

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**EDUARDO ALEXANDRE BASTIANI DE ARAÚJO**

**ASPECTOS AMBIENTAIS DE UM LAVADOR DE VEÍCULOS PESADOS E  
TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA COM COAGULANTES VISANDO REÚSO**

**PONTA GROSSA**

**2020**

**EDUARDO ALEXANDRE BASTIANI DE ARAÚJO**

**ASPECTOS AMBIENTAIS DE UM LAVADOR DE VEÍCULOS PESADOS E  
TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA COM COAGULANTES VISANDO REÚSO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Professora Dra. Maria Magdalena Ribas Döll.

**PONTA GROSSA**

**2020**

A663 Araújo, Eduardo Alexandre Bastiani de  
Aspectos ambientais de um lavador de veículos pesados e tratamento de  
água residual com coagulantes visando reúso / Eduardo Alexandre Bastiani de  
Araújo. Ponta Grossa, 2020.

72 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental - Área de  
Concentração: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade  
Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Magdalena Ribas Döll.

1. Cloreto de polialumínio. 2. Reúso. 3. Jar test. 4. Polímero comercial. I.  
Döll, Maria Magdalena Ribas. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa.  
Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. III.T.

CDD: 628.4



**CERTIFICADO - 05/2020 - PPGESA**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
SANITÁRIA E AMBIENTAL**

Certificado nº 05/2020 PPGESA

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Título da Dissertação: “ASPECTOS AMBIENTAIS DE UM LAVADOR DE VEÍCULOS PESADOS E TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA COM COAGULANTES VISANDO REÚSO”

Nome: EDUARDO ALEXANDRE BASTIANI DE ARAÚJO

Orientadora: Profa. Dra. Maria Magdalena Ribas Doll

Aprovado pela Comissão Examinadora:

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Magdalena  
Ribas Doll** Universidade Estadual  
de Ponta Grossa

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Cláudia Barana**  
Universidade Estadual de Ponta  
Grossa

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maritane Prior**  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Ponta Grossa, 30 de novembro de 2020



Documento assinado eletronicamente por **Maritane Prior** Usuário Externo em 03/12/2020, às 17:18, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Claudia Barana** Professor(a) em 07/12/2020, às 17:24, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

Documento assinado eletronicamente por **Maria Magdalena Ribas Doll, Professor(a)**, em 08/12/2020, às 09:06, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **0367611** e o código CRC **A31E3A**

---

20.0000357

0367611

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, criador e consumidor de tudo, por ter me permitido alcançar mais esse objetivo, me dando saúde, determinação e capacidade para chegar até esse momento.

A minha esposa Priscila, que compreendeu a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Ao meu Pai Boza, minha Mãe Nelci, por todo apoio financeiro e emocional.

Aos meus irmãos que me incentivaram nos momentos difíceis.

À minha família em geral, que sempre acreditou e me deu forças para continuar.

À Professora Doutora Maria Magdalena Ribas Döll, pela contribuição, suporte e paciência que teve comigo durante a elaboração desta dissertação, obrigado por ser essa pessoa querida, companheira e acima de orientadora, uma amiga.

Ao Cícero Guerellus, laboratorista, a Meiryellen e a Valdirene, que durante a fase de análises sempre estiveram prontos a ajudar. A Carine Burdak e Nicolly Fátima, acadêmicas de iniciação científica, que foram fundamentais para as análises iniciais do trabalho.

Ao Anderson Rodrigo Teixeira, à sua esposa, cunhada e seu filho, proprietários do lavador que cedeu a água residuária para o estudo, sem a qual não teríamos esse trabalho. Ao responsável químico do lavador, Marcos Monteiro, pela troca de conhecimento e disposição em ajudar.

À Sanepar de Telêmaco Borba, em especial nas pessoas de Jorge Luiz Fisher, Cleverson e Alysson, pelo companheirismo e troca de experiências que me permitiram crescer durante este processo de aprendizado.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, os quais possibilitaram e viabilizaram o crescimento intelectual.

Aos colegas de classe e professores pela troca de informação durante o período em que convivemos, momentos felizes que guardarei para sempre.

A todos que, de alguma forma, ajudaram direta ou indiretamente neste processo e contribuíram para a minha formação, muito obrigado!

ARAÚJO, E. A. B DE. **Aspectos ambientais de um lavador de veículos pesados e tratamento de água residuária com coagulantes visando reúso.** Ponta Grossa, 2020. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2020.

## RESUMO

O processo de lavagem automotiva consome um volume grande de água, que pode chegar a 1000 L, no caso de veículos pesados, como caminhões. Sabe-se que a água residuária gerada pode causar sérios problemas de poluição e degradação ambiental, quando não é descartada de maneira correta. Considerando as preocupações ambientais e a melhoria contínua de processos que auxiliam na preservação ambiental, este trabalho avaliou um sistema de tratamento de água residuária com finalidade de reúso. Para isso, foram testadas condições operacionais da coagulação-floculação-sedimentação com doses de dois coagulantes, um polímero comercial e o cloreto de polialumínio, a fim de compará-los quando aplicados separadamente e combinados. Os ensaios de coagulação e sedimentação foram feitos em testes de jarros e, após, o sobrenadante foi coletado para as análises. A caracterização da água residuária revelou valores elevados, principalmente, nos parâmetros de DQO ( $1291,97 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ ) e Turbidez ( $478,33 \text{ NTU}$ ). A condutividade elétrica e o pH apresentaram valores médios de  $540,40 \mu\text{s cm}^{-1}$  e 7,75, respectivamente, na saída da caixa de separação de óleos e graxas. Os melhores resultados para dosagem de PAC foram alcançados na concentração de  $0,5 \text{ g L}^{-1}$ , já para o polímero Axfloc® a dosagem máxima foi de  $30 \text{ mg L}^{-1}$ , quando combinados PAC com o polímero, nas concentrações de  $0,3 \text{ g L}^{-1}$  e  $25 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente. Assim, os parâmetros se enquadraram na legislação de qualidade para reúso ou para descarte nos corpos hídricos.

**Palavras-chave:** Cloreto de polialumínio, Reúso, Jar Test, polímero comercial.

ARAÚJO, E. A. B DE. **Aspectos ambientais de um lavador de veículos pesados e tratamento de água residuária com coagulantes visando reúso.** Ponta Grossa, 2020. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2020.

### **ABSTRACT**

The car wash process is a major consumer of water, when it comes to heavy vehicles this consumption is even greater, knows that the residuary water can cause serious problem to the environment, when don't take the right directions. Considering the worries environmental, and the continued improvement that helps the environment preservation, this article is regarding, a water residuary treatment system, to reuse that water, was tested the operational condition of coagulation - flocculation - sedimentation with double-dose, a commercial polymeeter, and polyaluminum chloride, to compare when applied separate and combined. The coagulation and sedimentation test, was made in test jars, and after collected supernature to the analysis, the characterization of residuary water revealed high values of various parameters. The electrical conductivity and pH, has medium value of  $540,40 \mu\text{s cm}^{-1}$  e  $7,75$ , respectively, at the output of the oil and grease separation box. The best results for dosing of "PAC" in this residuary water was the concentration of  $0,5 \text{ g L}^{-1}$ , and for the polymeeter, the maximum dosing was  $0,3 \text{ g L}^{-1}$  and  $25 \text{ mg L}^{-1}$ , respectively. So, the parameter, framed in quality of reuse or disposal in the water bodies.

Keywords: polyaluminum chloride, reuse, jar test, commercial polymeeter.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Lavagem ecológica sem uso de água. ....	17
<b>Figura 2</b> Lavagem a jato manual com jatos de água de alta pressão.....	18
<b>Figura 3</b> <i>Rollover</i> ou lavagem automatizada .....	19
<b>Figura 4</b> Fluxograma do ciclo PDCA. ....	23
<b>Figura 5</b> Etapas experimentais do sistema avaliado para o tratamento da água residuária visando seu reúso.....	28
<b>Figura 6</b> Imagem da localização de origem da água residuária. ....	30
<b>Figura 7</b> Sistema de tratamento de águas residuárias do lavador de veículos estudado.....	31
<b>Figura 8</b> Planta baixa e detalhes do sistema de tratamento de água do lavador estudado.....	32
<b>Figura 9</b> Foto do tanque de separação óleo- água do lavador de veículos pesados, em que a água residuária foi coletada. ....	33
<b>Figura 10</b> Esquema ilustrativo das camadas do filtro do lavador de veículos pesados.....	33
<b>Figura 11</b> Equipamento Jar Test, em que foram realizados os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação da água residuária de lavador de veículos pesados.....	34
<b>Figura 12</b> Fluxograma das etapas experimentais seguidas na execução do trabalho. ....	36
<b>Figura 13</b> Ocupação da área da estrutura do lavador expressa em porcentagem. ...	37
<b>Figura 14</b> Área de lavagem. ....	38
<b>Figura 15</b> Fluxograma da geração até o destino dos resíduos.....	40
<b>Figura 16</b> Planta baixa do lavador com destaque em vermelho do local das coletas da água residuária a ser usadas nos ensaios de Jar test. ....	47
<b>Figura 17</b> Resultados de pH, CE e turbidez em relação ao tratamento.....	49
<b>Figura 18</b> Valores de CE relacionados à concentração de PAC. ....	50
<b>Figura 19</b> Valores de DQO relacionados à concentração de PAC, acima das barras expressos os valores em porcentagem da redução de DQO. ....	51
<b>Figura 20</b> Valores de fósforo total e inorgânico relacionados à concentração de PAC. ....	52

<b>Figura 21</b> Valores de pH relacionados à concentração de PAC.....	52
<b>Figura 22</b> Valores de Sólidos relacionados à concentração de PAC.....	53
<b>Figura 23</b> Comparação visual entre as dosagens de 0,5 e 0,6 g L <sup>-1</sup> de PAC com diluição de 1%. .....	54
<b>Figura 24</b> Água residuária após o processo de coagulação floculação e sedimentação. ....	55
<b>Figura 25</b> Resultados do ensaio de coagulação floculação e sedimentação no pH de 9,17.....	58
<b>Figura 26</b> Valores de dosagem de polímero com os resultados após coagulação, floculação e decantação.....	59
<b>Figura 27</b> Coagulante AxFloc® aderido à pá do Jar test na concentração de 60 mg L <sup>-1</sup> no ensaio 3. ....	60
<b>Figura 28</b> Tratamentos combinados de PAC, 0,3 e 0,5 g L <sup>-1</sup> , com polímero, 16 e 25 mg L <sup>-1</sup> . Em três faixas de pH 7,17; 8,17; 9,17. ....	61

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> Classificação da água de reúso e seus usos preponderantes.....	21
<b>Quadro 2</b> Critério de qualidade da água de reúso.....	21
<b>Quadro 3</b> Autores com seus respectivos resultados .....	27
<b>Quadro 4</b> A classificação do clima segundo a Köppen e Geiger .....	30
<b>Quadro 5</b> Ponto de geração, descrição do armazenamento e destinação .....	38
<b>Quadro 6</b> Estimativa dos resíduos gerados.....	39
<b>Quadro 7</b> Relação entre os aspectos ambientais, os impactos ambientais e as medidas de controle .....	41

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Formulações dos produtos utilizados no lavador de veículos pesados.....	20
<b>Tabela 2</b>	Tempos de misturas e concentrações de PAC avaliados .....	35
<b>Tabela 3</b>	Ensaio combinados de PAC e polímero .....	35
<b>Tabela 4</b>	Resultados obtidos das análises realizadas para a caracterização da água residuária bruta e após passar pelas caixas separadoras de óleos e graxas.....	45
<b>Tabela 5</b>	Resultados das análises de pH, CE e turbidez, após a sedimentação de 30 minutos para os tempos de misturas variáveis, conforme apresentados no Quadro 6.....	48
<b>Tabela 6</b>	Resultados dos ensaios de coagulação com 0; 0,5; 0,6 e 0,7 g L <sup>-1</sup> de PAC sob as condições fixas de mistura rápida 120 rpm/5 min, mistura lenta 30 rpm/20 minutos e tempo de sedimentação de 30 minutos .....	50
<b>Tabela 7</b>	Teste dos efeitos de diferentes pH com a mesma água residuária.....	56
<b>Tabela 8</b>	Valores de dosagem de polímero com os resultados após coagulação, floculação e sedimentação.....	59
<b>Tabela 9</b>	Resultados obtidos com os ensaios combinados de PAC com polímero .....	62

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	<i>American Public Health Association</i>
CE	Condutividade Elétrica
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cter	Coliformes termotolerantes
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
EPI	Equipamento de proteção individual
IAT	Instituto Água e Terra
L	Litros
g	Gramas
NBR	Norma técnica brasileira
NMP	Número mais provável
NSF	<i>National Sanitation Foundation</i>
NTU	Unidade de turbidez nefelométrica
PAC	Cloreto de polialumínio
pH	Potencial hidrogeniônico
q.s.p	Quantidade suficiente para
rpm	Rotação por minuto
SEDEST	Secretaria do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo
SGA	Sistema de gestão ambiental
ST	Sólidos totais
STF	Sólidos totais fixos
STV	Sólidos totais voláteis
TMR	Tempo de mistura rápida
TML	Tempo de mistura lenta
UT	Unidade de turbidez

