min$ , em aproximadamente  $30 min$ . Após completo o volume deste, abriu-se a válvula da parte inferior, para início do descarte dos sólidos sedimentáveis no bloco drenante.

Com o sistema contínuo em funcionamento por aproximadamente  $1 h$ , coletou-se amostras do efluente clarificado, do filtrado e do bruto, e após 1 dia de secagem, coletou-se o lodo retido no bloco. Três amostras de lodo foram analisadas após 14 dias de secagem, a fim de comparar a eficiência de desidratação em relação ao tempo. As amostras foram analisadas de acordo com parâmetros definidos previamente, entre eles: DQO, pH, sólidos sedimentáveis, totais e voláteis totais, OD, alcalinidade e teor de umidade (APHA, 2012).

A fim de buscar confiabilidade e precisão dos resultados, o procedimento foi repetido vinte vezes, e os dados obtidos foram analisados no EXCEL.

### 4.2.1 Proposta

A fim de avaliar a sistema piloto proposto, algumas análises foram necessárias para comparações futuras. Na realização dos testes foram coletadas amostras de três pontos distintos, sendo eles: efluente bruto, após finalizado processo de lavagem do PET (corrente 1); o clarificado, após sedimentação dos sólidos no decantador (corrente 2); e o filtrado, líquido previamente passado pelo bloco drenante (corrente 3), além disso coletou-se amostras do lodo retido no bloco drenante (corrente 4). Segue especificado na Figura 16 o croqui do sistema com os pontos de coleta, contendo as principais correntes.

A princípio a válvula inferior seria trabalhada em sistema contínuo, com descarte de lodo constante, porém devido à pequena vazão necessária, foi preciso descarte do sólido por meio de jatos, abrindo a válvula de fundo a cada minuto.

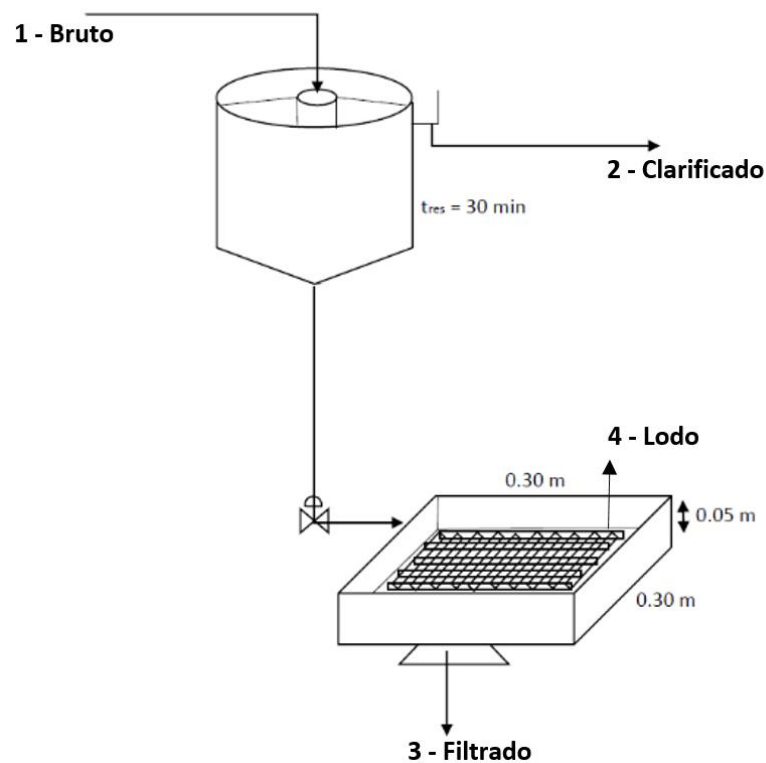


Figura 16 - Representação da planta piloto e pontos de análises.

Fonte: Do autor.

De maneira simplificada, segue diagrama de blocos do sistema proposto na Figura 17, a fim de introduzir o tratamento primário, antecedendo ao tratamento biológico atual por lodos ativados adotado pela empresa.

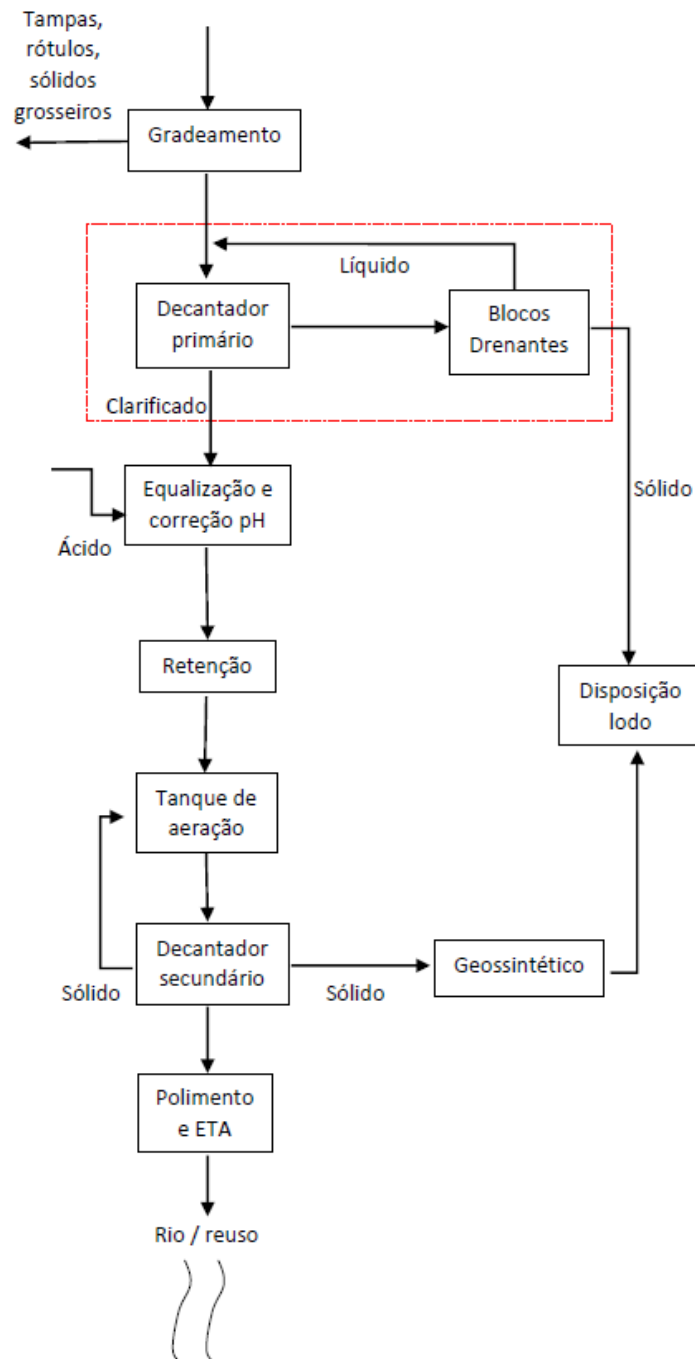


Figura 17 - Diagrama de blocos do sistema proposto

Fonte: Do autor.

#### 4.2.2 Análises

As análises foram executadas utilizando os equipamentos e métodos descritos na Tabela 1. Para as amostras de efluente bruto, clarificado e filtrado, foram avaliados, em triplicata, DQO, pH, SS, ST, SVT, OD e alcalinidade.

O lodo retido no bloco foi analisado de acordo com o teor de umidade e ST, e a Tabela 2 descreve os métodos utilizados. Todas as amostras, tanto do efluente quanto lodo, foram analisadas de acordo com Standard Methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2012).

Tabela 1 - Análises e métodos para amostras do efluente bruto, clarificado e filtrado.

| <b>Análises</b>                             | <b>Equipamento/fabricante</b> | <b>Métodos (APHA, 2012)</b> |
|---|-------------------------------|-----------------------------|
| <b>DQO (mg/L)</b>                           | TOC 4100/Shimadzu             | 5220B                       |
| <b>pH</b>                                   | pHmetro DM-22/Digimed         | 4500-H+                     |
| <b>SS (mL/L)</b>                            | -                             | 2540F                       |
| <b>ST (mg/L)</b>                            | -                             | 2540B                       |
| <b>SVT (mg/L)</b>                           | -                             | 2540E                       |
| <b>OD (mg/L)</b>                            | Oxímetro DM-4P/Digimed        | 4500-O                      |
| <b>Alcalinidade (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b> | -                             | 2320B                       |

Fonte: Do autor.

Tabela 2 - Análises e métodos para amostras de lodo.

| <b>Análises</b>    | <b>Métodos (APHA, 2012)</b> |
|--------------------|-----------------------------|
| <b>ST (%)</b>      | 2540G                       |
| <b>SVT (%)</b>     | 2540G                       |
| <b>Umidade (%)</b> | 2540G                       |

Fonte: Do autor.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de avaliar o sistema piloto proposto de tratamento preliminar/primário do efluente proveniente da lavagem de PET para reciclagem, os resultados das análises foram comparados a estudos já realizados.

A partir das análises de sólidos voláteis totais do lodo retido no bloco drenante, confirmou-se a presença de maior porcentagem de matéria inorgânica (sólidos fixos totais) provenientes da lavagem das garrafas PET. Ensaio com 1 dia de secagem do lodo apresentaram valores superiores de SFT quando comparados a ensaios com 14 dias de secagem.

Tal afirmação é explicitada na Figura 18, por meio da representação gráfica em Boxplot, o qual caracteriza a distribuição dos dados das amostras analisadas para 1 dia de secagem de lodo em média  $90,0 \pm 3,5\%$ , e para 14 dias de secagem do lodo em média  $66,0 \pm 17,9\%$ .

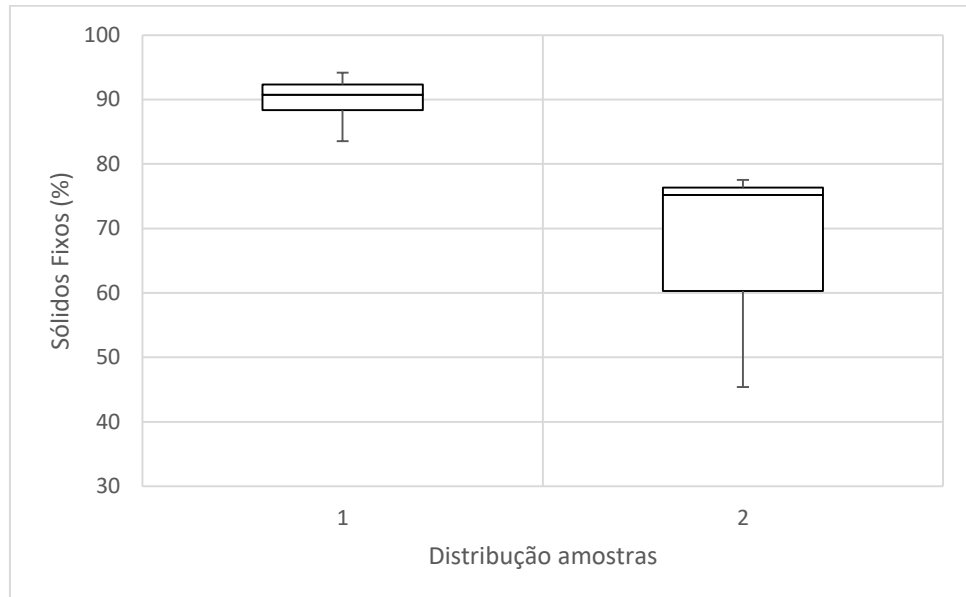


Figura 18 - Porcentagem de sólidos fixos totais presente no lodo: 1 dia de secagem (1) e 14 dias de secagem (2).