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Tipos de lavagem de veículos e produtos usados na limpeza</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Legislação de reúso para água residuária</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3</b>	<b>Gestão de águas residuárias para reúso em lavadores de veículos pesados</b> .....	<b>22</b>
3.3.1	<i>PLAN - Planejamento</i> .....	24
3.3.2	<i>DO - Executar:</i> .....	24
3.3.3	<i>CHECK - Verificar</i> .....	24
3.3.4	<i>ACT - Atuar</i> .....	25
<b>3.4</b>	<b>Tratamentos de águas residuárias de lavadores de veículos por coagulação, floculação e sedimentação para fins de reúso</b> .....	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Água residuária</b> .....	<b>29</b>
4.1.1	<i>Local de coleta da água residuária</i> .....	29
<b>4.2</b>	<b>Descrição do sistema de tratamento de água do lavador de carros estudado</b> .....	<b>31</b>
<b>4.3</b>	<b>Ensaio de coagulação, floculação e decantação</b> .....	<b>34</b>
<b>4.4</b>	<b>Tratamento estatístico</b> .....	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>37</b>
<b>5.1</b>	<b>Diagnóstico de um lavador de veículos pesados</b> .....	<b>37</b>
<b>5.2</b>	<b>Identificação de não conformidades</b> .....	<b>40</b>
5.2.1	<i>Caixa separadora de água residuária e óleo</i> .....	41
5.2.2	<i>Educação ambiental</i> .....	42
5.2.3	<i>Redução na fonte</i> .....	42
5.2.4	<i>Treinamento para os colaboradores</i> .....	42

5.2.5	<i>Sistema de tratamento</i> .....	43
5.2.6	<i>Identificação dos aspectos ambientais mais relevantes na empresa</i> .....	43
5.2.7	<i>Adequação do sistema de tratamento da água residuária</i> .....	43
<b>5.3</b>	<b>Caracterização da água residuária</b> .....	<b>44</b>
<b>5.4</b>	<b>Tratamento da água residuária por coagulação, floculação e sedimentação</b> .....	<b>48</b>
5.4.1	<i>Ensaio preliminares das condições operacionais</i> .....	48
5.4.2	<i>Ensaio de coagulação com diferentes doses de PAC</i> .....	49
5.4.3	<i>Ensaio de coagulação com dosagens de PAC e pH inicial fixo</i> .....	54
5.4.4	<i>Ensaio de coagulação com diferentes doses de polímero comercial</i> .....	58
5.4.5	<i>Ensaio combinando PAC com polímero</i> .....	60
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>64</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A lavagem automotiva de veículos pesados é uma grande geradora de água residuária, pois gasta entre 500 e 1000 L de água por unidade lavada e, para veículos pequenos, o consumo é de 50 L, em média (VASCONCELOS; GOMES, 2017).

Diante de exigências ambientais mais rigorosas, a comunidade científica vem estudando formas de aperfeiçoamento dos processos de lavagem, visando à redução do volume de água gasto e ou o reúso da água residuária após tratamento (TORRENS et al., 2018; COSTA, 2006; FARIA et al., 2017).

Sem um processo eficiente de reutilização da água residuária, ela é descartada sem tratamento ou com tratamento ineficiente, fato que pode causar dano ambiental ao ecossistema.

Em alguns estados brasileiros, como o Paraná, os órgãos responsáveis pelo tratamento de esgoto doméstico não permitem o descarte nas redes coletoras, pelo fato de possuírem uma alta carga de surfactantes, óleos e graxas, dentre outras substâncias que podem interferir no processo de tratamento do esgoto (PINTO et al., 2017).

Os compostos surfactantes das águas residuárias são provenientes de produtos de limpeza usados na lavagem dos veículos. Esses compostos podem causar poluição, como por exemplo espuma tóxica, quando descartado no corpo hídrico, mesmo após o tratamento biológico nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), que não são preparadas para a remoção deste tipo de composto.

Já os óleos e graxas podem causar um colapso nos reatores biológicos anaeróbios, interrompendo o processo de tratamento do esgoto sanitário, além disso, causam incrustações que interferem negativamente no tratamento (ALUIZ, 2019).

Para Rodrigues et al. (2016), há diversas vantagens ambientais e financeiras quando se trata de reutilização da água de lavagem, por esse motivo, estudam-se processos e melhorias voltadas à reutilização.

Estudos indicam que essas águas residuárias devem ser reusadas somente após um tratamento eficiente. Souza Filho (2017) e Torrens et al. (2018) citam que os processos de reaproveitamento de águas residuárias em lavadores automotivos necessitam de melhorias, por exemplo, em relação às dosagens adequadas de coagulantes.



Sillanpää et al. (2018) comentam que a eficácia da coagulação depende de vários fatores, como tipo e dosagem de coagulante, condições de mistura e pH, e que deve haver um estudo para que o tratamento seja eficaz.

Para Lima Júnior (2018), o tratamento da água residuária com coagulantes inorgânicos à base de alumínio e ferro traz muitos malefícios e impactos ambientais, devido aos óxidos metálicos não biodegradáveis gerados na coagulação e floculação. Pimenta (2017) relatou que esses coagulantes são comumente utilizados, em virtude de sua eficiência na remoção de partículas orgânicas e inorgânicas, suspensas ou coloidais.

Constantino e Yamamura (2009) destacaram algumas vantagens do cloreto de polialumínio como forte poder de coagulação em comparação com o sulfato de alumínio e observaram que houve maior velocidade de decantação, simplicidade de uso, eficácia em uma ampla faixa de pH.

Para Beltrán-Heredia e Sánchez-Martín (2009), o coagulante à base de taninos utilizado em sua pesquisa apresentou bom desempenho no tratamento de efluentes. A eficiência em relação à redução de DBO, DQO e turbidez são comparadas com a de coagulantes já conhecidos, sendo as dosagens baixas de taninos bastante eficazes. Conforme Justina et al. (2018), os taninos são considerados produtos promissores para o tratamento de efluentes.

Quando comparados os tratamentos de águas residuárias, todos possuem suas vantagens e desvantagens, estudos apontam que é promissor o uso de coagulantes para este tipo de água residuária. Porém, caso os coagulantes não sejam de origem orgânica biodegradável, eles devem ser usados de forma cautelosa e controlada, a fim de reduzir os volumes de lodos gerados.

Por essas razões, será avaliada neste estudo a água residuária tratada com diferentes condições e doses de coagulante, cloreto de polialumínio (PAC) sozinho, e em combinações com um polímero comercial.

Para a água residuária estudada neste trabalho foi proposto um processo com adição de dois coagulantes: PAC e o polímero Axfloc®, buscando-se uma otimização em um processo já existente com relação às faixas de pH.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Avaliar o sistema de tratamento de águas residuárias de um lavador de veículos pesados por processo físico-químico de coagulação, floculação e sedimentação com diferentes doses de PAC sozinho e combinado com polímero comercial Axfloc®.

### 2.2 Objetivos específicos

Avaliar *in loco* uma unidade de lavagem de veículo pesados considerando os aspectos ambientais e gargalos do processo, visando à geração de água residuária e sistema de tratamento para seu reúso.

Realizar a caracterização da água residuária, a fim de conhecer sua composição e aprimorar o sistema de tratamento proposto.

Avaliar o coagulante cloreto de polialumínio (PAC), em doses diferentes e com a variação no pH e rotações das pás do equipamento usado para realizar os testes de jarros nas etapas de coagulação, floculação e sedimentação do tratamento físico-químico dessa água residuária.

Avaliar a dosagem do polímero comercial Axfloc® na água residuária em estudo.

Realizar a combinação dos coagulantes: PAC e Axfloc®, para obter uma água residuária com qualidade de reúso.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Tipos de lavagem de veículos e produtos usados na limpeza

Os processos de lavagem automotiva que existem atualmente no mercado são inúmeros, os mais utilizados foram citados a seguir:

**Lavagem ecológica:** processo realizado por um solvente ou fluido biodegradável, composto de silicone puro, cera de carnaúba, solvente alifático de glicol e água, como descreveram Rodrigues et al. (2016). Esse procedimento consiste em trocar a água pelo solvente ou fluido, o que reduz o volume de água utilizado, em média 200 mL por veículo, conforme ilustrado na Figura 1. Essa lavagem também é conhecida como ecolavagem ou biolavagem (HPOINT, 2017).

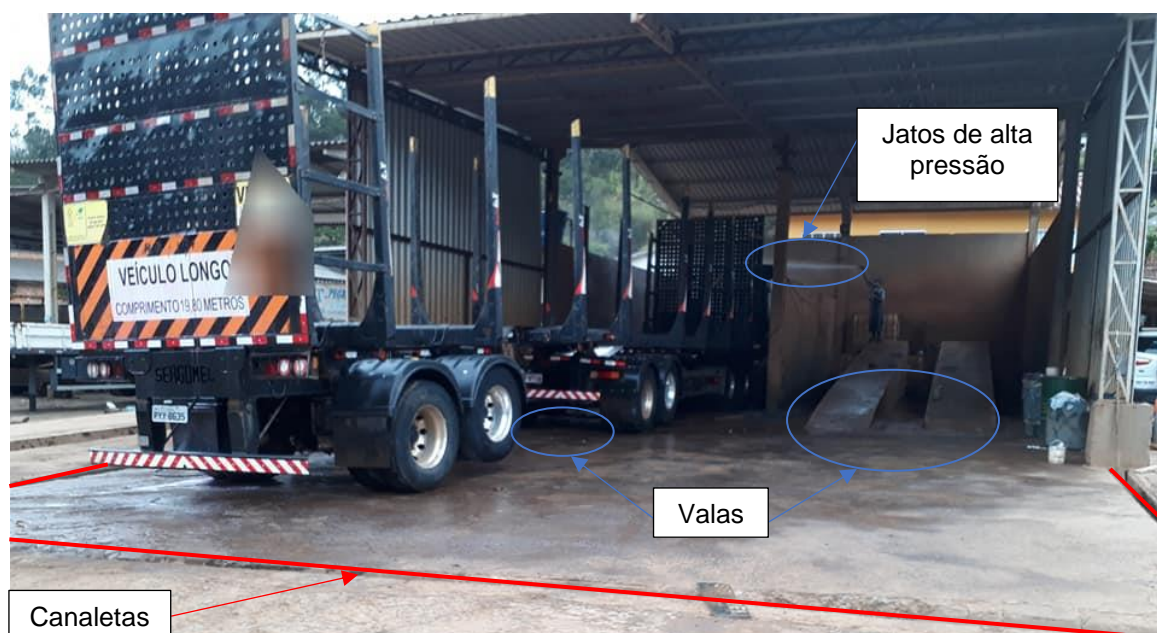
**Figura 1** Lavagem ecológica sem uso de água.



**Fonte:** o autor.

**Lavagem a jato manual:** processo mais aplicado no Brasil. Utiliza mangueiras com jatos de alta pressão, detergentes alcalinos, detergentes ácidos, e shampoo. Em alguns casos, a água é coletada numa vala e levada por canaletas até o sistema de tratamento, como mostrado na Figura 2 (BOHN, 2014). Nesse tipo de lavagem, o consumo de água é elevado e pode chegar a 1000 L por caminhão.

**Figura 2** Lavagem a jato manual com jatos de água de alta pressão.



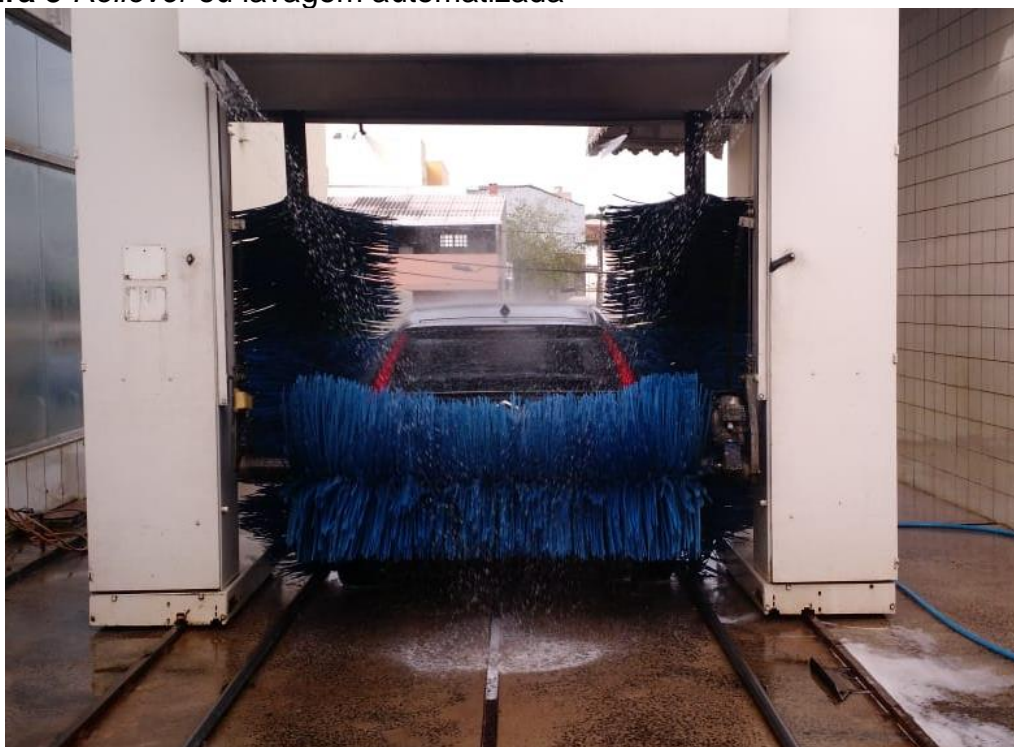
**Fonte:** o autor.

**Lavagem automatizada ou *rollover*:** realizada com máquinas automatizadas dotadas de escovas em forma cilíndrica as quais passam pelo veículo, com aspersores de produto e água (Figura 3), fazendo a lavagem e posterior enxague (LEAL FILHO, 2015).

No processo de lavagem automatizada, o veículo fica parado enquanto a máquina realiza movimentos para frente e para trás, cobrindo as laterais e o teto dos veículos, utilizando em média 140 L de água por veículo lavado (BOHN, 2014).

A lavagem por túnel tem um processo semelhante, mas as escovas ficam paradas e o veículo se movimenta (MORELLI, 2005).

**Figura 3** Rollover ou lavagem automatizada



**Fonte:** o autor.

Para Leal Filho (2015), a lavagem externa dos veículos utiliza basicamente três produtos, que são eles:

**Detergente ácido (Intercap):** produto que se enquadra na categoria dos produtos de limpeza. É utilizado para a remoção de impurezas de caráter básico. Este produto é muito utilizado em postos de automóveis, empresas de ônibus e transportadoras para a lavagem de veículos, em especial para a lavagem da carroceria. Possui coloração roxa e odor característico.

**Detergente alcalino (Solupan):** produto indicado para a limpeza e remoção de sujeiras pesadas, indicado para a remoção de óleos e graxas, em especial a limpeza de chassis de veículos, motores, pneus e carrocerias. Este detergente possui coloração azul, e odor característico.

**Shampoo automotivo neutro:** produto limpador neutro, utilizado para a limpeza leve tanto de veículos quanto para limpeza geral e industrial. Possui coloração amarela e possui diversas fragrâncias, à escolha do fabricante.

Na Tabela 1 são apresentadas as formulações dos produtos mais utilizados em um lavador de veículos pesados.

**Tabela 1** Formulações dos produtos utilizados no lavador de veículos pesados

Detergente alcalino		Detergente ácido		Shampoo neutro	
Produto	Quantidade	Produto	Quantidade	Produto	Quantidade
Água	75,50%	Ácido sulfônico	7,50%	Água	84,50%
Amido	5,00%	Água	88,50%	Ácido sulfônico	7,40%
Soda cáustica*	1,00%	Ácido fluorídrico	2,00%	Metassilicato de sódio	2,50%
Ácido sulfônico*	1,00%	Brasamida	1,00%	Fosfato trissódico	3,50%
Soda líquida	17,00%	Sal	1,00%	Brasamida	1,50%
Formol	0,50%	Corante roxo	q.s.p.	Renex	0,40%
Corante azul	q.s.p.			Formol	0,20%
				Corante	q.s.p.

Fonte: Adaptado de Fernandes (1996).

Notas: \* Diluição de 50%.

Os valores apresentados na Tabela 1 são referentes à fabricação do produto, sendo necessária a diluição antes da aplicação no processo de lavagem. A diluição depende do tipo de veículo e da quantidade de sujeira a ser removida.

### 3.2 Legislação de reúso para água residuária

Segundo Rezende (2016), não existem normatizações técnicas específicas para o sistema de reúso da água no Brasil, por isso são adotados padrões referenciais internacionais ou orientações técnicas produzidas por instituições privadas. Isto dificulta a aplicação de um sistema com reúso no país, pois, a falta de legislação e normatização específica atrapalham o trabalho dos profissionais e podem colocar em risco a saúde da população, devido à falta de orientação técnica, para a implantação dos sistemas de reúso das águas servidas e a respectiva fiscalização de tais sistemas.

A Resolução Nº 54, de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, em seu Artigo 3º determina que:

**Art. 3º** O reúso direto não potável de água, para efeito desta Resolução, abrange as seguintes modalidades:

I - reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

...

§ 2º As diretrizes, critérios e parâmetros específicos para as modalidades de reúso definidas nos incisos deste artigo serão estabelecidos pelos órgãos competentes (BRASIL, 2006).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 13969/97, classifica as águas de reúso, segundo seus usos preponderantes e ainda estabelece alguns critérios de qualidade da água para reúso de acordo com seus usos pretendidos (ABNT, 1997), conforme Quadros 1 e 2.

**Quadro 1** Classificação da água de reúso e seus usos preponderantes

Classes	Usos preponderantes
1	Lavagem de carros; e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.
2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins;
3	Manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.
4	Reúso nas descargas dos vasos sanitários.
	Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagem para gado; e outros cultivos, através de escoamento superficial ou sistema de irrigação pontual.

**Fonte:** NBR 13969 (ABNT, 1997).

Portanto, de acordo com a NBR 13969/97, a água residuária deste trabalho deve ser considerada Classe 1 (ABNT, 1997), cujos parâmetros a serem monitorados estão descritos no Quadro 2.

**Quadro 2** Critério de qualidade da água de reúso

Parâmetro	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Turbidez	UT	<5	<5	<10	-
Coliformes termotolerantes	(NMP/100 mL)	<200	<500	<500	<5000
Sólidos dissolvidos totais	(mg/L)	<200	-	-	-
pH		Entre 6,0 e 8,0	-	-	-
Cloro residual	mg/L	Entre 0,5 e 1,5	>0,5	-	-
Oxigênio dissolvido	mg/L	-	-	-	2,0

**Fonte:** NBR 13969/97 (ABNT, 1997).

A Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (SEDEST), através da Resolução Nº 3, de 17 de janeiro de 2020, estabelece condições e critérios para o licenciamento ambiental para Posto Revendedor, Posto de Abastecimento, Instalação de Sistema Retalhista de Combustível - TRR, Posto Flutuante, Base de Distribuição de Combustíveis. Em seu artigo 33, essa Resolução estabelece que:

*Art. 33. Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis, com ou sem lavagem, deverão dispor de sistema de tratamento das águas residuárias*

geradas, apresentado na forma de projeto, elaborado de acordo com as diretrizes do ANEXO II.

§ 1º Os Postos ou estabelecimentos que executarem lavagem de veículos pesados (caminhões, tratores e máquinas), deverão apresentar projeto específico de Sistema de Tratamento para efluentes, que deverá, obrigatoriamente, contemplar o Reúso do Efluente Final Tratado.

...

Art. 34. Os efluentes somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, desde que obedeçam às condições e padrões estabelecidos na sequência, resguardadas outras exigências cabíveis:

I - pH entre 5 e 9;

II - DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio) inferior a 100 (cem) mg/L;

III - DQO (Demanda Química de Oxigênio) inferior a 300 (trezentos) mg/L;

IV - Material sedimentável até 1 ml/L em teste de 1 hora em cone Imhoff;

V - Óleos e Graxas minerais até 20 mg/L e vegetais até 50 mg/L;

VI - Substâncias Tensoativas que reagem com o Azul de Metileno até 2,0 mg/L.

VII - Temperatura: inferior a 40º C; (PARANÁ, 2020).

O ANEXO II dessa Resolução traz as diretrizes para elaboração e apresentação de projetos de sistemas de controle de poluição ambiental em postos de abastecimento e instalação de sistema retalhista de combustível - ISR/TRR.

A Secretaria do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (SEDEST), através da Resolução Nº 32 de 12 de maio de 2020, estabelece condições e critérios para o licenciamento ambiental de Pátio/Estacionamento de Caminhões. No seu artigo 22, essa Resolução determina que:

**Art. 22.** Os efluentes líquidos gerados poderão ser lançados, direta ou indiretamente no corpo receptor desde que obedeçam às condições e padrões estabelecidos na sequência, resguardadas outras exigências cabíveis:

I - pH entre 5 e 9;

II - temperatura inferior à 40ºC, sendo que a elevação máxima de temperatura do corpo receptor não poderá ultrapassar 3ºC;

III - materiais sedimentáveis até 1ml/L em teste de 1 hora em Cone Imhoff;

IV - óleos e graxas: óleos minerais até 20 mg/L e óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg/L;

V - ausência de materiais flutuantes;

VI - DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) deverá ser OUTORGADA;

VII - DQO (Demanda Química de Oxigênio) deverá ser OUTORGADA. (PARANÁ, 2020b).

### 3.3 Gestão de águas residuárias para reúso em lavadores de veículos pesados

O Sistema de Gestão Ambiental (SGA) tem como objetivo adotar práticas que preservem e conservem a biodiversidade. Esse sistema é de fundamental importância para a preservação ambiental. No estado do Paraná, é uma obrigatoriedade para



lavadores de veículos pesados, sendo o órgão responsável pela fiscalização o Instituto Água e Terra (IAT).

Uma das ferramentas utilizadas no sistema de gestão ambiental foi inspirada no sistema de gestão da qualidade, cujo formato foi fundamentado no chamado ciclo PDCA, como mostra a Figura 4 (SILVA; FERREIRA, 2018).

A gestão da água residuária do lavador de veículos pesados poderia seguir um modelo de melhoria contínua: o PDCA, que significa, em seu idioma de origem, PLAN, DO, CHECK, ACT. Esse método foi desenvolvido na década de 1930 pelo americano Shewhart, mas foi Deming seu maior divulgador, na década de 1950. É conhecido também como Método de Melhorias PDCA, ciclo PDCA, ciclo de Shewhart ou ciclo de Deming (NASCIMENTO, 2011).

O conceito de melhoria contínua implica um processo sem fim, analisando criticamente os trabalhos e os resultados de uma operação. A forma mais usual de realizar a melhoria contínua é por meio do ciclo de planejar, fazer, checar e agir, sequência na qual os estágios da solução de problemas são vistos como operacionalizando um ciclo (SIMÕES; ALLIPRANDINI, 2006).

**Figura 4** Fluxograma do ciclo PDCA.



**Fonte:** Andrade (2017).

Segundo Nascimento (2011), o Ciclo PDCA é projetado para ser usado como um modelo dinâmico. A conclusão de uma volta do ciclo irá fluir no começo do próximo ciclo e, assim, sucessivamente. Seguindo no espírito de melhoria de qualidade

contínua, o processo sempre pode ser reanalisado e um novo processo de mudança poderá ser iniciado.

O objetivo do ciclo nesse ramo de atividade é o estudo do tipo e dosagem do coagulante num sistema de tratamento de águas residuárias de um lavador de veículos pesados, aperfeiçoando o processo gerando uma água com padrões adequados para reuso.

### 3.3.1 *PLAN - Planejamento*

O planejamento é considerado a etapa mais importante do ciclo por ser a primeira e desencadear todo o processo PDCA. Nela são definidos os objetivos e os métodos que serão utilizados para a mudança que se deseja. Pode ser subdividida em cinco etapas, as quais são elencadas a seguir, segundo Campos (2004):

1. Identificação do problema;
2. Estabelecimento de metas;
3. Análise do fenômeno;
4. Análise do processo (causas);
5. Plano de ação.

### 3.3.2 *DO - Executar*

Enquanto o planejamento e a programação estão voltados para a eficácia (intrínseca às ações estipuladas), a etapa de execução é voltada para a eficiência do processo. Em termos, um processo eficiente é proveniente de um plano contendo ações realmente eficazes (NASCIMENTO, 2011).

Nessa etapa, coloca-se em prática o que foi definido na etapa de planejamento, ou seja, implementa-se a melhoria.

### 3.3.3 *CHECK - Verificar*

Para Gorenflo e Moran (2009), essa fase envolve a análise do efeito da intervenção, comparando-se os novos dados aos dados da linha de base para determinar se a melhoria foi alcançada e se os objetivos foram cumpridos.

### 3.3.4 ACT - Atuar

Essa fase marca o ponto culminante do planejamento, testes e análises para identificar se as melhorias desejadas foram alcançadas, conforme articulado na declaração de objetivo, que é agir sobre o que foi aprendido.

Se as mudanças foram positivas, pode-se implementar as melhorias no processo, senão volta-se à etapa de planejamento, podendo apenas adaptar a melhoria ou abandoná-la. Dando início novamente ao ciclo.

## 3.4 Tratamentos de águas residuárias de lavadores de veículos por coagulação, floculação e sedimentação para fins de reúso

O tratamento da água residuária pode ser feito de diversas maneiras, entre elas: o tratamento biológico anaeróbio (COSTA, 2006), o uso de métodos de filtração (BOUSSU et al., 2007) e (MOAZZEM et al., 2018), a coagulação (BELTRÁN-HEREDIA; SÁNCHEZ-MARTÍN, 2009; JUSTINA et al., 2018) etc. Cada tratamento possui suas vantagens e desvantagens. A seguir, são apresentados alguns tratamentos relatados na literatura.

O tratamento biológico anaeróbio das águas residuárias de lavagem de veículos é aplicável, porém tem como desvantagem a lentidão do processo, com um tempo relativamente longo para a degradação do substrato. Costa (2006) mencionou que, em seu estudo, a remoção da DQO de água residuária de lavagem automotiva demorou cerca de dezoito dias e variou entre 72 e 89%.

O tratamento por nanofiltração também pode ser aplicado para reciclar águas residuárias na indústria de lavagem de carros. Para uma boa operação, o processo necessita de alta permeabilidade à água, alto fluxo relativo e uma alta retenção. Outra vantagem de uma membrana hidrofílica é que o fluxo original de água pura pode ser obtido após a limpeza com água em apenas 15 minutos, nenhuma limpeza química adicional é necessária (BOUSSU et al. 2007).