Fonte: Do autor.

Valores dessa magnitude expressam a existência de detritos e impurezas nos lotes de PET inseridos no processo de lavagem para reciclagem,

sendo esses caracterizados como material inorgânico, devendo assim, receber destinação adequada.

Remédio, Zanin e Teixeira (1999) caracterizaram os parâmetros do efluente gerado na reciclagem dos filmes plásticos pós-consumo, por meio da lavagem do produto com soda cáustica e, de acordo com as análises efetuadas nessa água, constataram a presença de maior quantidade de material inorgânico, ou seja, os valores de sólidos fixos totais superaram os sólidos voláteis totais.

O estudo apresentado por Silva et al. (2011) na biodigestão anaeróbia da manipueira, resíduo da prensagem das raízes de mandioca, caracteriza a redução de sólidos por meio de biodigestores com relação largura/comprimento de 1:3 e 1:6. Nesse estudo constatou-se que para ambos reatores, com detenção hidráulica de 15 dias, a maior redução foi de sólidos fixos totais, atingindo até 95% de eficiência no reator 1:3.

Tal observação, feita para o projeto em questão, no qual utiliza-se apenas de blocos drenantes para secagem, constatou-se a redução de SFT em um período de 14 dias. Para esse caso, possivelmente, caracteriza-se a passagem de sólidos pelo meio filtrando, levando a redução deste parâmetro. Esse arraste de sólidos pelos orifícios se procede pela ação da gravidade na filtração da torta de lodo no bloco, constatando granulometria do sólido menor que o espaçamento do bloco filtrante.

Analisando o teor de umidade do lodo retido das amostras coletadas para o período de 1 dia e 14 dias de secagem constatou-se, para o primeiro caso, a ineficiência do bloco drenante na remoção de umidade, com valor médio e desvio de  $82,9 \pm 4,5\%$ , faixa esta que necessitaria de processos posteriores de eliminação de umidade, para futuro descarte do lodo. Já avaliando as amostras com 14 dias de secagem constatou-se a redução da umidade, com valor médio de  $55,1 \pm 20,7\%$ .

A fim de comparar os resultados de umidade obtidos em 1 dia de secagem, com os três ensaios executados na permanência do lodo em bloco drenante por um período de 14 dias, utilizou-se da Figura 19 para tal avaliação. Com o segundo tempo de secagem as três amostras atingiram baixa

umidade, caracterizando, assim, considerável redução de gastos com processos de descarte do lodo, devido à redução do volume ocupado por ele.

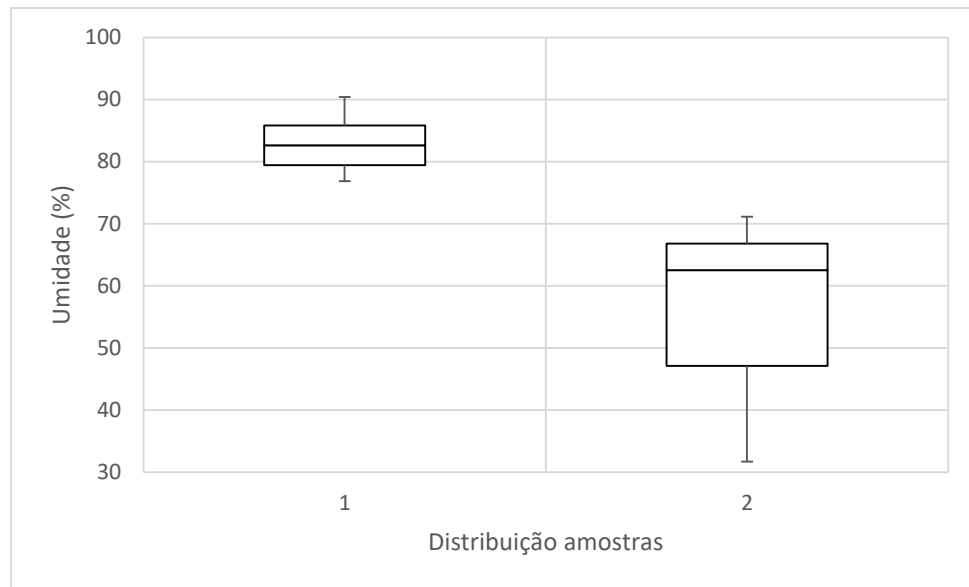


Figura 19 - Teor de umidade do lodo para 1 dia de secagem (1) e 14 dias de secagem (2).

Fonte: Do autor.

Silva e Pohlmann (2014) estudaram a eficiência da secagem do lodo biológico de ETE em blocos drenantes, em substituição aos leitos de secagem convencionais. Com auxílio de uma cobertura plástica tipo estufa sobre o leito, os autores avaliaram o teor de umidade do lodo descartado, após 1 dia, 8 dias, 16 dias e 22 dias, sendo respectivamente 91,88%, 85,15%, 36,93% e 3,76%.

Apesar da diferença dos lodos avaliados no trabalho de Silva e Pohlmann (2014) e no trabalho atual, a proposta de 14 dias para secagem do lodo proveniente da decantação do efluente da recicladora de PET corroborou com o estudo apresentado por eles, o qual, em aproximadamente duas semanas de secagem, atingiu em média 37% de umidade, porém, para altas vazões de efluente lançada para o tratamento, esse tempo de secagem se mostra inviável.

Avaliando as características do efluente, o decantador primário é essencial para prévia redução do teor de sólidos, e consequente redução considerável da carga poluente, fato esse calculado pela Equação 14, em que  $S_0$  é a concentração do efluente bruto e  $S$  a concentração da corrente do

clarificado ou filtrado. Tais dados estão apresentados nas Tabelas 7 e 8 (APÊNDICE A).

A redução da carga orgânica é caracterizada pelos resultados das amostras analisadas, nas quais, a DQO do efluente bruto se mostrou superior às DQOs do clarificado e filtrado, ou seja, as porções de sólidos existentes em cada amostra interferem diretamente na carga orgânica apresentada por elas. Dessa maneira, a Figura 20 representa a distribuição dos dados mencionados anteriormente, a fim de caracterizar a eficiência de remoção em cada corrente.

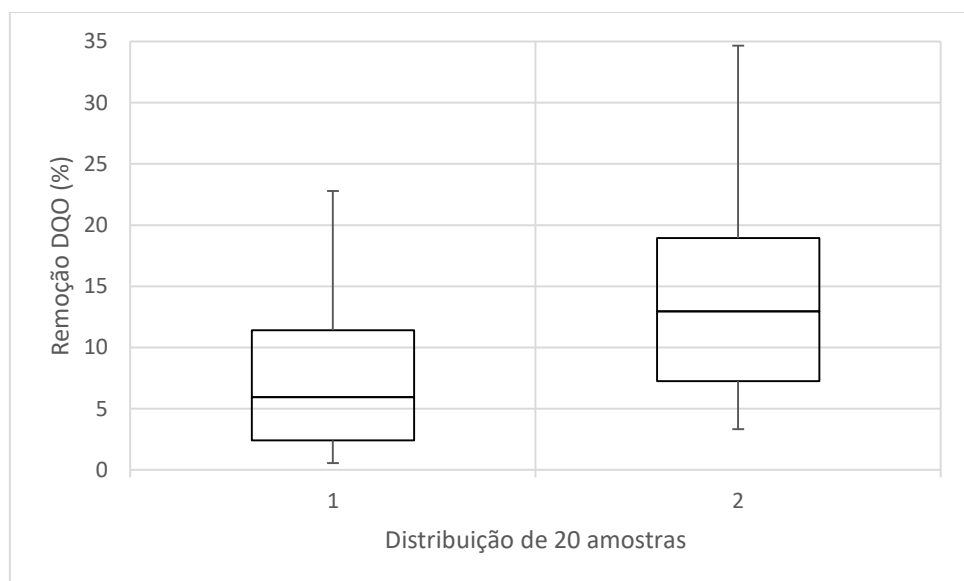


Figura 20 - Porcentagem de remoção DQO na corrente do clarificado (1) e na corrente filtrado (2).

Fonte: Do autor.

Apesar da porcentagem média de remoção não atingir valores superiores a  $7,4 \pm 6,6\%$  e  $14,5 \pm 9,1\%$ , nas correntes de clarificado e filtrado, respectivamente, caracteriza redução da carga inicial, e conseqüente possibilidade de envio do efluente ao tratamento biológico aeróbio atual da empresa. Conforme esperado, os sólidos sedimentáveis interferem na DQO, e devem ser previamente removidos.

De acordo com estudos apresentados por Rodrigues et al. (2014), o tratamento de efluentes de frigorífico se mostrou eficiente na presença de um decantador primário posterior ao tratamento preliminar, o qual reduziu a DQO do efluente em 47,60% para envio ao tratamento biológico. Ainda, Rodrigues

et al. (2010), avaliaram o tratamento de águas residuárias de suinocultura por meio da utilização de decantador de fluxo ascendente de dois compartimentos anterior a um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB), e constaram a remoção de 51% de DQO nessa parte do processo.

Além disso, diagnostica-se a alta quantidade de sólidos sedimentáveis no efluente bruto - que fica retida no decantador - podendo reduzir os atuais gastos econômicos da fábrica com a separação e descarte do lodo ou ainda maximizar a vida útil do geotêxtil.

Para as vinte amostras analisadas, pela Equação 14, com  $S_o$  corrente do bruto e  $S$  correntes do clarificado ou filtrado, tem-se os valores de remoção desses sólidos se concentrando em média em  $79,6 \pm 16,9\%$  na corrente do clarificado, e  $79,2 \pm 21,5\%$  na do filtrado, comprovando o bom desempenho da utilização do decantador como forma de tratamento inicial de efluentes com alta quantidade de sólidos (FIGURA 21).

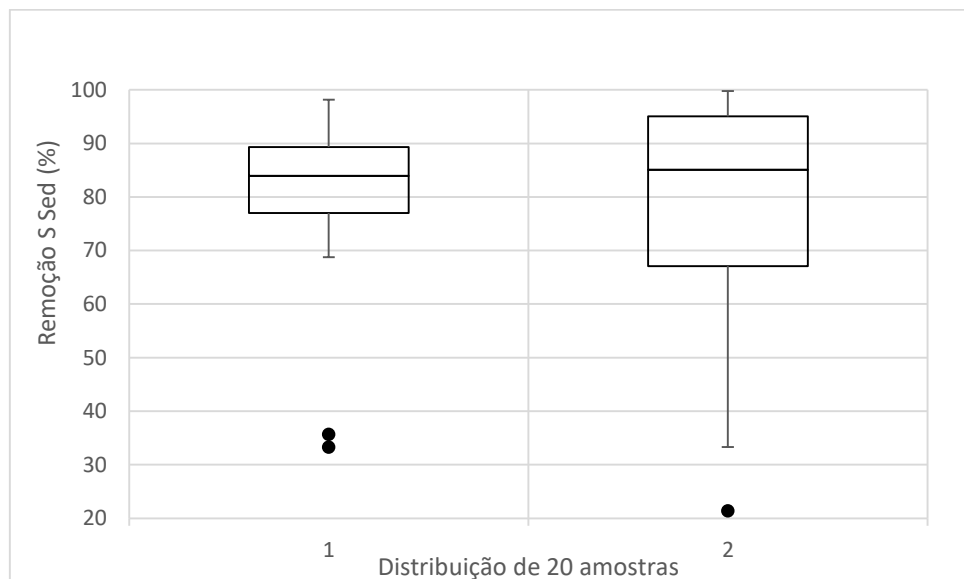


Figura 21 - Porcentagem de remoção de sólidos sedimentáveis na corrente do clarificado (1) e na corrente filtrado (2).