Boluarte et al, (2016) utilizaram água residuária de lavagem de veículos para compor um sistema de coagulação-floculação seguida de ozonização. Obtiveram redução de 67% na DQO e 99,6% na turbidez.

Sistemas de tratamento, para água residuária de lavagem de veículos, composto por coagulação, floculação, sedimentação, filtração de areia, ultrafiltração

de cerâmica e osmose reversa, apresentaram redução: 99,9% de turbidez, 100% dos sólidos suspensos e 96% da DQO, atendendo aos padrões exigidos pela legislação da região do estudo (MOAZZEM et al. 2018).

Os processos de floculação-flotação em coluna seguida de filtração em areia e polimento com hipoclorito de sódio e adsorção em carvão ativado foi estudado por Etchepare (2012), que obteve valores consideráveis na remoção de DQO (86%), mas os valores de turbidez (10 NTU) não atendem aos padrões de qualidade exigidos para o reúso.

Aluiz (2019) realizou tratamento da água residuária de lavagem automotiva pelo processo de coagulação, floculação e sedimentação em coluna com cloreto de polialumínio, seguido do processo Fenton. Os seus resultados demonstraram que a associação do processo físico-químico com o processo avançado remove efetivamente a DQO, a cor, a turbidez e a concentração de surfactantes melhorando a qualidade do efluente que é descartado nas galerias pluviais.

As ações físicas e químicas para a desestabilização das partículas coloidais e suspensas são conhecidas como coagulação. Para esse processo são necessárias duas etapas: a mistura rápida e a mistura lenta (ANTUNES; BARBOSA, 2014).

A mistura rápida objetiva a dissipação do produto químico na água residuária, e a mistura lenta auxilia na desestabilização das partículas para a formação dos coágulos, ou seja, a floculação (LIBÂNIO, 2010).

Por conseguinte, tem-se a sedimentação que é o processo em que os flocos ficam mais robustos e são extraídos com mais facilidade.

Alguns pesquisadores e os resultados de seus experimentos são apontados no Quadro 3.

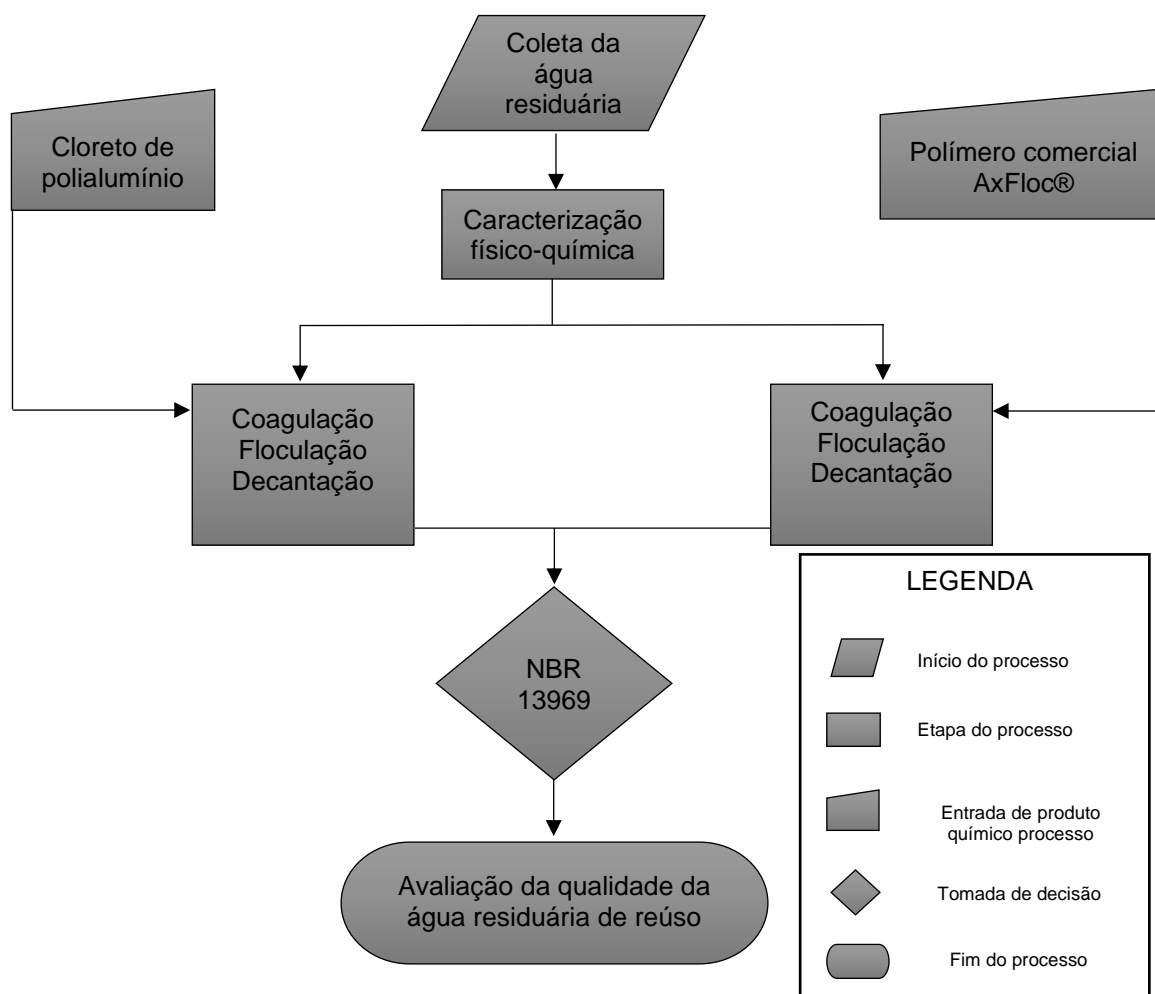
**Quadro 3** Autores com seus respectivos resultados

<b>Autor (es)</b>	<b>Tipo da água residuária</b>	<b>Tipo de tratamento</b>	<b>Melhores Resultados</b>
Aluiz (2019)	Lavagem de veículos	Coagulação, floculação e sedimentação em coluna seguido do processo Fenton.	Redução: 99% turbidez; 88% DQO; 92% matéria orgânica; 99% cor; 92% surfactante
Antunes e Barbosa (2014)	Usina canavieira	Coagulação, floculação e decantação	Redução: 90% cor; 98% turbidez.
Moazzem (2018)	Lavagem de veículos	Coagulação, floculação, sedimentação, filtração de areia, ultrafiltração de cerâmica e osmose reversa	Redução: 99,9% turbidez; 100% sólidos suspensos; 96% DQO
Amuda (2007)	Bebidas	Coagulação, floculação	Redução: 91% DQO; 99% fósforo total; 97% Sólidos suspensos totais
Boluarte (2016)	Lavagem de veículos	Biorreator de membrana	Redução: 100% sólidos suspensos; 99,2 DQO; 97,3% carbono; 41% amônia
Costa (2006)	Lavagem de veículos	Reator biológico anaeróbico	Redução: 82% DQO
Etchepare (2012)	Lavagem de veículos	Floculação-flotação em coluna, filtração em areia	Redução: 97% turbidez; 91% sólidos suspensos totais; 76% DQO; 70% DBO; 80% fósforo; 57% nitrogênio; 76% sulfetos; 51% óleos e graxas

## 4 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho é apresentada no fluxograma visualizado na Figura 5, onde estão apresentadas as etapas do sistema de tratamento, em escala de bancada, visando a obtenção de uma água residuária com qualidade de reúso, conforme valores recomendados pela NBR 13969 (ABNT,1997).

**Figura 5** Etapas experimentais do sistema avaliado para o tratamento da água residuária visando seu reúso.



Fonte: o autor.

## 4.1 Água residuária

Os lotes da água residuária foram caracterizados em todas as datas de coleta, analisados segundo os parâmetros do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998), quanto aos parâmetros:

- condutividade elétrica (método usado 2510);
- demanda química de oxigênio (método usado 5220 A);
- fósforo total e inorgânico (método usado 4500 PE);
- pH (método usado 4500-H+);
- sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis (método usado 2540 B);
- turbidez (método usado 2130).

As amostras de águas residuárias provenientes do lavador de veículos pesados foram coletadas no estabelecimento a cada 15 dias, num período de 6 meses - junho a dezembro de 2019 - a fim de analisar suas características físico-químicas e propor um tratamento eficiente para a sua reutilização.

Foram coletadas amostras em 3 pontos das caixas de separação de óleos, graxas e líquidos: caixa de entrada, caixa intermediária e caixa de saída. As coletas em pontos diferentes foram realizadas no início do estudo com a finalidade de selecionar em que ponto seriam feitos os testes de coagulação. As amostras foram conservadas em temperaturas médias de 2 °C, para a realização dos ensaios no dia seguinte à coleta.

### 4.1.1 Local de coleta da água residuária

As coletas foram realizadas no Lavauto, localizado na Rodovia PR 160 km 25,5 na cidade de Telêmaco Borba – Paraná, conforme imagem com coordenadas ilustradas na Figura 6.

**Figura 6** Imagem da localização de origem da água residuária.



Fonte: Google Earth (2020)

A cidade em que foi realizado o estudo apresenta altitude de 743 m, com clima quente e temperado, pluviosidade significativa ao longo do ano. A classificação do clima segundo a Köppen e Geiger é Cfa, conforme detalhado na Quadro 4.

**Quadro 4** A classificação do clima segundo a Köppen e Geiger

C	Clima temperados chuvosos e moderadamente quentes, onde a temperatura média varia entre -3°C e 18°C no mês mais frio;
f	Úmido o ano todo
a	Verão quente com temperaturas médias acima de 22°C

Fonte: adaptado de AYOADE (1996).

A pluviosidade média anual é 1378 mm. O mês mais seco é agosto, com média de 70 mm, e o mês de maior precipitação é janeiro com uma média de 155 mm e 22,1 °C, sendo o mês mais quente do ano. A temperatura média de julho é 14,0 °C, mês em que a temperatura é a mais baixa do ano. Quando comparados o mês mais seco tem uma diferença de precipitação de 85 mm em relação ao mês mais chuvoso. As temperaturas médias variam 8,1 °C ao longo do ano.

Foram realizados levantamentos do estabelecimento estudado, com a finalidade de conhecer e avaliar alguns aspectos ambientais relacionados à atividade,

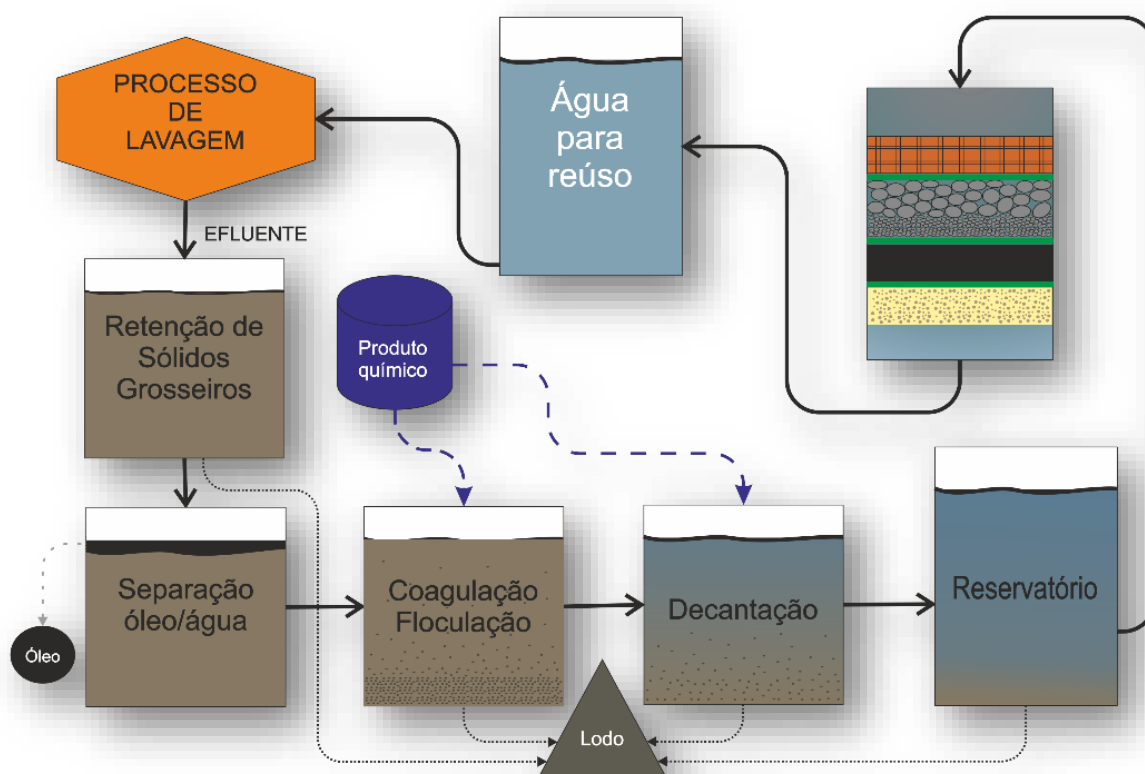


verificando-se dados como número de veículos lavados mensalmente, quantidades de produtos utilizados, número de funcionários, subprodutos gerados no processo, destinação final dos resíduos e tipos de lavagem.