Fonte: Do autor.

Analisando-se a distribuição dos dados na Figura 21, contata-se a interferência dos sólidos na corrente do filtrado - alta dispersão dos dados -. Isso se dá pelo fato de em determinados instantes certa quantidade de sólidos passarem diretamente pelo bloco, caracterizando a granulometria das

partículas com diâmetros inferiores a  $0,65\text{ mm}$ , abertura essa característica do bloco drenante.

Rocha et al. (2005) avaliaram água de lavagem de recicladora de plásticos, porém sem adição de produtos químicos nessa água, mas sim utilizando apenas hélices que removeram a sujeira pela força gerada com seus movimentos. Foram constatados pelos autores altos índices de sólidos sedimentáveis, de forma a afirmarem a necessidade de prévia eliminação desses por meio de tanque de sedimentação. Com isso, a remoção do material sedimentável reduziria a concentração de DQO do efluente, viabilizando o futuro tratamento.

Os valores de pH e alcalinidade, estão concentrados em faixas próximas, e confirmam a igualdade do efluente nas correntes do bruto, filtrado e clarificado, caracterizando a não interferência dos sólidos, para estes parâmetros analisados, nas distintas amostras.

Tais correntes analisadas apresentaram valores próximos devido a inexistência da adição de produtos químicos, para correção de pH, coagulação e floculação em qualquer etapa do tratamento projetado. As Figuras 22 e 23 caracterizam a dispersão dos dados amostrais para as três correntes analisadas.

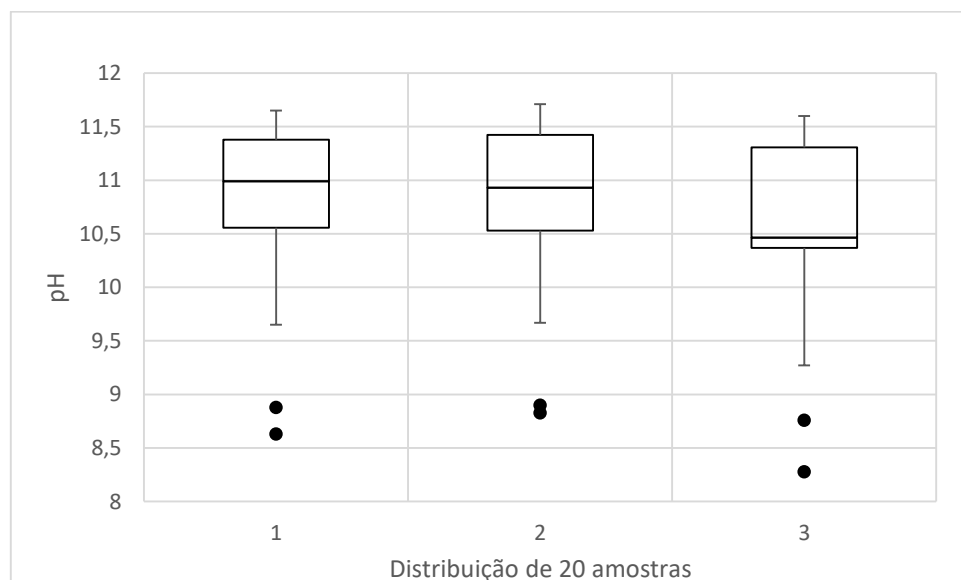


Figura 22 - pH das amostras de efluente bruto (1), clarificado (2) e filtrado (3).

Fonte: Do autor.

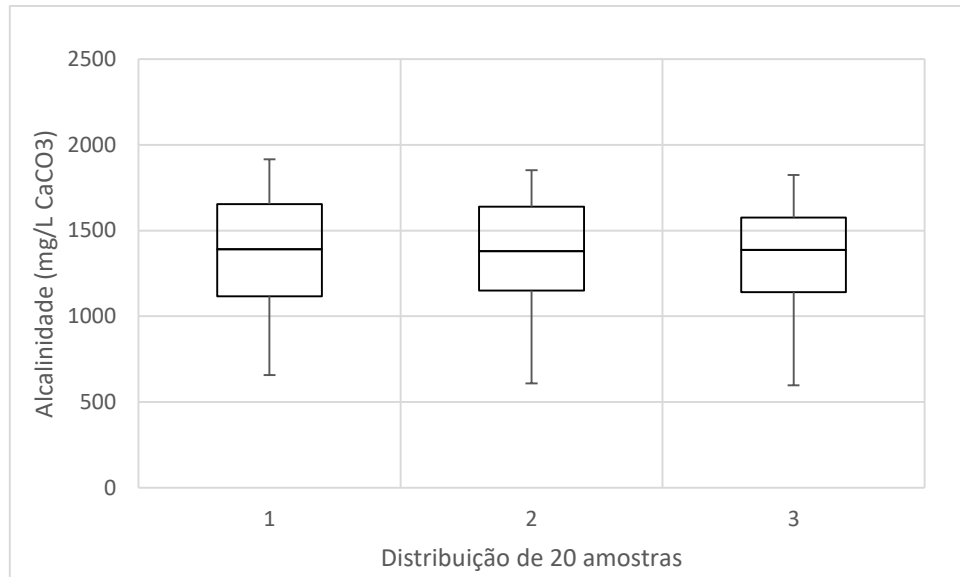


Figura 23 - Alcalinidade das amostras de efluente bruto (1), clarificado (2) e filtrado (3).

Fonte: Do autor.

Dessa forma, nota-se os altos valores de pH caracterizando o ambiente básico, que ocorre principalmente pela adição de soda cáustica e demais aditivos no processo de lavagem dos PETs, fato esse também comprovado por Remédio, Zanin e Teixeira (1999). A alcalinidade, em termos de hidróxidos e carbonatos, caracteriza a resistência às alterações de pH causada pela adição de ácido, e para as amostras em questão os aditivos adicionados na lavagem aumentam esses valores.

Assim, tanto para análises de pH quanto alcalinidade, esperava-se que os valores atingissem essa magnitude, pelo fato, principalmente do hidróxido de sódio ser um produto altamente básico. Dessa maneira, as distribuições das amostras, tanto para o efluente bruto, quanto para o filtrado e clarificado, se mantiveram próximas, fato esse em conformidade com a não adição de produtos químicos em nenhuma etapa do processo avaliada.

A carga poluidora do efluente também pode ser caracterizada pelos valores de OD. Quanto mais baixos esses valores, menor a capacidade do efluente de oxidar o material orgânico e manter a vida no ambiente aquático.

Como observado na Figura 24, o efluente bruto analisado possui baixos teores de OD, porém após prévia decantação, as faixas de valores no

clarificado e filtrado foram reduzidas e valores ligeiramente superiores de OD observados.

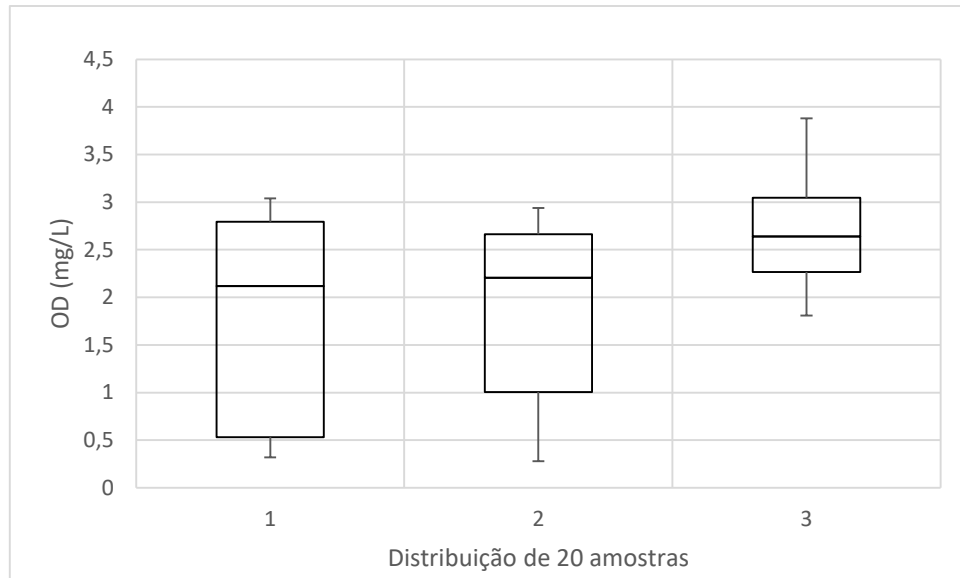


Figura 24 - OD das amostras de efluente bruto (1), clarificado (2) e filtrado (3).

Fonte: Do autor.

De acordo com Von Sperling (1996a) corpos d'água que assumem OD em 2 mg/L impossibilitam a sobrevivência de peixes. Dessa forma, o efluente analisado se mostra na obrigatoriedade de passar por tratamentos antes de descartado nos recursos hídricos, pois a faixa de valor entre 0,5 e 3 mg/L inviabiliza a permanência de peixes no meio.

As análises de OD foram executadas, a fim de caracterizar possível envio das correntes do efluente clarificado e filtrado direto ao tratamento biológico atual (lodos ativados), porém, com os baixos índices, constatou-se a necessidade de tratamento específico, para que tal faixa de valores aumente consideravelmente.

Por fim, avaliou-se a porcentagem de sólidos fixos totais nas diversas correntes do efluente. Os valores constatados mostram a possibilidade de envio das três correntes ao tratamento biológico, fato esse caracterizado pela degradação ser efetiva em águas residuárias com maior concentração de sólidos voláteis totais, ou seja, material orgânico.

A comparação das correntes é explicitada na Figura 25, na qual estas permanecem com distribuição das amostras próximas. Os dados observados se basearam na diferença das análises relativas de ST e SVT. Dessa maneira, cada corrente, analisada separadamente, conta com baixos valores de porcentagem de SFT.

Ressalta-se, ainda, que os dados analisados de SFT, na Figura 25, caracterizam as correntes líquidas do efluente bruto, filtrado e clarificado. Constatou-se que a remoção dos sólidos sedimentáveis se mostrou positiva, de modo que, o bloco drenante, por meio da filtração da corrente de lodo, reteve grande quantidade de sólidos.

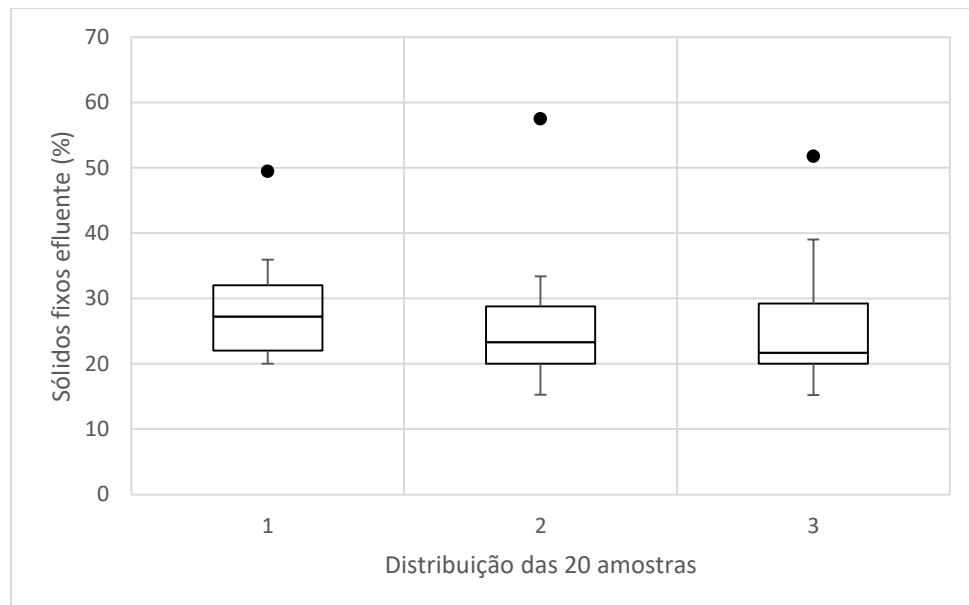


Figura 25 - Porcentagem de sólidos fixos totais do efluente bruto (1), clarificado (2) e filtrado (3).

Fonte: Do autor.

Ainda, de acordo com estudos apresentados por Vivan et al. (2010), em um sistema composto por biodigestor e lagoas de estabilização em série, atuando no tratamento de dejetos suínos, a remoção de SFT se mostrou presente, porém com baixa eficiência. O balanço de sólidos para o biodigestor caracterizou valores de entrada superiores aos de saída para a concentração de SFT. Tal fato também é avaliado no projeto em questão, o qual, baseado na

Figura 25, as faixas de valores de SFT no efluente clarificado e filtrado se mostraram ligeiramente reduzidas ao compará-las com o efluente bruto.

Desta maneira a Figura 26 representa simplificada as correntes avaliadas com os principais parâmetros médios. As Tabelas 5 a 12 (Apêndice A), apresentam os resultados referentes às análises discutidas até o momento.

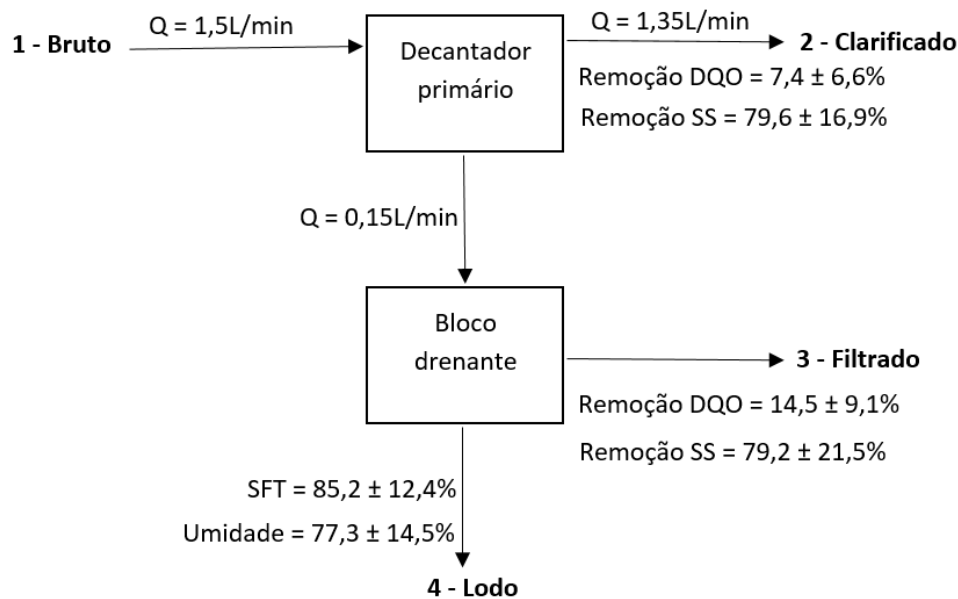


Figura 26 - Resumo das principais correntes.

Fonte: Do autor.

## 5.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Utilizando-se o EXCEL para avaliação do tratamento dos dados e comprovação estatística da interferência ou não no sistema de tratamento para distintos lotes processados, aplicou-se a técnica ANOVA.

A fim de avaliar a variação das médias das variáveis nos lotes de *flakes* incolor alimentício (A) e incolor técnico com porcentagens de óleo e segregados (B) e (C), os p-valores ( $p$ ) gerados na análise estatística estão explicitados na Tabela 3.

Consta ainda, no Apêndice B, as análises de variâncias para cada parâmetro específico.

Tabela 3 - Análise de variância (ANOVA) para as variáveis específicas.

|                                 | <b>F</b> | <b>valor-P</b> | <b>F crítico</b> |
|---------------------------------|----------|----------------|------------------|
| <b>DQO Bruto</b>                | 6,18     | 0,01           | 3,73             |
| <b>DQO Clarificado</b>          | 5,81     | 0,01           | 3,73             |
| <b>DQO Filtrado</b>             | 4,11     | 0,03           | 3,73             |
| <b>SS Bruto</b>                 | 0,46     | 0,63           | 3,73             |
| <b>SS Clarificado</b>           | 1,38     | 0,28           | 3,73             |
| <b>SS Filtrado</b>              | 0,67     | 0,52           | 3,73             |
| <b>pH Bruto</b>                 | 0,83     | 0,45           | 3,73             |
| <b>pH Clarificado</b>           | 0,94     | 0,41           | 3,73             |
| <b>pH Filtrado</b>              | 0,61     | 0,55           | 3,73             |
| <b>Alcalinidade Bruto</b>       | 0,70     | 0,51           | 3,73             |
| <b>Alcalinidade Clarificado</b> | 0,24     | 0,78           | 3,73             |
| <b>Alcalinidade Filtrado</b>    | 0,71     | 0,50           | 3,73             |
| <b>OD Bruto</b>                 | 1,09     | 0,36           | 3,98             |
| <b>OD Clarificado</b>           | 0,52     | 0,60           | 3,98             |
| <b>OD Filtrado</b>              | 1,08     | 0,37           | 3,98             |
| <b>%SFT Bruto</b>               | 1,03     | 0,38           | 3,73             |
| <b>%SFT Clarificado</b>         | 0,84     | 0,44           | 3,73             |
| <b>%SFT Filtrado</b>            | 1,87     | 0,18           | 3,73             |

Fonte: Do autor.

Nas análises de DQO Bruto, Clarificado e Filtrado, tem-se  $p < 0,05$  (95% de intervalo de confiança), ou seja, rejeita-se a hipótese de igualdade das médias. Desta maneira observa-se variação significativa dos valores médios de DQO para os tratamentos avaliados, e, portanto, a inserção de diferentes garrafas na linha de produção interfere diretamente na DQO das três correntes do efluente.

Ainda, analisando as demais variáveis nas correntes do efluente Bruto, Clarificado e Filtrado – SS, pH, Alcalinidade, OD, %SFT –, constatou-se que  $p > 0,05$ , caracterizando a aceitação da hipótese  $H_0$ , ou seja, as médias assumem variações nulas, comprovando, desta maneira, que os parâmetros são independentes do lote processado, sendo caracterizados pelos aditivos adicionados na lavagem inicial das garrafas.

A ANOVA também pode avaliar a variação das médias pelos valores de ( $F$ ) calculados no teste, presentes na Tabela 3. Se  $F < F_{crítico}$  afirma-se que as amostras não possuem variação significativa, e se  $F \geq F_{crítico}$  as variâncias devem ser levadas em consideração.

Como visto, para as variáveis DQO Bruto, Clarificado e Filtrado,  $F \geq F_{crítico}$ , ou seja, médias diferentes nos três tratamentos distintos. Já para as demais variáveis observadas  $F < F_{crítico}$ , em que variação das médias são irrelevantes.

Pelo coeficiente de Pearson ( $r$ ), característico da correlação linear, é possível determinar a relação entre os parâmetros avaliados. Dessa maneira, a Tabela 4 explicita esses valores.

Tabela 4 - Coeficiente de Pearson ( $r$ ) para diversas correlações lineares.

|                 | <b>Correlação linear</b>                             | <b>r</b> |
|-----------------|--|----------|
| <b>LODO</b>     | SFT vs Umidade (1 dia)                               | 0,799    |
|                 | SFT vs Umidade (14 dias)                             | 0,989    |
| <b>EFLUENTE</b> | Remoção SS Clarificado vs<br>Remoção DQO Clarificado | -0,242   |
|                 | Remoção SS Clarificado vs<br>Remoção SS Filtrado     | 0,772    |
|                 | Remoção DQO Clarificado vs<br>Remoção DQO Filtrado   | 0,554    |
|                 | pH Bruto vs Alcalinidade Bruto                       | 0,197    |
|                 | SFT Bruto vs Remoção SS Clarificado                  | 0,296    |
|                 | SS Bruto vs DQO Bruto                                | 0,012    |

Fonte: Do autor.

Analisando tais dados, nota-se que para as amostras do lodo, a relação de sólidos fixos totais com umidade possui alta linearidade, com valores de  $r$  próximos a 1, ou seja, para tal fase sólida característica do efluente, quanto menor a umidade, menor porcentagem de SFT, e conseqüente maior chance da presença de sólidos voláteis totais.

Para as análises de correlação linear do efluente a relação de remoção de SS nas correntes de clarificado e filtrado é a que mais se aproxima da linearidade.

Demais parâmetros, comprovados pela correlação, não se relacionam linearmente, e desta maneira mostram-se independentes uns dos outros, ou seja, as variáveis do projeto não têm efeitos sobre os parâmetros avaliados.

## 5.2 CUSTOS

### **5.2.1 Manutenção tratamento atual**

Atualmente, para tratamento do efluente gerado pela recicladora, a empresa recorre a diversos produtos químicos e equipamentos para redução da carga orgânica e desidratação do lodo gerado. De acordo com o diagrama de blocos apresentado na Figura 27, cada etapa exige determinado investimento para tratamento da água residuária, e o pré-tratamento, que antecede a degradação biológica, recebe destaque.

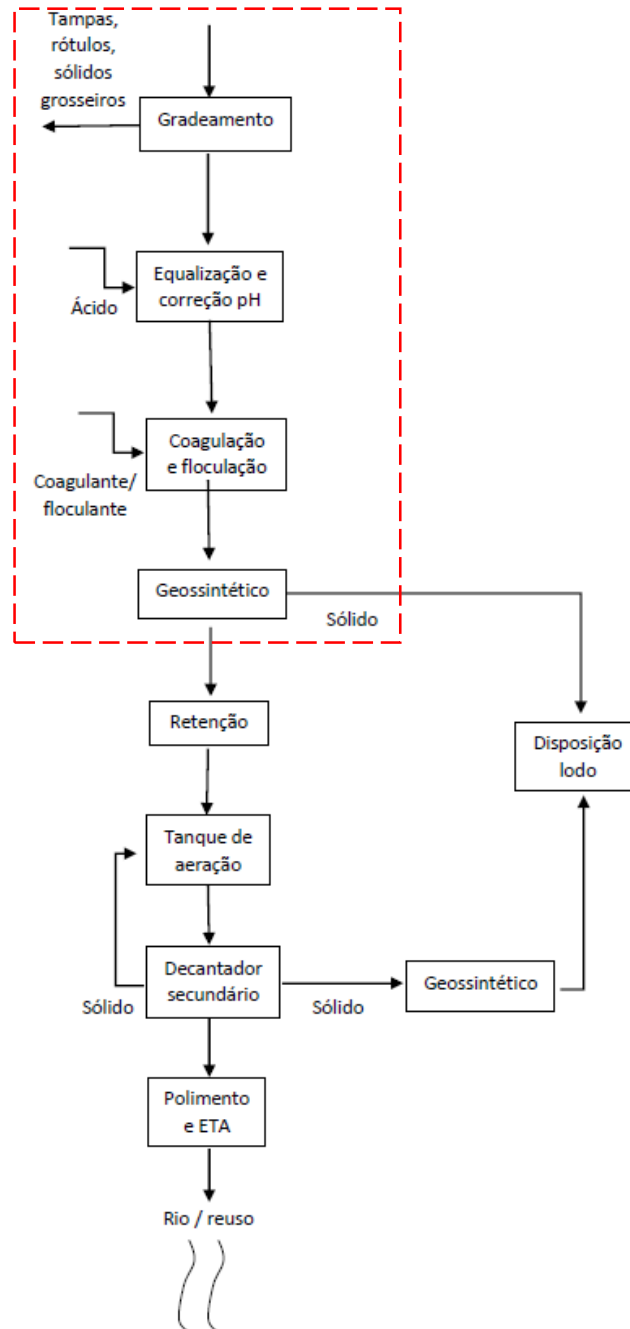


Figura 27 - Diagrama blocos sistema atual.