#### 4.2 Descrição do sistema de tratamento de água do lavador de carros estudado

O sistema do lavador era composto por quatro tanques com o volume de 1,0 m<sup>3</sup> cada. O primeiro tanque recebia toda a água residuária proveniente da lavagem de veículos, conforme se observa na Figura 7.

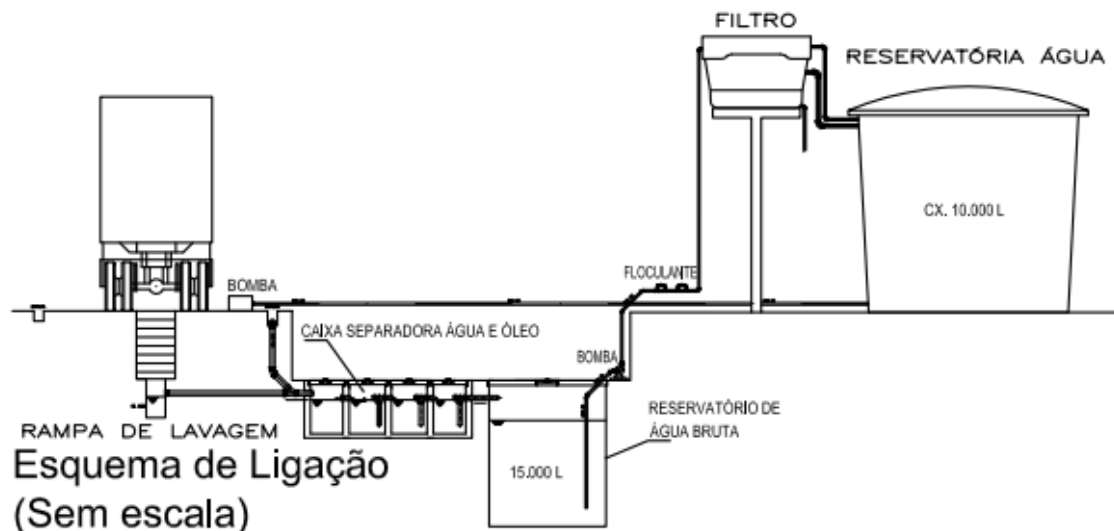
**Figura 7** Sistema de tratamento de águas residuárias do lavador de veículos estudado.



Fonte: o autor.

Os tanques que faziam a separação da água e óleo estavam localizados em desnível de 1,5 m, conforme Figura 8.

**Figura 8** Planta baixa e detalhes do sistema de tratamento de água do lavador estudado.



Fonte: o autor.

O tratamento preliminar da água residuária era realizado com gradeamento, onde ocorria a retenção dos sólidos grosseiros (na entrada do primeiro tanque); na passagem para o segundo tanque também havia uma tela de malha de aço com abertura de 3,4 cm de diâmetro com a função de retirar cascas e restos de madeira, pelo fato de os veículos lavados naquele estabelecimento trabalharem com o transporte de matéria prima para indústria de papel e celulose, instalada na região.

Após o tratamento preliminar a água residuária seguia para o processo de remoção de óleos e graxas, em que a diferença de peso específico do óleo fazia com que ele flutuasse. Assim, coletavam-se os óleos e graxas por uma calha confeccionada em PVC, pela qual eram direcionados para uma caixa de armazenamento para posterior descarte, conforme Figura 9.

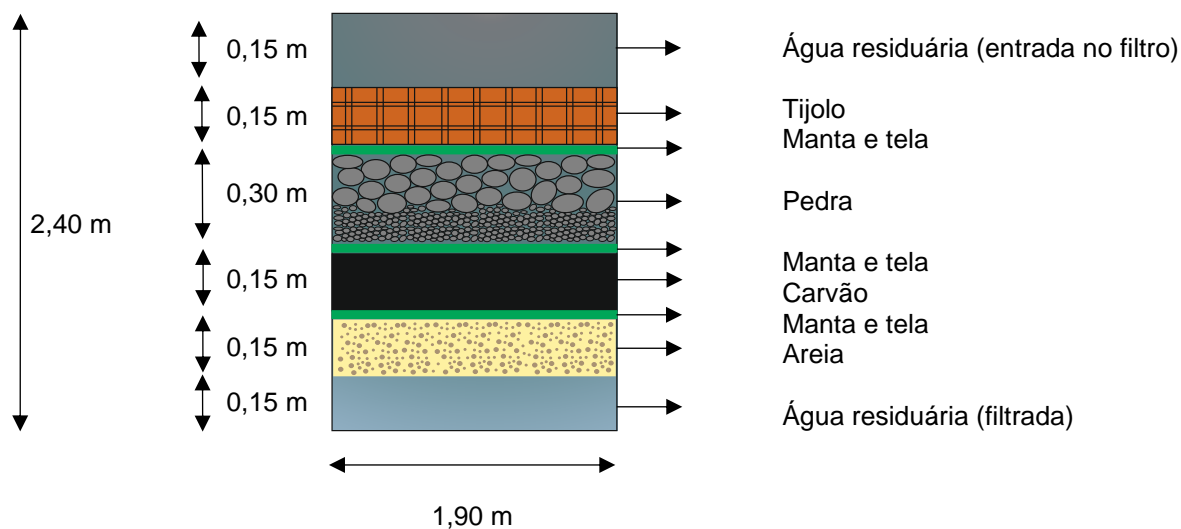
**Figura 9** Foto do tanque de separação óleo- água do lavador de veículos pesados, em que a água residuária foi coletada.



**Fonte:** o autor.

No terceiro tanque dosava-se de forma aleatória um polímero comercial AxFloc® e no tanque seguinte o clarificante Genfloc®, um auxiliar de filtração. Após esses 4 tanques a água residuária seguia para um reservatório de 15.000 L, e, então, era bombeada para o filtro composto pelas seguintes camadas (Figura 10):

**Figura 10** Esquema ilustrativo das camadas do filtro do lavador de veículos pesados.



**Fonte:** o autor.

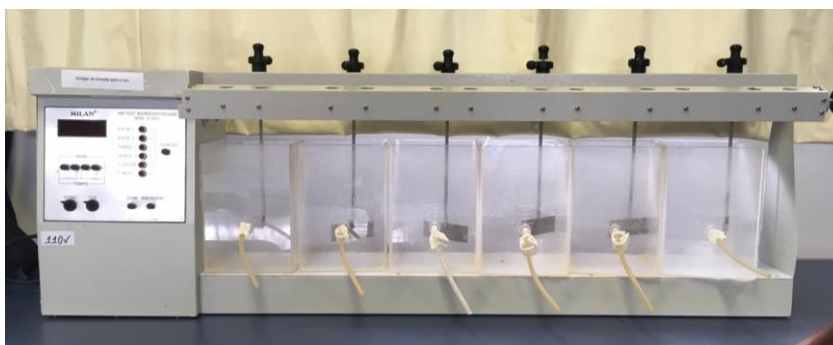
O polímero AxFloc® usado no lavador era do tipo AP 9530, que é um produto importado composto por poliacrilamidas, usado na indústria papelreira no processo de produção do papel. (AXCHEM, 2019).

O produto Genfloc® que era usado no tanque de decantação era o sulfato de alumínio que deve ser usado na dosagem de 40 g/m<sup>3</sup>, cuja ação floculante atrai eletrostaticamente as partículas de sujeira que passariam pelo meio filtrante e forma com elas flóculos grandes que o filtro passa a reter (GENCO, 2019).

### 4.3 Ensaios de coagulação, floculação e decantação

Os ensaios com variação na dosagem dos coagulantes e pH foram realizados no equipamento de teste de jarros amplamente conhecido como Jar Test (Figura 11). A variação de pH ocorreu na faixa de 7,0 a 9,0, pelo fato de a água residuária apresentar variações nesse parâmetro, quando foram coletadas.

**Figura 11** Equipamento Jar Test, em que foram realizados os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação da água residuária de lavador de veículos pesados.



Fonte: o autor.

O polímero Axfloc® foi testado entre 30 e 160 mg. L<sup>-1</sup> e o PAC de 0,1 a 2,0 g. L<sup>-1</sup>.

Quanto às velocidades, para a mistura rápida utilizaram-se 120 rotações por minuto (rpm), e para mistura lenta a velocidade adotada foi de 30 rpm, o tempo de sedimentação foi de 30 minutos.

Com os valores de velocidades e tempo de sedimentação definidos, avaliaram-se o tempo de mistura rápida (de 1 e 5 minutos) e o tempo de mistura lenta (de 10 e 20 minutos) (ETCHEPARE, 2012; MORELI, 2005; TEIXEIRA, 2003), distribuídos conforme apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** Tempos de misturas e concentrações de PAC avaliados

Tratamento	Tempo de mistura rápida TMR (min)	Tempo de mistura lenta TML (min)	Concentração de PAC (g L <sup>-1</sup> )
1	1	20	0,5
2	5	10	
3		20	
4	10		
5	1	20	0,6
6	5	10	
7		20	
8	10		

Para análise dos dados obtidos foram realizadas leituras de pH, CE e turbidez, para a determinação do tempo de mistura mais adequado para a água residuária em questão. Após a sedimentação, o sobrenadante foi analisado.

A execução do trabalho em escala laboratorial seguiu as etapas experimentais descritas a seguir:

- coleta da água residuária;
- caracterização físico-química da água residuária, com análises de condutividade elétrica, cor, DQO, fósforo total, fósforo inorgânico, pH, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis e turbidez;
- ensaios prévios no Jar Test, para escolha das velocidades de agitação, rápida e lenta e para os tempos dessa agitação (Ensaio da Tabela 1);
- ensaios para a dosagem de cloreto de polialumínio;
- ensaios para a dosagem do polímero, variaram de 30 a 160 mg L<sup>-1</sup>;
- ensaios para a dosagem mista de polímero e PAC; foram realizadas 12 (doze) combinações, conforme Tabela 2.

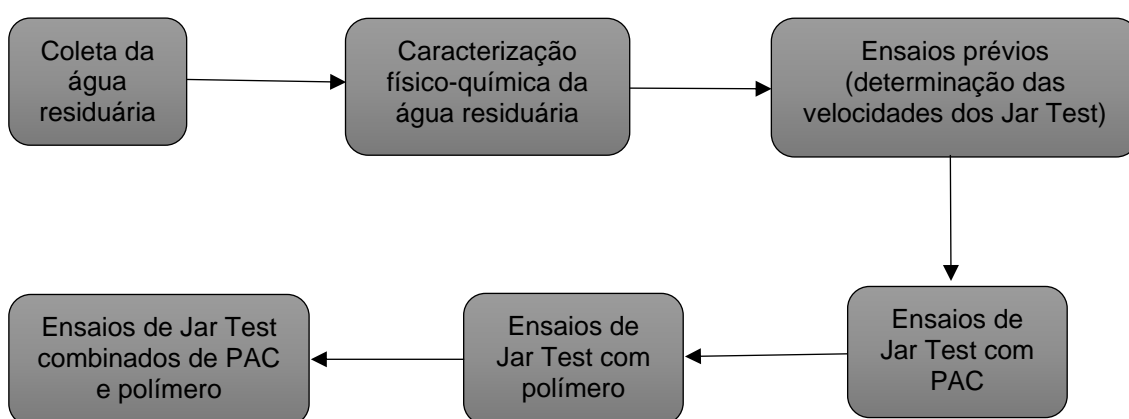
**Tabela 3** Ensaio combinados de PAC e polímero

Tratamentos	pH	Dosagens	
		PAC (g L <sup>-1</sup> )	AXFLOC (mg L <sup>-1</sup> )
1	7,17	0,30	16
2	7,17	0,50	16
3	7,17	0,30	25
4	7,17	0,50	25
5	8,17	0,30	16
6	8,17	0,50	16
7	8,17	0,30	25
8	8,17	0,50	25
9	9,17	0,30	16
10	9,17	0,50	16
11	9,17	0,30	25
12	9,17	0,50	25

Os valores de pH observados para a água residuária estudada variaram de acordo com o veículo que estava sendo lavado, pois quanto maior a quantidade de sujeira, maior o uso dos detergentes. Por isso, adotaram-se 3 faixas para esse parâmetro. As dosagens foram estabelecidas a partir de ensaios preliminares.

As etapas experimentais foram descritas na Figura 12, que dependiam uma da outra para alcançar condições e dosagens mais adequadas para o tratamento da água residuária.

**Figura 12** Fluxograma das etapas experimentais seguidas na execução do trabalho.



#### 4.4 Tratamento estatístico

Para a análise estatística dos dados apresentados fez-se um esquema fatorial 3X3 para testar os efeitos dos diferentes valores de pH e dosagens de coagulantes, para isso utilizou um delineamento inteiramente casualizados.

Com objetivo de avaliar se havia diferença entre as dosagens do produto químico (PAC e Axfloc®) e as faixas de pH (7,17;8,17;9,17), a normalidade foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk.