Fonte: Do autor.

Inicialmente, com auxílio de bombas, o efluente, após o gradamento, é encaminhado para o tanque de equalização, o qual requer a adição de ácido sulfúrico para correção de pH. Seguindo o processo, em linha, adicionam-se coagulantes e floculantes no efluente, e com atuação de bombas, este é enviado ao geotêxtil, cuja função é separar o efluente em duas correntes, clarificado e lodo. O primeiro produto é direcionado, por bombas, ao

tratamento biológico, o qual requer previamente adição de nutrientes líquidos e, por meio de agitadores, mistura-os na água. O segundo se mantém no geotêxtil para desidratação, e posterior transporte e descarte.

Dessa maneira, a necessidade de investimento para o tratamento do efluente se perpetua, e baseado na variação da produção entre os meses de janeiro a setembro de 2017, foi necessária a aquisição monetária média de aproximadamente R\$ 40,00 por tonelada de *flake* produzido. Ainda, contabilizou-se no processo o custo médio da energia elétrica consumida de R\$ 0,17/*kWh* (M&G FIBRAS BRASIL LTDA, 2017).

Para a produção de 12.000 toneladas de *flake* no período de janeiro a setembro de 2017, e consumo de energia, incluindo o pré-tratamento e 50% do tratamento biológico em torno de 1270,4 *kW/dia*, tem-se em média, nas etapas em destaque, o custo de R\$ 59.880,00/*mês* com o tratamento do efluente proveniente da reciclagem de PET (M&G FIBRAS BRASIL LTDA, 2017).

### 5.2.2 Implantação do sistema proposto

De acordo com os testes em proveta e avaliação da escala piloto, determinou-se o dimensionamento de um sistema real, com decantador contínuo convencional de área circular e blocos drenantes, nas etapas do pré-tratamento e tratamento primário do efluente líquido gerado na reciclagem de PET.

Inicialmente, trabalhando-se com a vazão de 10  $m^3/h$  e o tempo de residência de 1 *h*, tem-se a necessidade de um decantador com volume total de 10  $m^3$ .

Utilizando-se das Equações 2 e 6 apresentadas, e dos valores de  $Z_{min} = 0,0567 m$ ,  $t_{min} = 19,15 min$ , e  $Z_0 = 0,42 m$  determinados por Vicente e Brito (2015) pela curva de sedimentação e Equações 3 e 5, tem-se  $A_{sed} = 7,60 m^2$  e  $D = 3,10 m$ . Além disso, trabalha-se com angulação do decantador em 39°, mensuração esta ideal para o encaminhamento das partículas ao fundo do tanque.

Utilizando-se do diâmetro do decantador  $D = 2,40 m$ , espaço disponível para sua implantação, faz-se necessário o cálculo das tubulações para

escoamento do efluente. Dessa maneira, para encaminhamento deste do tratamento preliminar ao primário sugere-se que o tanque de sedimentação esteja localizado em um nível abaixo do gradeamento, não carecendo da implantação de bombas para envio.

No decantador, após alimentação do efluente, duas saídas são caracterizadas. A tubulação de saída superior (*Overflow*) elimina o clarificado ao tanque de coleta, para que o efluente seja encaminhado à equalização por bomba centrífuga. A tubulação de saída inferior (*Underflow*) drena o lodo para os blocos drenantes, podendo utilizar-se de válvula, para descarte inferior, ou bomba de sucção – evitar entupimentos –, para retirada superior do sólido.

A angulação de 39° do fundo do decantador se mostrou eficiente na sedimentação das partículas sólidas, fato esse caracterizado pelo não acúmulo de lodo no cone inferior do equipamento.

Os blocos drenantes filtram a água constituintes no lodo, e esta é redirecionada ao tanque de coleta, para posteriormente retornar, por bomba centrífuga, ao decantador. O sólido desidratado pode ser retirado dos blocos por pás carregadeiras ou raspagem manual, para sua disposição final.

Para dimensionamento das tubulações, considerando área de seção transversal circular ( $A$ ), utiliza-se da Equação 15:

$$A = \frac{Q}{v}, \quad (15)$$

em que  $Q$  é a vazão volumétrica e  $v$  velocidade de escoamento do fluido.

Assim, para  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$  e considerando  $v = 2 \text{ m/s}$ , tem-se a necessidade de tubulação de 2” para entrada do efluente no decantador e saída do clarificado, e tubulação de 1” para descarte do lodo nos blocos e retorno da água filtrada ao decantador.

A fim de avaliar a implantação dos blocos drenantes, foi constatado que para tal efluente estudado, o bloco drenante limitou sua capacidade de filtração com a torta de lodo na altura de 5 cm, preenchendo o volume de  $4500 \text{ cm}^3$ . Assim, a fim de avaliar o espaço necessário para implantação do bloco drenante, mensurou-se a massa específica do lodo retido, sendo essa





## 6 CONCLUSÃO

Como observado nos resultados obtidos, a implantação de um decantador primário, seguido do tratamento preliminar já existente na empresa M&G Fibras Brasil seria imprescindível, pois esse, além de reduzir a DQO do efluente, reduz consideravelmente a quantidade de sólidos sedimentáveis presentes nele.

Em relação ao bloco drenante, esse não se mostrou eficiente na redução da umidade em apenas 1 dia de secagem, sendo preciso 14 dias em média para tal procedimento. Além disso, mostra-se necessária a construção de grandes áreas para descarte de lodo, fato esse inviável até o presente momento.

Pela ANOVA, os únicos parâmetros com médias distintas para os diferentes lotes são DQO Bruto, DQO Clarificado e DQO Filtrado, comprovando que os demais não dependem do lote, mas sim dos aditivos adicionados na lavagem.

Além disso, a correlação linear, por meio do coeficiente de Pearson, mostra linearidade nas relações de SFT e Umidade para lodo, e remoção SS nas correntes de clarificado e filtrado para o efluente.

## **7 SUGESTÕES**

Após tais análises e discussão dos resultados, mostra-se necessária a avaliação da degradação do efluente por meio de tratamento biológico. Assim, após passagem desse pelo decantador primário, o clarificado pode ser a porção do efluente tratada biologicamente, possibilitando a comparação com o sistema atual. Isso, pois, essa alíquota tem previamente os sólidos sedimentáveis retirados e DQO reduzida.

Desta maneira, visando-se a redução dos gastos com a compra de coagulantes e floculantes, e reposição de geotêxtil, os testes seriam necessários para avaliar a eficiência de degradação da matéria orgânica presente na corrente do clarificado.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Informe Técnico nº 71**. Gerencia Geral de Alimentos - GGALI. 2016. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/388729/Informe+T%C3%A9cnico+n%C2%BA+71%2C+de+11+de+fevereiro+de+2016/e03dac30-111d-4793-a57e-a454a3862f74>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

ALLONDA. Geossintéticos Ambientais Ltda, **Tecnologia de Desidratação Geotube**. São Paulo, 2017. Disponível em: <[www.allonda.com.br](http://www.allonda.com.br)>. Acesso em: 11 nov. 2017.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the examination for water and wastewater**. 22th ed. New York, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET (ABIPET). **Benefícios da Reciclagem de PET**. 2017. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=49>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

BATHURST, R. J. International Geosynthetic Society – IGS. **Classificação dos Geossintéticos**. Tradução de Marianna J. A. Mendes. 2017a. Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/geossinteticos/1.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

BATHURST, R. J. International Geosynthetic Society – IGS. **Função dos Geossintéticos**. Tradução de Karla C. A. P. Maia. 2017b. Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/geossinteticos/2.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução n. 357**. Brasília-DF: Diário Oficial da União, 2005.

BRASWORLD ENGENHARIA. **Bloco drenante**. Itu-SP. 2015. Disponível em: <<http://www.brasworld.net/site/secagem-de-lodo/bloco-drenante/>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

BORDONALLI, A. C. O.; MENDES, C. G. N. Reúso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD. **EngSanitAmbient**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 235-244, 2009.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECILAGEM (CEMPRE). **O mercado para reciclagem**. 2017. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/8/pet>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). **Deliberação Normativa 010/86**. Minas Gerais, 1987. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=91>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

CREMASCO, M. A. **Operações Unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher. 2014. 423 p.

CUNHA, M. V. P. O. **Importância da frequência de descarte do lodo na eficiência dos decantadores de estações de tratamento de água em ciclo completo**. 2004. 263 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

DALTIN, D. **Tensoativos**: química, propriedades e aplicações. São Paulo: Editora Blucher, 2011. 321 p.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: Editora E-papers, 2008.

FRANÇA, S.C.A.; MASSARANI, G. Separação sólido-líquido. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004, p. 573-609.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM) (Org.). **Declaração de Carga Poluidora**. Minas Gerais, 2017. Disponível em: <<http://www.feam.br/declaracoes-ambientais/declaracao-de-carga-poluidora?task=view>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

GIORDANO, G. **Análise e formulação de processos para tratamento dos chorumes gerados em aterros de resíduos sólidos urbanos**. 2003. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Pontifícia Católica, PUC, Rio de Janeiro - RJ, 2003.

HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. **Statistical methods in water resources**. Amsterdam: Editora Elsevier. 1992. 521 p.

JURADO, E. et al. Simplified spectrophotometric method using methylene blue for determining anionic surfactants: Applications to the study of primary biodegradation in aerobic screening tests. **Chemosphere**, v. 65, p. 278-285, 2006.

MASSARANI, G. **Fluidodinâmica em sistemas particulados**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ. 1997. 192 p.

METCALF, L.; EDDY, H.P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2016. 1980 p.

MÜLLER, R. M. **Avaliação de transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto**. 2005. 256 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

M&G FIBRAS BRASIL LTDA, 2017. **Documento interno**. Não publicado.

NUNES, J. F. **Estudo da sedimentação gravitacional de suspensões floculentas**. 2008. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia-MG, 2008.

OLIVEIRA, A. F. G. Testes estatísticos para comparação de médias. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 5, n. 6, p. 777-788, 2008.

REMÉDIO, M. V. P.; ZANIN, M.; TEIXEIRA, B. A. N. Caracterização do efluente de lavagem de filmes plásticos pós-consumo e determinação das propriedades reológicas do material reciclado. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, p.177-183, 1999.

ROCHA, É. J. T. et al. Caracterização das águas de lavagem de uma recicladora de plásticos e viabilidade de seu reúso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Fortaleza: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 7 p.

RODRIGUES, L.S. et al. Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grade, v. 14, n. 1, p. 94-100, 2010.

RODRIGUES, L. S. et al. Avaliação de reator anaeróbio de manta de lodo no tratamento de efluentes de frigorífico. **B. Industr. Anim.**, Nova Odessa, v. 71, n. 4, p. 365-370, 2014.

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. Poli(Tereftalato de Etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 121-132, 2009.