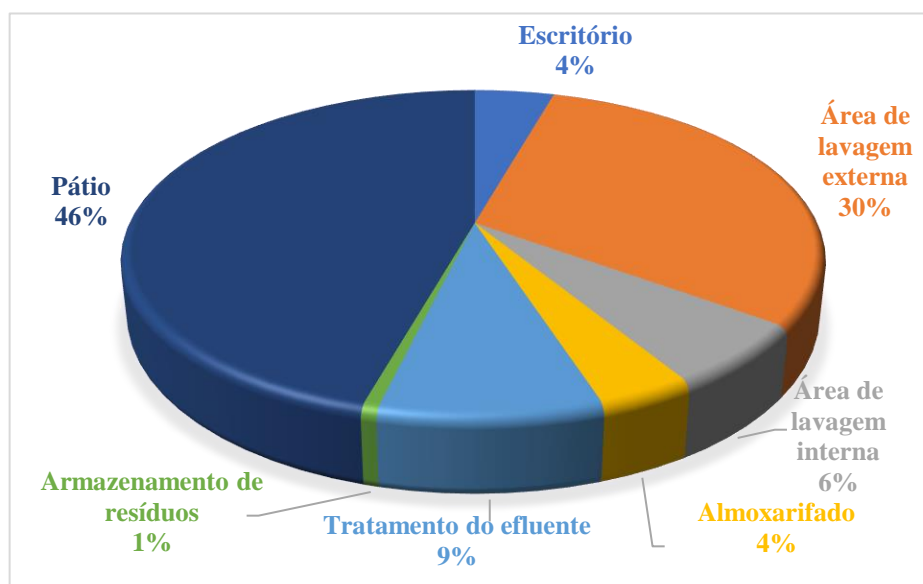
As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o *software* R e o RStudio (versão 1.1.463).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Diagnóstico de um lavador de veículos pesados

A partir de observações dos projetos apresentados pelo empreendimento e de acordo com as observações no local, a estrutura apresentava área total 800 m<sup>2</sup> (oitocentos metros quadrados), contendo as seguintes estruturas: escritório, área de lavagem externa, área de lavagem interna, depósito, almoxarifado, área destinada ao tratamento de água residuária e área de armazenamento dos resíduos, conforme Figura 13.

**Figura 13** Ocupação da área da estrutura do lavador expressa em porcentagem.



Fonte: o autor.

Os resíduos sólidos eram gerados em dois setores: lavagem e administração, e consistiam em: recicláveis (papel, plástico, papelão, metal), não recicláveis (lâmpadas) e rejeitos (papel de uso sanitário, lodo da caixa separadora).

A área destinada às lavagens internas dos veículos era totalmente coberta, piso em concreto e com canaletas interligando as caixas separadoras água e óleo, conforme Figura 14.

**Figura 14** Área de lavagem.



Fonte: o autor.

A classificação dos resíduos sólidos adotada foi baseada na NBR 10.004 (ABNT, 2004).

No Quadro 5 é apresentado um resumo da situação geral dos resíduos gerados no estabelecimento. Foram descritos todos os resíduos qualitativamente gerados desde a segregação, armazenamento, destinação e frequência de coleta.

**Quadro 5** Ponto de geração, descrição do armazenamento e destinação

Ponto de Geração	Resíduo	Segregação	Armazenamento	Destinação
Lavagem	Plástico	Sim	Tambor 200 L	Reciclagem
	Metal	Sim	Tambor 200L	Reciclagem
	Lodo (caixa separadora)	Sim	Separador água/óleo	Aterro Industrial
Administrativo	Papel	Sim	Lixeira 30L	Reciclagem
	Plástico	Sim	Lixeira 30L	Reciclagem
	Papel de Uso Sanitário/Rejeitos	Sim	Lixeira 15L	Aterro Sanitário
	Lâmpada	Sim	Tambor	Logística Reversa

O Quadro 6 traz informações da classe dos resíduos e informações quantitativas quanto à destinação dos resíduos gerados no lavador. Os resíduos classe I foram coletados por uma empresa terceirizada especializada e os demais resíduos foram coletados pela empresa que presta serviço à Prefeitura Municipal de Telêmaco Borba.



**Quadro 6** Estimativa dos resíduos gerados

Resíduo	Classe*		Quantidade (kg mês <sup>-1</sup> )	Destinação Final
Papel/Plástico/Metal	II-B	Não perigosos - não inertes	40	Cooperativa Ambiental de Telêmaco Borba
Lodo (Caixa Separadora)	I	Perigosos	50	Maranata Consultoria em Gestão Ambiental
Papel/Plástico	II-B	Não perigosos - não inertes	10	Cooperativa Ambiental de Telêmaco Borba
Lâmpada LED	I	Perigosos	4 unid.	Retorno ao fornecedor
Papel de Uso Sanitário/ Rejeitos	II-A	Não perigosos - Inertes	3,5	Aterro Sanitário Municipal

Nota: \* segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004).

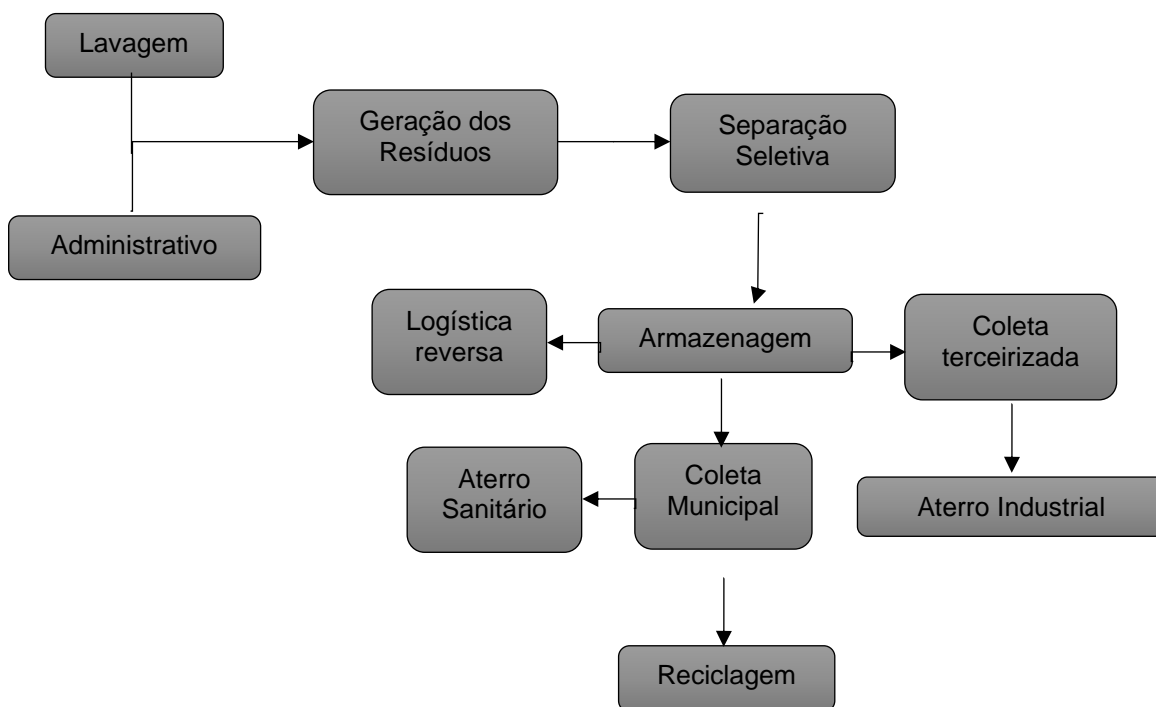
O tratamento físico-químico é de fundamental importância para a proteção ambiental, pois retira as substâncias suspensas da água residuária, porém, o lodo da caixa separadora gera o maior custo para o descarte, em média R\$ 300,00 m<sup>-3</sup>, devido à necessidade de coleta terceirizada, pois esse tipo de resíduo apresenta riscos ao meio ambiente.

Um tratamento por coagulantes à base de tanino geraria um lodo com características de maior biodegradabilidade. Com processos aprimorados de coagulação e sedimentação pode-se gerar um lodo mais enxuto, o que seria melhor economicamente e ambientalmente.

Geanezini (2015) caracterizou o lodo de uma água residuária de uma concessionária, na qual eram realizadas lavagens de veículos e, mesmo após os tratamentos de Biorremediação de Fenton, o lodo ainda apresentou substâncias com características de inflamabilidade e toxicidade, por isso o lodo foi classificado como perigoso (Classe I).

A fim de ilustrar as etapas da geração dos resíduos gerados no lavador até o destino, foi elaborado um fluxograma do trajeto, apresentado na Figura 15.

**Figura 15** Fluxograma da geração até o destino dos resíduos.



Fonte: o autor.

Após a geração de resíduos a separação seletiva era feita com base na Resolução CONAMA 275/2001 (BRASIL, 2001), que determinava a coloração dos recipientes utilizados para o armazenamento de cada tipo de material. Em seguida, as empresas responsáveis se encarregavam das destinações corretas.

## 5.2 Identificação de não conformidades

Para a identificação de não conformidades utilizou-se a ISO 14001/2015 ABNT, que define os sistemas de gestão ambiental e os requisitos com orientações para uso (ABNT, 2015).

No Quadro 7 são apresentadas algumas não conformidades observadas, seguidas de melhorias sugeridas.

**Quadro 7** Relação entre os aspectos ambientais, os impactos ambientais e as medidas de controle

<b>Aspecto ambiental</b>	<b>Impacto ambiental</b>	<b>Medida de controle operacional</b>
Armazenamento do lodo	Se armazenado de forma incorreta, em caso de eventos climáticos tais como inundações, enchentes, alagamentos, deslizamentos, movimentação de massa, entre outros, resultaria na contaminação do solo próximos como também dos corpos hídricos.	O armazenamento deve estar contido em um local protegido, para que os fatores externos não influenciem no estado físico e químico do lodo armazenado nem sua dispersão no meio ambiente.
Canaletas para transporte de água residuária para o sistema de tratamento	Se estiverem em locais impróprios ou mal dimensionadas podem: Influenciar negativamente no tratamento da água residuária, em um caso de chuva, pode fazer com que o sistema de tratamento entre em colapso, arrastar partículas, contaminar o solo não impermeabilizado, contaminar funcionários e promover desordem e contaminação local.	As canaletas devem estar em locais livres de influência de eventos climáticos e cobertas por uma grade que impossibilite o arraste de materiais grosseiros para dentro do sistema de tratamento.
Documentação	Se a documentação não estivesse atualizada, há possibilidade de o estabelecimento não estar seguindo as legislações vigentes.	Obtenção da documentação necessária perante os órgãos municipais e estaduais e se necessários federais. E, mantê-los em local sistematizado e de rápido acesso.
Sistema de tratamento da água residuária	Se o sistema não estivesse em bom funcionamento poderia ter um descarte incorreto ou até mesmo uma água para reúso fora das normas exigidas.	É necessária uma limpeza periódica e contínua no sistema para obtenção de melhor desempenho e retirada do lodo. Uma adequação do sistema de dosagem do produto e uma otimização do coagulante utilizado.

A seguir serão discutidos assuntos pertinentes às não conformidades apresentadas no quadro acima, além de alguns parâmetros a serem seguidos para uma boa eficiência do lavador.

### 5.2.1 Caixa separadora de água residuária e óleo

Após a instalação da caixa separadora de água residuária e óleo, a manutenção tornou-se periódica, toda vez que o nível máximo de lodo foi atingido. Essa manutenção inclui a coleta do óleo retido em seu interior e a remoção de particulados retidos no primeiro compartimento. Com a necessidade de gerenciamento ambiental, é essencial que o operador mantenha uma rotina de retirada do lodo. A periodicidade dessa coleta varia de acordo com a forma de

operação de cada ambiente de captação, mas para manter o bom desempenho das caixas, é necessária a limpeza periódica (MORAIS, 2009).

### *5.2.2 Educação ambiental*

A empresa deverá aplicar os princípios de pelo menos 3 R's (reduzir, reutilizar e reciclar), conforme Agenda 21 Brasileira (BRASIL, 1997). Além de adoções práticas na segregação dos resíduos, como implantar lixeiras identificadas na área de vendas e administrativo, de acordo com a Resolução CONAMA 275/2001 (BRASIL, 2001). As destinações devem ser dispostas como no Quadro 6, que apresenta um resumo da situação geral dos resíduos gerados no estabelecimento.

### *5.2.3 Redução na fonte*

Algumas propostas foram sugeridas para minimizar ou evitar a geração de resíduos como: reaproveitamento de papéis para rascunho, utilização de cartuchos recarregáveis para impressora, substituição de produtos descartáveis por produtos reutilizáveis, como copos, talheres e pratos e o uso de produtos naturais e biodegradáveis.

### *5.2.4 Treinamento para os colaboradores*

Os funcionários envolvidos com o manuseio de resíduos devem conhecer as normas e os parâmetros ambientais de suas atividades, além de estarem conscientes dos riscos e da legislação reguladora do controle desses resíduos.

O treinamento deve ser realizado no início da sua contratação e ser ratificado periodicamente.

As reuniões devem ser ministradas por profissionais qualificados e devem abordar: informações quanto às características e os riscos inerentes ao trato de cada tipo de resíduo, orientação quanto à execução das tarefas de coleta, transporte e armazenamento, utilização adequada de EPI (BALDASSO, 2011; LEAL FILHO, 2015) e procedimentos de emergência em caso de contato ou contaminação com o resíduo, tanto do trabalhador quanto do ambiente.

### 5.2.5 Sistema de tratamento

Nas visitas realizadas *in loco*, observou-se que o sistema de tratamento existente não estava em conformidade com os padrões de lançamento, previsto na Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011), conforme estabelecido no Art. 16, inciso I, alínea f, que trata da ausência de materiais flutuantes. Sendo necessários alguns ajustes no tratamento da água residuária, como a dosagem e a escolha correta dos coagulantes, para o enquadramento na legislação.