SILVA, J. L. G. et al. Redução de sólidos totais, voláteis e fixos em reatores anaeróbios de fluxo contínuo com meio suporte. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2., 2011, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira dos Especialistas em Resíduos das Produções Agropecuária e Agroindustrial, 2011. 4 p.

SILVA, S. M. C.; POHLMANN, M. Avaliação de eficiência de leito de secagem modificado utilizando piso de blocos drenantes. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA PARA O MEIO AMBIENTE, 4, 2014, Bento Gonçalves – RS. **Anais...** Bento Gonçalves – RS, 2014. 8 p.

VICENTE, M. A.; BRITO, M. A. S. **Projeto conceitual e básico de tratamento de efluente líquido da empresa M&G**. 2015. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL-MG, Poços de Caldas-MG, 2015.

VIVAN, M. et al. Eficiência da interação biodigestor e lagos de estabilização na remoção de poluentes em dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 320-325, 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996a.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgoto**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996b.

APÊNDICE A – Dados obtidos experimentalmente

Tabela 5 - Sólidos fixos totais para ensaios com 1 dia de secagem e 14 dias

| <b>Ensaio (1 dia)</b> | <b>SFT (%)</b> | <b>Ensaio (14 dias)</b> | <b>SFT (%)</b> |
|-----------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| <b>1</b>              | 94,00          | <b>1</b>                | 77,53          |
| <b>2</b>              | 90,07          | <b>2</b>                | 75,20          |
| <b>3</b>              | 88,60          | <b>3</b>                | 45,40          |
| <b>4</b>              | 84,56          |                         |                |
| <b>5</b>              | 91,8           |                         |                |
| <b>6</b>              | 83,55          |                         |                |
| <b>7</b>              | 91,38          |                         |                |
| <b>8</b>              | 91,58          |                         |                |
| <b>9</b>              | 93,88          |                         |                |
| <b>10</b>             | 89,2           |                         |                |
| <b>11</b>             | 94,18          |                         |                |
| <b>12</b>             | 87,63          |                         |                |

Fonte: Do autor.

Tabela 6 - Umidade do lodo para ensaios com 1 dia de secagem e 14 dias

| <b>Ensaio (1 dia)</b> | <b>SFT (%)</b> | <b>Ensaio (14 dias)</b> | <b>SFT (%)</b> |
|-----------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| <b>1</b>              | 90,40          | <b>1</b>                | 71,10          |
| <b>2</b>              | 79,49          | <b>2</b>                | 62,50          |
| <b>3</b>              | 78,32          | <b>3</b>                | 31,70          |
| <b>4</b>              | 79,68          |                         |                |
| <b>5</b>              | 83,71          |                         |                |
| <b>6</b>              | 79,12          |                         |                |
| <b>7</b>              | 85,19          |                         |                |
| <b>8</b>              | 81,47          |                         |                |
| <b>9</b>              | 87,59          |                         |                |
| <b>10</b>             | 83,99          |                         |                |
| <b>11</b>             | 89,44          |                         |                |
| <b>12</b>             | 76,84          |                         |                |

Fonte: Do autor.

Tabela 7 - Porcentagem de remoção de DQO nas correntes de clarificado e filtrado

| <b>Ensaio</b> | <b>%Remoção DQO<br/>(Clarificado)</b> | <b>%Remoção DQO<br/>(Filtrado)</b> |
|---------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| <b>1</b>      | 2,51                                  | 16,11                              |
| <b>2</b>      | 2,39                                  | 10,61                              |
| <b>3</b>      | 8,69                                  | 4,39                               |
| <b>4</b>      | 9,14                                  | 22,34                              |
| <b>5</b>      | 15,99                                 | 29,08                              |
| <b>6</b>      | 5,90                                  | 7,24                               |
| <b>7</b>      | 0,57                                  | 3,42                               |
| <b>8</b>      | 2,93                                  | 3,60                               |
| <b>9</b>      | 4,94                                  | 4,49                               |
| <b>10</b>     | 2,37                                  | 10,26                              |
| <b>11</b>     | 0,54                                  | 18,94                              |
| <b>12</b>     | 1,18                                  | 3,33                               |
| <b>13</b>     | 14,02                                 | 13,80                              |
| <b>14</b>     | 5,968                                 | 12,94                              |
| <b>15</b>     | 22,79                                 | 25,49                              |
| <b>16</b>     | 14,29                                 | 34,66                              |
| <b>17</b>     | 3,44                                  | 6,81                               |
| <b>18</b>     | 2,44                                  | 11,10                              |
| <b>19</b>     | 7,61                                  | 18,05                              |
| <b>20</b>     | 8,78                                  | 14,30                              |

Fonte: Do autor.

Tabela 8 - Porcentagem de remoção de sólidos sedimentáveis nas correntes de clarificado e filtrado

| <b>Ensaio</b> | <b>%Remoção SS<br/>(Clarificado)</b> | <b>%Remoção SS<br/>(Filtrado)</b> |
|---------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>1</b>      | 98,18                                | 63,64                             |
| <b>2</b>      | 87,50                                | 85,42                             |
| <b>3</b>      | 35,71                                | 21,43                             |
| <b>4</b>      | 82,22                                | 67,78                             |
| <b>5</b>      | 33,33                                | 33,33                             |
| <b>6</b>      | 92,41                                | 83,54                             |
| <b>7</b>      | 77,14                                | 74,29                             |
| <b>8</b>      | 76,67                                | 83,33                             |
| <b>9</b>      | 68,75                                | 87,50                             |
| <b>10</b>     | 80,00                                | 95,80                             |
| <b>11</b>     | 89,83                                | 94,92                             |
| <b>12</b>     | 82,86                                | 64,29                             |
| <b>13</b>     | 88,00                                | 94,00                             |
| <b>14</b>     | 90,50                                | 93,00                             |
| <b>15</b>     | 89,13                                | 84,78                             |
| <b>16</b>     | 80,00                                | 99,40                             |
| <b>17</b>     | 75,00                                | 65,00                             |
| <b>18</b>     | 87,11                                | 95,56                             |
| <b>19</b>     | 85,00                                | 99,79                             |
| <b>20</b>     | 93,08                                | 98,85                             |

Fonte: Do autor.

Tabela 9 - pH do efluente bruto, clarificado e filtrado. Erro  $\pm 0,2$ 

| <b>Ensaio</b> | <b>pH Bruto</b> | <b>pH Clarificado</b> | <b>pH Filtrado</b> |
|---------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| <b>1</b>      | 11,62           | 11,59                 | 11,58              |
| <b>2</b>      | 8,63            | 8,83                  | 8,28               |
| <b>3</b>      | 8,88            | 8,90                  | 8,76               |
| <b>4</b>      | 11,06           | 10,86                 | 10,95              |
| <b>5</b>      | 11,35           | 10,56                 | 10,46              |
| <b>6</b>      | 11,59           | 11,56                 | 11,42              |
| <b>7</b>      | 11,46           | 11,43                 | 11,39              |
| <b>8</b>      | 11,26           | 11,20                 | 10,74              |
| <b>9</b>      | 11,35           | 11,42                 | 11,28              |
| <b>10</b>     | 10,80           | 10,96                 | 10,44              |
| <b>11</b>     | 10,77           | 11,12                 | 10,66              |
| <b>12</b>     | 11,56           | 11,54                 | 11,58              |
| <b>13</b>     | 10,92           | 10,90                 | 10,44              |
| <b>14</b>     | 11,65           | 11,71                 | 11,60              |
| <b>15</b>     | 10,43           | 10,62                 | 10,42              |
| <b>16</b>     | 10,75           | 10,77                 | 10,42              |
| <b>17</b>     | 10,28           | 10,31                 | 10,21              |
| <b>18</b>     | 9,65            | 9,67                  | 9,27               |
| <b>19</b>     | 10,60           | 10,44                 | 10,05              |
| <b>20</b>     | 11,12           | 11,08                 | 10,47              |

Fonte: Do autor.

Tabela 10 - Alcalinidade do efluentes bruto, clarificado e filtrado

| <b>Ensaio</b> | <b>Bruto</b><br><b>(mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b> | <b>Clarificado</b><br><b>(mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b> | <b>Filtrado</b><br><b>(mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b> |
|---------------|--|--|---|
| <b>1</b>      | 1757,39  | 1834,64  | 1709,11   |
| <b>2</b>      | 656,61   | 608,33   | 646,95  |
| <b>3</b>      | 1705,20  | 1587,60  | 1548,40   |
| <b>4</b>      | 1029,00  | 1097,60  | 1068,20   |
| <b>5</b>      | 686,00   | 607,60   | 597,80  |
| <b>6</b>      | 1636,60  | 1803,20  | 1607,20   |
| <b>7</b>      | 1146,60  | 1185,80  | 1166,20   |
| <b>8</b>      | 1734,60  | 1852,20  | 1607,20   |
| <b>9</b>      | 1293,60  | 1274,00  | 1411,20   |
| <b>10</b>     | 1440,60  | 1499,40  | 1430,80   |
| <b>11</b>     | 973,37   | 870,91   | 881,16  |
| <b>12</b>     | 1495,92  | 1444,69  | 1291,00   |
| <b>13</b>     | 1420,78  | 1359,30  | 1403,70   |
| <b>14</b>     | 1916,00  | 1772,56  | 1823,79   |
| <b>15</b>     | 906,77   | 829,93   | 835,05  |
| <b>16</b>     | 1260,26  | 1168,04  | 1178,29   |
| <b>17</b>     | 1777,60  | 1741,75  | 1686,70   |
| <b>18</b>     | 1621,05  | 1605,90  | 1565,50   |
| <b>19</b>     | 1360,13  | 1400,53  | 1370,23   |
| <b>20</b>     | 1336,57  | 1272,60  | 1272,60   |

Fonte: Do autor.

Tabela 11 - OD do efluente bruto, clarificado e filtrado. Erro  $\pm 0,17$  mg/L

| <b>Ensaio</b> | <b>Bruto (mg/L)</b> | <b>Clarificado (mg/L)</b> | <b>Filtrado (mg/L)</b> |
|---------------|---------------------|---------------------------|------------------------|
| <b>1</b>      | 0,34                | 2,41                      | 2,93                   |
| <b>2</b>      | 0,32                | 0,33                      | 0,39                   |
| <b>3</b>      | 0,35                | 0,28                      | 0,75                   |
| <b>4</b>      | 2,91                | 2,62                      | 2,57                   |
| <b>5</b>      | 2,81                | 2,73                      | 2,93                   |
| <b>6</b>      | 0,48                | 1,08                      | 1,81                   |
| <b>7</b>      | 3,04                | 2,94                      | 3,40                   |
| <b>8</b>      | 1,82                | 0,78                      | 2,60                   |
| <b>9</b>      | 0,55                | 1,72                      | 3,75                   |
| <b>10</b>     | 2,41                | 2,64                      | 2,88                   |
| <b>11</b>     | 2,81                | 2,73                      | 3,75                   |
| <b>12</b>     | 2,79                | 2,92                      | 3,88                   |
| <b>13</b>     | 2,11                | 2,00                      | 2,68                   |
| <b>14</b>     | 2,13                | 1,76                      | 2,28                   |
| <b>15</b>     | 2,79                | 2,60                      | 2,24                   |
| <b>16</b>     | 1,15                | 0,74                      | 2,32                   |

Fonte: Do autor.