Porém, como o empreendimento específico não descarta suas águas residuárias do processo de lavagem de veículos em cursos de água ou solo ou em alguma rede de drenagem ou de esgoto, eles devem seguir os padrões de reúso, conforme estabelecido pela NBR 13969/97 (ABNT, 1997). De acordo com essa norma, as águas residuárias após o tratamento existente não se enquadrava no padrão Classe 1, ou seja, para lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto com a água, com possíveis aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes.

### 5.2.6 Identificação dos aspectos ambientais mais relevantes na empresa

Com o levantamento das não conformidades, os fatores com maior peso em relação aos impactos ambientais do estudo foram a ineficiência do sistema de tratamento da água residuária, o armazenamento do lodo e o uso não controlado de coagulantes no processo físico-químico.

A inexperiência dos colaboradores aliada à falta de treinamento fazia com que não fosse destinado apenas o lodo para a coleta dos resíduos Classe I, encarecendo essa destinação. Por isso, a frequência das coletas era maior.

Assim, a diminuição de lodo pelo controle de produtos usados no processo de coagulação era um fator importante destacado pelos operadores, a fim de minimizar os custos com o volume pago por esse lodo para destinação final.

### 5.2.7 Adequação do sistema de tratamento da água residuária

O sistema de tratamento de água residuária do lavador não possuía uma rotina de trabalho nem um produto específico com dosagem pré-estabelecida para o seu

tratamento, por essa razão foram necessários alguns estudos e levantamentos para uma otimização do processo de tratamento.

Esse fato é recorrente em vários empreendimentos que tratam seus resíduos líquidos com coagulantes químicos, uma vez que o processo requer mão de obra operacional mais aprimorada.

O treinamento dos funcionários, geralmente, ocorre com os representantes comerciais que na maioria das vezes não são técnicos em química.

As empresas compram produtos para os processos de coagulação, floculação e sedimentação de marcas diversas, de acordo com a oferta de preço. Assim, há uma variedade e falta de controle no que é usado para tratar a água residuária e, conseqüentemente gerar o lodo.

Além desses fatores, observa-se que a água residuária foi gerada com grande variação: qualitativa, em relação aos parâmetros físicos e químicos; quantitativa, de acordo com a demanda de serviços de lavagem. Isso contribui para o uso otimizado de coagulantes químicos no processo, reduzindo o seu impacto.

### **5.3 Caracterização da água residuária**

A água residuária analisada em dois pontos de entrada (E) e saída (S), em três datas diferentes: 03/06/2019 (1), 04/06/2019 (2), 05/06/2019 (3), foi coletada na entrada das caixas de sedimentação (doravante denominadas E1, E2, E3) e saída das caixas de sedimentação (denominadas S1, S2, S3). Os resultados da caracterização das amostras e a eficiência do tratamento existente no local está apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4** Resultados obtidos das análises realizadas para a caracterização da água residuária bruta e após passar pelas caixas separadoras de óleos e graxas

Parâmetro	Lote 1			Lote 2			Lote 3			Médias	
	E1	S1	Eficiência	E2	S2	Eficiência	E3	S3	Eficiência	Entrada	Saída
CE ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ )	424,80	565,30	--	595,30	517,50	--	702,50	538,40	--	574,20	540,40
Cor ( $\text{mgPtCo L}^{-1}$ )	434,00	289,00	33%	466,00	276,00	41%	499,00	415,00	17%	466,33	326,67
DQO ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ )	2254,13	1239,92	45%	1544,19	1273,73	18%	1730,13	1362,27	21%	1842,82	1291,97
Fósforo inorgânico ( $\text{mg L}^{-1}$ )	6,25	3,17	49%	7,33	5,82	21%	7,05	6,15	13%	6,88	5,05
Fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ )	6,27	3,27	48%	7,80	6,60	15%	7,76	7,20	7%	7,28	5,69
pH	7,43	7,75	--	8,05	7,33	--	8,19	8,76	--	7,89	7,95
Sólidos totais ( $\text{g L}^{-1}$ )	21,90	3,02	86%	9,30	3,76	60%	14,66	7,90	46%	15,29	4,89
Sólidos totais fixos ( $\text{g L}^{-1}$ )	18,88	2,42	87%	7,58	2,84	63%	10,20	5,00	51%	12,22	3,42
Sólidos totais voláteis ( $\text{g L}^{-1}$ )	3,02	0,60	80%	1,72	0,92	47%	4,46	2,90	35%	3,07	1,47
Turbidez (NTU)	1845,00	107,00	94%	821,00	120,00	85%	1244,00	1208,00	3%	1303,33	478,33

Fonte: o autor.

A caracterização da água residuária permitiu observar que o pH variou entre 7,3 e 8,8, de acordo com o ponto amostrado e a data de coleta. Portanto deve-se considerar essas variações reais na dosagem de coagulantes nas próximas etapas.

Apesar de os valores de pH se encontrarem dentro da faixa permitida para lançamento no corpo receptor, que é entre 5,0 e 9,0, conforme Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011), adotaram-se 3 faixas de pH (7,17; 8,17; 9,17) para estudar se haveria diferença nos resultados com adição dos produtos químicos na coagulação.

Caso a água residuária fosse lançada no rio, após o seu tratamento (mas no empreendimento usado como objeto de estudo deste trabalho, a água residuária era reusada e não lançada no rio), em relação aos valores de turbidez e cor, ambos não estariam enquadrados nos padrões de lançamento estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, para águas doces Classe 2 (BRASIL, 2005), a que pertence o rio mais próximo. Esta resolução preconiza que as águas dessa classe devem apresentar valores máximos de 40 NTU e de 75 mg Pt-Co L<sup>-1</sup>, porém, foram observadas médias superiores nos dois parâmetros tanto na entrada quanto na saída.

Para a água residuária em questão, notou-se que as caixas separadoras foram eficientes para a maioria das análises realizadas como na redução (média das 3 coletas) dos sólidos totais (86%), sólidos fixos (87%), sólidos voláteis (80%), fósforo inorgânico (49%), fósforo total (48%) e DQO (45%).

Entretanto, apesar de apresentar esses valores de eficiência, deve-se salientar que essa redução nos parâmetros não atinge valores que se enquadrem nos padrões estabelecidos pelas legislações vigentes, sendo necessária a complementação do tratamento em etapas subsequentes.

Além disso, o processo físico de sedimentação (caixas separadoras de óleos e graxas) não remove matéria orgânica dissolvida que pode ser expressa como DQO.

As amostras do lote 3 foram obtidas num período em que estava sendo realizada a limpeza das caixas, por esse motivo os valores observados foram diferentes dos lotes 1 e 2. Porém, optou-se por manter a apresentação desses valores, por remeterem a um processo real da empresa e que ocorre corriqueiramente.

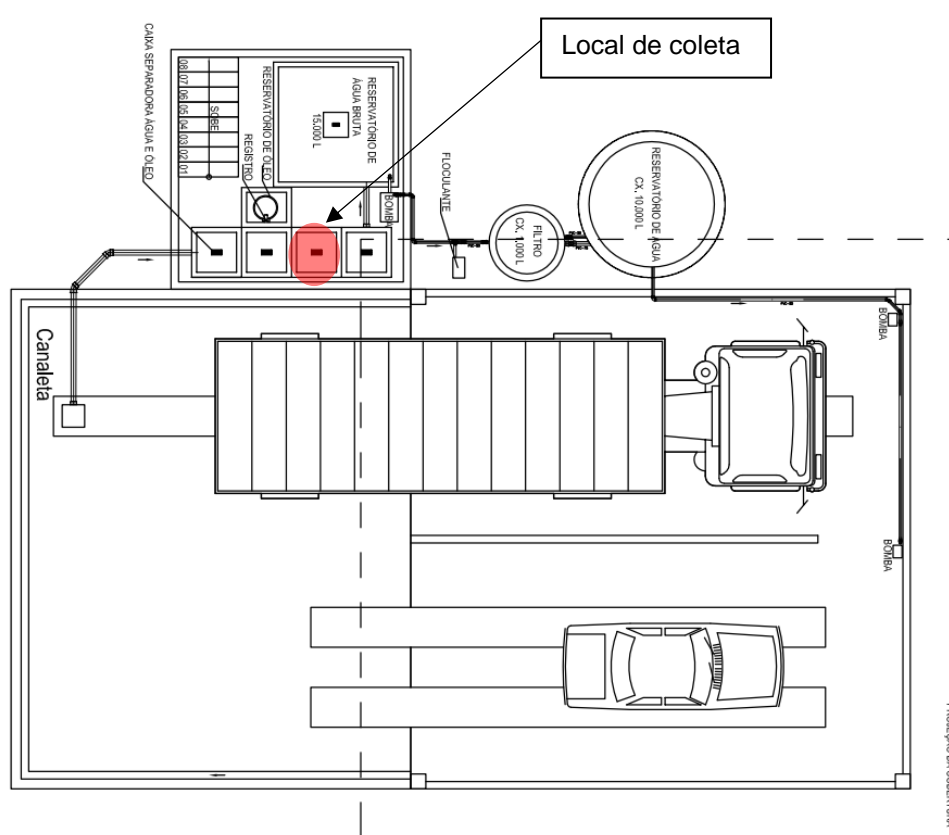
A água residuária coletada na entrada do sistema de tratamento (E1, E2, E3) continha muitos sólidos e uma quantidade excessiva de óleos e graxas, pois a coleta foi realizada antes da caixa de separação de óleos e graxas, e a coletada na saída



(S1, S2, S3) apresentou água residuária com valores mais interessantes para o tratamento e posterior reúso.

Devido a esses fatores, optou-se por coletar a água residuária em uma caixa intermediária, após a caixa separadora de óleos e graxas, como apresentado na planta baixa da Figura 16, para serem feitos os estudos físico-químicos de ensaios de coagulação, floculação e sedimentação.

**Figura 16** Planta baixa do lavador com destaque em vermelho do local das coletas da água residuária a ser usadas nos ensaios de Jar test.



**Fonte:** o autor.

Após a definição dos locais de coleta, iniciaram-se as análises do tratamento da água residuária por coagulação, floculação e sedimentação.

## 5.4 Tratamento da água residuária por coagulação, floculação e sedimentação

### 5.4.1 Ensaio preliminares das condições operacionais

Ensaio preliminares foram feitos de forma exploratória para selecionar um valor inicial de concentração de PAC, pois na literatura existe um amplo leque de concentrações como mencionado por Pimenta (2017), Constantino e Yamamura, (2009) e Aluiz (2019). Haja vista que cada água residuária tem suas características e, conseqüentemente, uma melhor dosagem em cada caso. Assim, os testes iniciaram com concentrações de PAC de 0,1 g L<sup>-1</sup>. Essa faixa de concentração foi estimada de acordo com os depoimentos de uso dos operadores do lavador de veículos pesados.

Os testes iniciais indicaram uma concentração inicial de PAC entre 0,5 e 0,6 g L<sup>-1</sup> e rotações fixas de 120 e 30 rpm. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5:

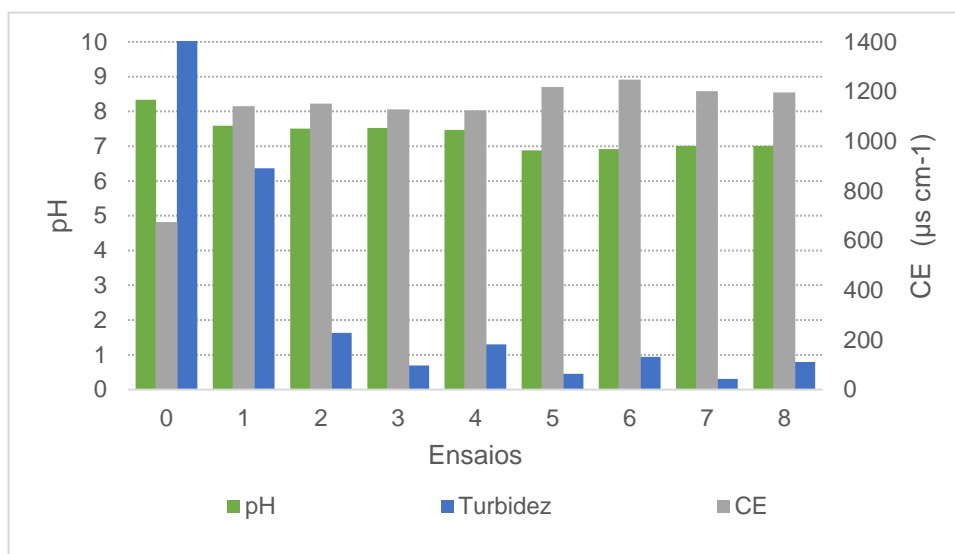
**Tabela 5** Resultados das análises de pH, CE e turbidez, após a sedimentação de 30 minutos para os tempos de misturas variáveis, conforme apresentados no Quadro 6

Tratamentos	Concentração de PAC (g L <sup>-1</sup> )	TMR (min)	TML (min)	pH final	CE (µS cm <sup>-1</sup> )	Turbidez (NTU)
Bruta	-----	-----	-----	8,34	674,13	1237,20
1	0,5	1	20	7,59	1140,67	6,36
2	0,5	1	10	7,51	1152,00	1,64
3	0,5	5	20	7,53	1128,67	0,70
4	0,5	5	10	7,47	1124,33	1,30
5	0,6	1	20	6,88	1218,33	0,45
6	0,6	1	10	6,92	1248,00	0,94
7	0,6	5	20	7,01	1202,00	0,31
8	0,6	5	10	7,01	1196,33	0,79

**Notas:** TMR- PAC - Cloreto de polialumínio; Tempo de mistura rápida; TML - Tempo de mistura lenta; CE - Condutividade elétrica.