Tabela 12 - SFT nas correntes de efluente bruto, clarificado e filtrado

| <b>Ensaio</b> | <b>%SFT Bruto</b> | <b>%SFT Clarificado</b> | <b>%SFT Filtrado</b> |
|---------------|-------------------|-------------------------|----------------------|
| <b>1</b>      | 29,4              | 30,5                    | 29,1                 |
| <b>2</b>      | 22,0              | 21,4                    | 21,8                 |
| <b>3</b>      | 20,0              | 20,0                    | 20,0                 |
| <b>4</b>      | 20,0              | 20,0                    | 20,0                 |
| <b>5</b>      | 28,0              | 26,0                    | 28,1                 |
| <b>6</b>      | 28,2              | 32,3                    | 34,9                 |
| <b>7</b>      | 31,2              | 31,5                    | 33,9                 |
| <b>8</b>      | 20,0              | 20,0                    | 21,2                 |
| <b>9</b>      | 22,0              | 23,0                    | 28,7                 |
| <b>10</b>     | 34,6              | 27,3                    | 20,0                 |
| <b>11</b>     | 25,0              | 23,6                    | 21,6                 |
| <b>12</b>     | 35,0              | 33,4                    | 20,0                 |
| <b>13</b>     | 28,1              | 21,0                    | 39,0                 |
| <b>14</b>     | 23,7              | 22,5                    | 23,2                 |
| <b>15</b>     | 49,5              | 57,5                    | 51,8                 |
| <b>16</b>     | 23,4              | 20,0                    | 18,0                 |
| <b>17</b>     | 20,4              | 15,3                    | 15,2                 |
| <b>18</b>     | 26,5              | 25,8                    | 19,5                 |
| <b>19</b>     | 35,9              | 20,0                    | 21,0                 |
| <b>20</b>     | 35,6              | 28,2                    | 29,7                 |

Fonte: Do autor.

APÊNDICE B – Análise de variância (ANOVA) no tratamento de dados

Tabela 13 - ANOVA da DQO Bruto para os três tratamentos

| RESUMO       |                 |             |              |                  |  |  |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|--|--|
| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |  |  |
| A            | 7               | 91005,5     | 13000,79     | 23902637         |  |  |
| B            | 5               | 97160       | 19432        | 26342182         |  |  |
| C            | 5               | 144364,4    | 28872,88     | 1,46E+08         |  |  |

| ANOVA                    |           |           |           |          |                |                  |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
| Entre grupos             | 7,35E+08  | 2         | 3,67E+08  | 6,189836 | 0,011858       | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 8,31E+08  | 14        | 59362906  |          |                |                  |
| Total                    | 1,57E+09  | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 14 - ANOVA da DQO Clarificado para os três tratamentos

| RESUMO       |                 |             |              |                  |  |  |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|--|--|
| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |  |  |
| A            | 7               | 91701,6     | 13100,23     | 25390994         |  |  |
| B            | 5               | 91027,18    | 18205,44     | 22810253         |  |  |
| C            | 5               | 140175,1    | 28035,02     | 1,36E+08         |  |  |

| ANOVA                    |           |           |           |          |                |                  |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
| Entre grupos             | 6,55E+08  | 2         | 3,27E+08  | 5,811225 | 0,01454        | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 7,89E+08  | 14        | 56353473  |          |                |                  |
| Total                    | 1,44E+09  | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 15 - ANOVA da DQO Filtrado para os três tratamentos

| RESUMO       |                 |             |              |                  |  |  |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|--|--|
| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |  |  |
| A            | 7               | 87698,45    | 12528,35     | 36152824         |  |  |
| B            | 5               | 84515,78    | 16903,16     | 18770052         |  |  |
| C            | 5               | 127894,2    | 25578,84     | 1,4E+08          |  |  |

| ANOVA                    |           |           |           |          |                |                  |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
| Entre grupos             | 5,01E+08  | 2         | 2,5E+08   | 4,1161   | 0,039266       | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 8,52E+08  | 14        | 60827030  |          |                |                  |
| Total                    | 1,35E+09  | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 16 - ANOVA de SS Bruto para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 740         | 105,7143     | 28163,9          |
| B            | 5               | 459         | 91,8         | 786,2            |
| C            | 5               | 887         | 177,4        | 38298,8          |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 21754,1   | 2         | 10877,05  | 0,468084 | 0,635656       | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 325323,4  | 14        | 23237,39  |          |                |                  |
| Total                    | 347077,5  | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 17 - ANOVA de SS Clarificado para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 107,2       | 15,31429     | 410,5581         |
| B            | 5               | 48,5        | 9,7          | 6,2              |
| C            | 5               | 169         | 33,8         | 1432,2           |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 1622,571  | 2         | 811,2857  | 1,382265 | 0,283241       | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 8216,949  | 14        | 586,9249  |          |                |                  |
| Total                    | 9839,52   | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 18 - ANOVA de SS Filtrado para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 140         | 20           | 555,3333         |
| B            | 5               | 42,5        | 8,5          | 90               |
| C            | 5               | 63,3        | 12,66        | 134,928          |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 408,6492  | 2         | 204,3246  | 0,675978 | 0,524506       | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 4231,712  | 14        | 302,2651  |          |                |                  |
| Total                    | 4640,361  | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 19 - ANOVA do pH Bruto para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 76,97       | 10,99571     | 1,125762         |
| B            | 5               | 56,01667    | 11,20333     | 0,150028         |
| C            | 5               | 52,82667    | 10,56533     | 0,405726         |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 1,068692  | 2         | 0,534346  | 0,833281 | 0,455072       | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 8,977585  | 14        | 0,641256  |          |                |                  |
| Total                    | 10,04628  | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 20 - ANOVA do pH Clarificado para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 76,03       | 10,86143     | 0,945714         |
| B            | 5               | 56,34333    | 11,26867     | 0,116437         |
| C            | 5               | 53,12333    | 10,62467     | 0,445487         |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 1,066757  | 2         | 0,533378  | 0,942605 | 0,412996       | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 7,921979  | 14        | 0,565856  |          |                |                  |
| Total                    | 8,988736  | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 21 - ANOVA do pH Filtrado para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 74,82       | 10,68857     | 1,291014         |
| B            | 5               | 54,75       | 10,95        | 0,3485           |
| C            | 5               | 51,62667    | 10,32533     | 0,515103         |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 0,986191  | 2         | 0,493096  | 0,616342 | 0,553938       | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 11,2005   | 14        | 0,800036  |          |                |                  |
| Total                    | 12,18669  | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 22 - ANOVA da Alcalinidade Bruto para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 8646,8      | 1235,257     | 228327,4         |
| B            | 5               | 7142,633    | 1428,527     | 114464,4         |
| C            | 5               | 7393,108    | 1478,622     | 48258,81         |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 202530,3  | 2         | 101265,2  | 0,70154  | 0,51244        | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 2020858   | 14        | 144347    |          |                |                  |
| Total                    | 2223388   | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 23 - ANOVA da Alcalinidade Clarificado para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 8989,368    | 1284,195     | 309010,3         |
| B            | 5               | 6720,057    | 1344,011     | 105736,5         |
| C            | 5               | 7289,094    | 1457,819     | 55508,19         |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 88477,01  | 2         | 44238,5   | 0,247831 | 0,783845       | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 2499040   | 14        | 178502,9  |          |                |                  |
| Total                    | 2587517   | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 24 - ANOVA da Alcalinidade Filtrado para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 8402,664    | 1200,381     | 212973,1         |
| B            | 5               | 6672,242    | 1334,448     | 113859,2         |
| C            | 5               | 7272,49     | 1454,498     | 36241,6          |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 191149,6  | 2         | 95574,78  | 0,712393 | 0,507414       | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 1878241   | 14        | 134160,1  |          |                |                  |
| Total                    | 2069391   | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 25 - ANOVA de OD Bruto para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 11,72       | 1,674286     | 1,623995         |
| B            | 4               | 9,836667    | 2,459167     | 0,155003         |
| C            | 3               | 4,106667    | 1,368889     | 0,901937         |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 2,390868  | 2         | 1,195434  | 1,094642 | 0,368505       | 3,982298         |
| Dentro dos grupos        | 12,01285  | 11        | 1,092078  |          |                |                  |
| Total                    | 14,40372  | 13        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 26 - ANOVA de OD Clarificado para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 12,89       | 1,841429     | 1,152781         |
| B            | 4               | 9,406667    | 2,351667     | 0,314611         |
| C            | 3               | 5,096667    | 1,698889     | 0,906004         |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 0,916407  | 2         | 0,458203  | 0,521088 | 0,60783        | 3,982298         |
| Dentro dos grupos        | 9,672526  | 11        | 0,879321  |          |                |                  |
| Total                    | 10,58893  | 13        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 27 - ANOVA de OD Filtrado para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 16,63       | 2,375714     | 1,002462         |
| B            | 4               | 12,58667    | 3,146667     | 0,625489         |
| C            | 3               | 8,953333    | 2,984444     | 0,517026         |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 1,76712   | 2         | 0,88356   | 1,088946 | 0,37026        | 3,982298         |
| Dentro dos grupos        | 8,92529   | 11        | 0,81139   |          |                |                  |
| Total                    | 10,69241  | 13        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 28 - ANOVA da %SFT Bruto para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 178,8208    | 25,54582     | 22,34398         |
| B            | 5               | 147,3792    | 29,47583     | 30,81972         |
| C            | 5               | 126,8154    | 25,36308     | 31,44124         |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 56,74192  | 2         | 28,37096  | 1,036767 | 0,380292       | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 383,1077  | 14        | 27,36484  |          |                |                  |
| Total                    | 439,8496  | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 29 - ANOVA da %SFT Clarificado para os três tratamentos

## RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 181,7244    | 25,96063     | 30,60532         |
| B            | 5               | 128,7462    | 25,74925     | 25,51243         |
| C            | 5               | 111,3571    | 22,27142     | 23,12555         |

## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 45,90037  | 2         | 22,95018  | 0,849594 | 0,448493       | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 378,1838  | 14        | 27,01313  |          |                |                  |
| Total                    | 424,0842  | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

Tabela 30 - ANOVA da %SFT Filtrado para os três tratamentos

## RESUMO


| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| A            | 7               | 188,8029    | 26,97184     | 37,40932         |
| B            | 5               | 133,6273    | 26,72545     | 61,03623         |
| C            | 5               | 101,4186    | 20,28372     | 25,5506          |


## ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 153,2414  | 2         | 76,6207   | 1,879264 | 0,189255       | 3,738892         |
| Dentro dos grupos        | 570,8032  | 14        | 40,77166  |          |                |                  |
| Total                    | 724,0446  | 16        |           |          |                |                  |

Fonte: Do autor.

## ANEXO A – Relatório de amostras de efluentes líquidos

| M&G Fibras Brasil<br>Poços de Caldas  | RELATÓRIO SUPRAM- SM |                |                     |           |          |          |   | Código          | RLCQ-0030            |
|---|----------------------|----------------|---------------------|-----------|----------|----------|---|-----------------|----------------------|
|   |                      |                |                     |           |          |          |   | Versão          | 4                    |
|   |                      |                |                     |           |          |          |   | Aplicação       | 26/08/2017           |
|   |                      |                |                     |           |          |          |   | Páginas         | 27                   |
| <b>M&amp;G Fibras Brasil Ltda.</b><br>Alameda Poliéster, 1000 - Bortolan<br>CEP: 37718-001 - Poços de Caldas - MG<br>CNPJ: 04.241.585/0003-54 Tel: (35) 2101-3371<br>Home page: www.mgfibrasbrasil.com.br |                      |                |                     |           |          |          | <br>PRC: 316.01.01 |                 |                      |
| Relatório N° 10 / 2017  |                      |                |                     |           |          |          |   |                 |                      |
| Relatório de Ensaio em Amostras de Efluentes Líquidos e Água Bruta  |                      |                |                     |           |          |          |   |                 |                      |
| Laboratório Homologado pela RMMG sob N° 316.01.01   |                      |                |                     |           |          |          |   |                 |                      |
| Certificado de Reconhecimento de Competência Técnica - com validade até 31/08/2017  |                      |                |                     |           |          |          |   |                 |                      |
| Ver a lista de serviços homologados em: <a href="http://www.fiemg.org.br/Default.aspx?tabid=11659">http://www.fiemg.org.br/Default.aspx?tabid=11659</a>   |                      |                |                     |           |          |          |   |                 |                      |
| O Laboratório é Cadastrado no SISEMA (Sistema Estadual de Meio Ambiente) com protocolo n°: F053892/2006   |                      |                |                     |           |          |          |   |                 |                      |
| 1 - Identificação do Cliente(s)   |                      |                |                     |           |          |          |   |                 |                      |
| Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Sul de Minas.<br>AV. Manoel Diniz, 145 Bairro Industrial JK Varginha - MG CEP - 37062-480<br>Tel: (035) 3223-7678              |                      |                |                     |           |          |          |   |                 |                      |
| E a própria Organização.  |                      |                |                     |           |          |          |   |                 |                      |
| 5 - Local e Data da Amostragem / Resultados   |                      |                |                     |           |          |          |   |                 |                      |
| Entrada da ETE / Retenção (Efluente)  |                      |                |                     |           |          |          |   |                 |                      |
| Data  | Parâmetros Ensaçados |                |                     |           |          |          |   |                 | Condições Ambientais |
|   | p.H                  | Temperatura °C | Condutividade µS/cm | DBO5 mg/L | DQO mg/L | SST mg/L | S.Sedimentáveis mL  | Óleo/Graça mg/L |                      |
| 1-out-17  | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 2-out-17  | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | 35,7            | Tempo Chuvoso        |
| 3-out-17  | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 4-out-17  | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 5-out-17  | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 6-out-17  | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 7-out-17  | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 8-out-17  | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 9-out-17  | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 10-out-17   | **                   | **             | **                  | 576,2     | 1121,8   | **       | **  | **              | Tempo Nublado        |
| 11-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 12-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 13-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 14-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 15-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 16-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 17-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 18-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 19-out-17   | 5,74                 | 25,6           | **                  | **        | **       | **       | 3,0   | **              | Tempo Bom            |
| 20-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 21-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 22-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 23-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 24-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 25-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 26-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | 245,0    | **  | **              | Tempo Nublado        |
| 27-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 28-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 29-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 30-out-17   | **                   | **             | **                  | **        | **       | **       | **  | **              | **                   |
| 31-out-17   | **                   | **             | 1895,0              | **        | **       | **       | **  | **              | Tempo Nublado        |
| Rastreabilidade: 1 JPC LAB-0001   |                      |                |                     |           |          |          |   |                 |                      |

|   |                      |                |                  |                     |           |          |   |                     |                 |                      |
|---|----------------------|----------------|------------------|---------------------|-----------|----------|---|---------------------|-----------------|----------------------|
| M&G Fibras Brasil   | RELATÓRIO SUPRAM- SM |                |                  |                     |           |          |   | Código              | RLCQ-0030       |                      |
|   |                      |                |                  |                     |           |          |   | Versão              | 4               |                      |
|   |                      |                |                  |                     |           |          |   | Aplicação           | 26/08/2017      |                      |
|   |                      |                |                  |                     |           |          |   | Páginas             | 07              |                      |
| Poços de Caldas   |                      |                |                  |                     |           |          |   |                     |                 |                      |
| <b>M&amp;G Fibras Brasil Ltda.</b><br>Alameda Poliéster, 1000 - Bartolan<br>CEP: 37718-001 - Poços de Caldas - MG<br>CNPJ: 04.241.585/0003-54 Tel: (35) 2101-3371<br>Home page: www.mgfibrasbrasil.com.br |                      |                |                  |                     |           |          |  |                     |                 |                      |
|   |                      |                |                  |                     |           |          | PRC: 316.01.01  |                     |                 |                      |
|   |                      |                |                  |                     |           |          | Relatório N° 10 / 2017  |                     |                 |                      |
| Relatório de Ensaio em Amostras de Efluentes Líquidos e Água Bruta  |                      |                |                  |                     |           |          |   |                     |                 |                      |
| Laboratório Homologado pela RMMG sob N° 316.01.01   |                      |                |                  |                     |           |          |   |                     |                 |                      |
| Certificado de Reconhecimento de Competência Técnica com validade até 31/08/2017  |                      |                |                  |                     |           |          |   |                     |                 |                      |
| Ver a lista de serviços homologados em: <a href="http://www.fiemg.org.br/Default.aspx?tabid=11659">http://www.fiemg.org.br/Default.aspx?tabid=11659</a>   |                      |                |                  |                     |           |          |   |                     |                 |                      |
| O Laboratório é Cadastrado no SISEMA (Sistema Estadual de Meio Ambiente) com protocolo n°: F053892/2006   |                      |                |                  |                     |           |          |   |                     |                 |                      |
| 1 - Identificação do Cliente(s)   |                      |                |                  |                     |           |          |   |                     |                 |                      |
| Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Sul de Minas.<br>AV. Manoel Diniz, 145 Bairro Industrial JK Varginha - MG CEP - 37062-480<br>Tel: (035) 3223-7678              |                      |                |                  |                     |           |          |   |                     |                 |                      |
| E a própria Organização.  |                      |                |                  |                     |           |          |   |                     |                 |                      |
| 3 - Local e Data da Amostragem / Resultados.  |                      |                |                  |                     |           |          |   |                     |                 |                      |
| Saída da ETE / ETA (Efluente)   |                      |                |                  |                     |           |          |   |                     |                 |                      |
| Data  | Parâmetros Ensaados  |                |                  |                     |           |          |   |                     |                 | Condições Ambientais |
|   | pH                   | Temperatura °C | Substâncias mg/L | Condutividade µS/cm | DBO5 mg/L | DQO mg/L | SST mg/L  | S. Sedimentáveis mL | Óleo/Graxa mg/L |                      |
| 1-out-17  | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 2-out-17  | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | 12,4            | Tempo Chuvoso        |
| 3-out-17  | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 4-out-17  | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 5-out-17  | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 6-out-17  | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 7-out-17  | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 8-out-17  | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 9-out-17  | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 10-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | 47,9      | 96,1     | **  | **                  | **              | Tempo Nublado        |
| 11-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 12-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 13-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 14-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 15-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 16-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 17-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | 62,8     | **  | **                  | **              | Tempo Nublado        |
| 18-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 19-out-17   | 6,7                  | 21,1           | 0,1              | **                  | **        | **       | **  | 0,1                 | **              | Tempo Bom            |
| 20-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 21-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 22-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 23-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 24-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 25-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 26-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | 22,0  | **                  | **              | Tempo Nublado        |
| 27-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 28-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 29-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 30-out-17   | **                   | **             | **               | **                  | **        | **       | **  | **                  | **              | **                   |
| 31-out-17   | **                   | **             | **               | 1560,0              | **        | **       | **  | **                  | **              | Tempo Nublado        |
|   |                      |                |                  |                     |           |          | Rastreabilidade: 1 JPC LAB-0001   |                     |                 |                      |

# M&G Fibras Brasil Ltda.

Alameda Poliéster, 1000 - Bortolan  
 CEP: 37718-001 - Poços de Caldas - MG  
 CNPJ: 04.241.585/0003-54 Tel: (35) 2101-3371  
 Home page: www.mgfibrasbrasil.com.br



PRC: 316.01.01

Relatório Nº 10 / 2017

## Relatório de Ensaio em Amostras de Efluentes Líquidos e Água Bruta

Laboratório Homologado pela RMMG sob Nº 316.01.01

Certificado de Reconhecimento de Competência Técnica com validade até 31/08/2017

Ver a lista de serviços homologados em: <http://www.flemg.org.br/Default.aspx?tabid=11659>

O Laboratório é Cadastrado no SISEMA (Sistema Estadual de Meio Ambiente) com protocolo nº: F053892/2006

### 1 - Identificação do Cliente(s)

Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Sul de Minas.  
 AV. Manoel Diniz, 145 Bairro Industrial JK Varginha - MG CEP - 37062-480  
 Tel: (035) 3223-7678

### E a própria Organização.

6 - Incerteza de Medição / Faixa de Medição / Unidades / Legislação para Lançamentos em corpos Hídricos.

| Metodologia   | LQ DO MÉTODO | Unidade | Legislação (R) |
|---|--------------|---------|----------------|
| Determinação de pH pelo método Eletrométrico                              | 1 a 13       | **      | 6,0 - 9,0      |
| Determinação da demanda química de oxigênio pelo método do refluxo aberto | 12,7         | mg/L    | ≤180,0         |
| Determinação da demanda bioquímica de oxigênio pelo método respirométrico | 11,3         | mg/L    | ≤60,0          |
| Determinação de Oxigênio Dissolvido pelo método de eletrodo de membrana   | 0,9          | mg/L    | ≥5,0           |
| Determinação de sólidos suspensos totais por secagem a 103-105°C          | 3,4          | mg/L    | ≤100           |
| Determinação de sólidos sedimentáveis                                     | 0,1          | m/L     | 1,0            |
| Determinação de óleos e graxas pelo método de extração Soxhlet            | 4,8          | mg/L    | ≤100,0         |
| Determinação de carbono orgânico total pelo método de combustão a alta    | 10,7         | mg/L    | ≤51,0          |
| Determinação de temperatura   | -5,0 a 50    | °C      | <40,0          |
| Determinação de condutividade eletrolítica                                | 3,5          | µS/cm   | -              |
| Determinação de Surfactantes Aniônicos                                    | 0,04         | mg/L    | ≤0,5           |

### Observações

\* As amostras para ensaio de Surfactantes são coletadas trimestralmente da saída da Estação de Tratamento Efluentes (ETA), estes ensaios serão realizados por um laboratório externo contratado, homologado pela RMMG sob o número de registro 141.01 - L.A. Teixeira & Filho S/C Ltda. Os resultados obtidos de DQO e DBO da entrada da ETE / Retenção, se devem à carga orgânica gerada na Reolpoços, toda essa carga foi devidamente tratada e reutilizada no processo não sendo enviada ao corpo receptor.

### Considerações Finais

- 1-A Incerteza expandida foi calculada de acordo com "Segunda Edição do Guia para Expressão da Incerteza de Medição" com nível de aproximadamente 95% de confiabilidade.
- 2-Os resultados apresentados referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.
- 3-Este relatório somente poderá ser reproduzido na íntegra. A reprodução parcial requer aprovação formal do laboratório.
- 4- As evidências (Rastreabilidade) do processo de ensaio se encontram no Laboratório.
- 5 - Não ocorreram desvios, adições ou exclusões das metodologias e procedimentos aplicados.
- 6 - Laboratório é cadastrado no Sistema estadual de Meio Ambiente (SISEMA) - protocolo Nº F053892/2006 de 18/07/2006.
- 7- Procedimento interno de coleta de amostras 3 JPC LAB-0135.
- 8 -Deliberação Normativa Conjunta COPAM e CERH Nº1de 05 de maio de 2008.

*M. Aparecido Plachi*

**Martido Aparecido Plachi**  
 Gerente Técnico - CRQ:02409643

07/11/2017

Data de emissão

*[Assinatura]*  
 Emissor: Laboratório

*[Assinatura]*  
 Aprovador: Laboratório

Data: 25/08/2017 Rastreabilidade: 1 JPC LAB-0001

Versão: 04

Descrição: Atualizado informações referente aos limites de quantificação do método.