Na Figura 17 estão representados graficamente os dados de pH, CE e turbidez relacionados com os tempos de mistura e concentração de PAC dos tratamentos apresentados na Tabela 5.

**Figura 17** Resultados de pH, CE e turbidez em relação ao tratamento.



Os valores de pH não variaram com relação ao tempo de mistura, já a turbidez e a condutividade elétrica apresentaram resultados satisfatórios nos tratamentos 3 e 7, quando se utilizaram tempos maiores tanto para a mistura rápida (5 minutos), quanto pra mistura lenta (20 minutos), com um tempo de sedimentação de 30 minutos. Valores que foram mantidos de forma fixa invariável para todos os demais tratamentos.

#### 5.4.2 Ensaio de coagulação com diferentes doses de PAC

Definidas as velocidades de 120 rpm para mistura rápida com tempo de 5 minutos, 30 rpm para a mistura lenta com tempo 20 minutos e sedimentação de 30 minutos, iniciaram-se os testes com PAC com valores de 0; 0,5; 0,6 e 0,7 g L<sup>-1</sup>. Os resultados são apresentados na Tabela 6 e representados nas Figuras 18, 19, 20,21 e 22.

**Tabela 6** Resultados dos ensaios de coagulação com 0; 0,5; 0,6 e 0,7 g L<sup>-1</sup> de PAC sob as condições fixas de mistura rápida 120 rpm/5 min, mistura lenta 30 rpm/20 minutos e tempo de sedimentação de 30 minutos

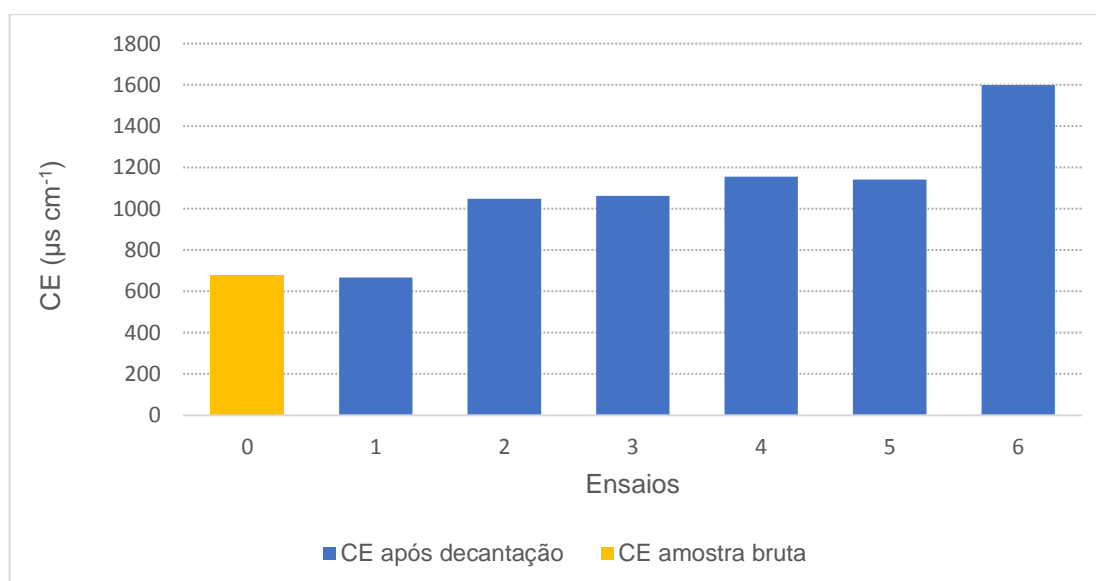
Ensaio	Dosagem PAC (g L <sup>-1</sup> )	CE (μs cm <sup>-1</sup> )	DQO (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	Fósforo Total (mg L <sup>-1</sup> )	Fósforo Inorgânico (mg L <sup>-1</sup> )	pH	Sólidos Totais (g L <sup>-1</sup> )	Sólidos Fixos (g L <sup>-1</sup> )	Sólidos Voláteis (g L <sup>-1</sup> )
0	Bruta	678,80	1050,90	2,23	1,98	8,14	1,56	1,16	0,40
1	0*	667,20	957,59	2,47	2,42	7,99	1,34	0,98	0,36
2	0,5	1049,00	91,95	0,04	0,02	5,64	0,68	0,58	0,10
3	0,5	1063,00	101,07	0,04	0,02	5,67	0,66	0,58	0,08
4	0,6	1156,00	81,70	0,03	0,03	5,20	0,76	0,60	0,16
5	0,6	1141,00	72,59	0,03	0,03	5,26	0,78	0,62	0,16
6	0,7	1599,00	137,51	0,08	0,06	4,33	1,22	0,90	0,32

Nota: \* As condições operacionais de tempos e rotações foram mantidas a fim de verificar seus efeitos na água residuária. Só não foi adicionado PAC.

Nos ensaios da água residuária sem a adição de PAC (1) não ocorreu variação nos valores, quando comparados à água residuária bruta (0). Apenas o fósforo inorgânico teve um leve aumento. Segundo Loures et al. (2006), o fósforo inorgânico é oriundo dos detergentes utilizados na lavagem; a Tabela 1 indicou a formulação dos produtos utilizados no lavador, portanto, o aumento nesse parâmetro foi devido aos efeitos mecânicos das pás do Jar Test.

O Ensaio 6, com a concentração de 0,7 g L<sup>-1</sup>, apresentou os maiores valores de fósforo total, fósforo inorgânico, menor pH (abaixo da faixa recomendada pela Resolução CONAMA 430/2011) e maior sedimentação de sólidos.

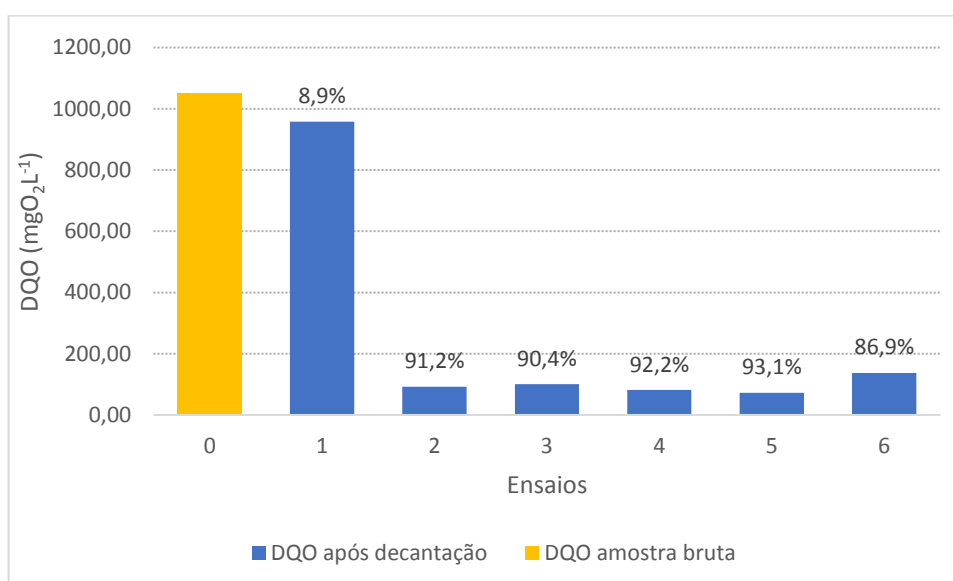
**Figura 18** Valores de CE relacionados à concentração de PAC.



A condutividade elétrica da água indica a sua capacidade em transmitir corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas (FUNASA, 2014). Quanto maior a adição de coagulante maior será a condutividade elétrica, devido aos íons de alumínio no meio da solução (LOPES, 2014). Por isso, os valores da condutividade elétrica podem ter apresentado aumento, em virtude do aumento da dosagem de cloreto de polialumínio.

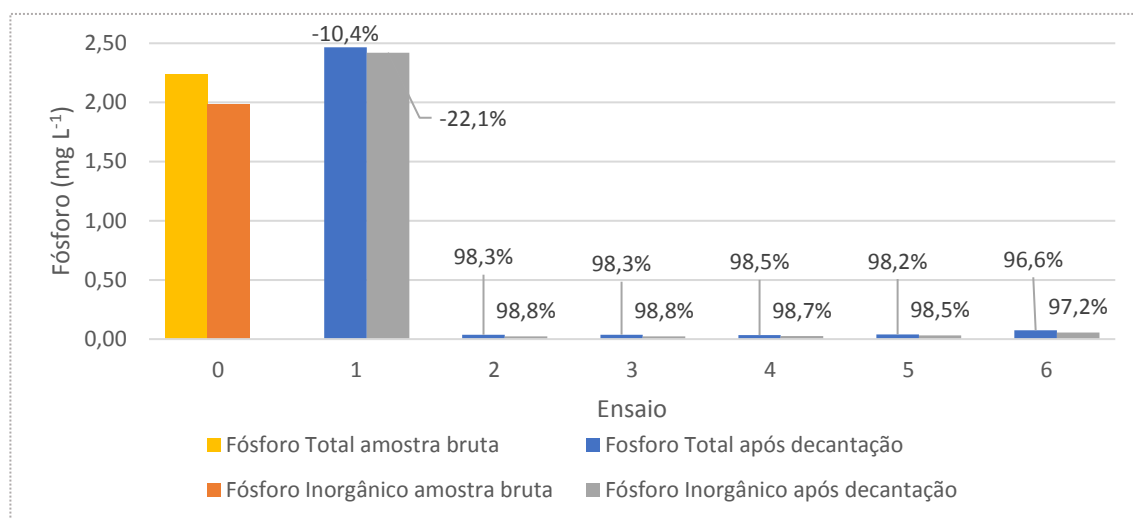
As análises de DQO para concentrações de 0,5 e 0,6 g L<sup>-1</sup> resultaram em reduções semelhantes que ficaram entre 91 e 94% de remoção de DQO nos tratamentos 2, 3, 4 e 5 (Figura 19). Para o Ensaio 6, com a maior concentração de 0,7 g L<sup>-1</sup>, houve o maior valor de DQO remanescente após o processo, o que leva a desconsiderar essa concentração para os próximos ensaios, provavelmente por esta concentração ficar além da necessidade de coagulante, sendo observado maiores sobras do PAC na água residuária após o tratamento.

**Figura 19** Valores de DQO relacionados à concentração de PAC, acima das barras expressos os valores em porcentagem da redução de DQO.



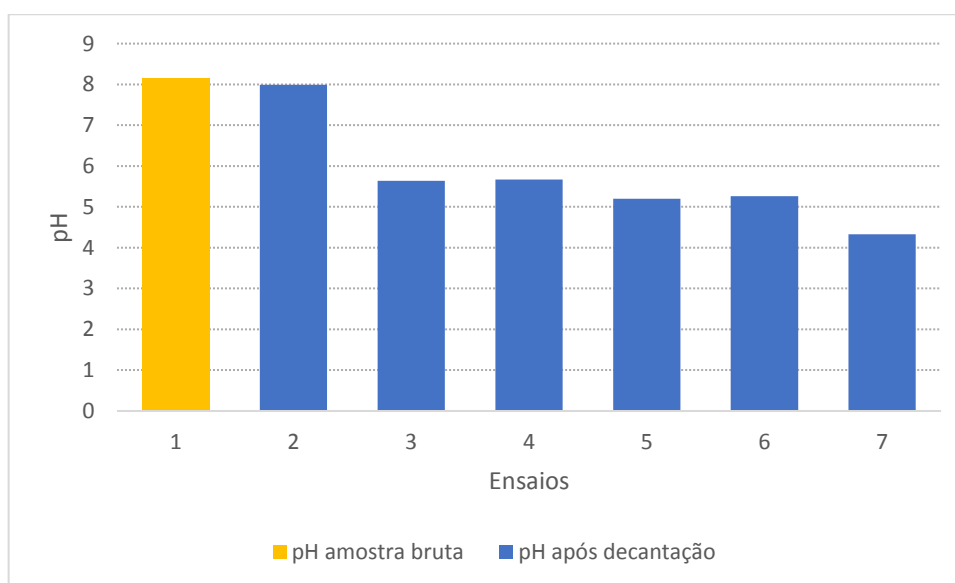
O PAC teve uma boa redução nesse parâmetro, provavelmente porque a DQO estava composta por moléculas que se encontravam suspensas com os sólidos, enquadrando nos valores para lançamento em corpo receptor Classe 1, que era inferior a 300 mg L<sup>-1</sup>, segundo estabelecido na Resolução SEDEST 3/2020 (PARANÁ, 2020a).

**Figura 20** Valores de fósforo total e inorgânico relacionados à concentração de PAC.



As análises de fósforo total e inorgânico para concentrações de 0,5 e 0,6 g L<sup>-1</sup>, resultaram em reduções semelhantes de, aproximadamente, 99%, enquadrando-se nos termos da Resolução CONAMA 357/2005, que era de 0,1 mg L<sup>-1</sup> P para ambiente lótico.

**Figura 21** Valores de pH relacionados à concentração de PAC.

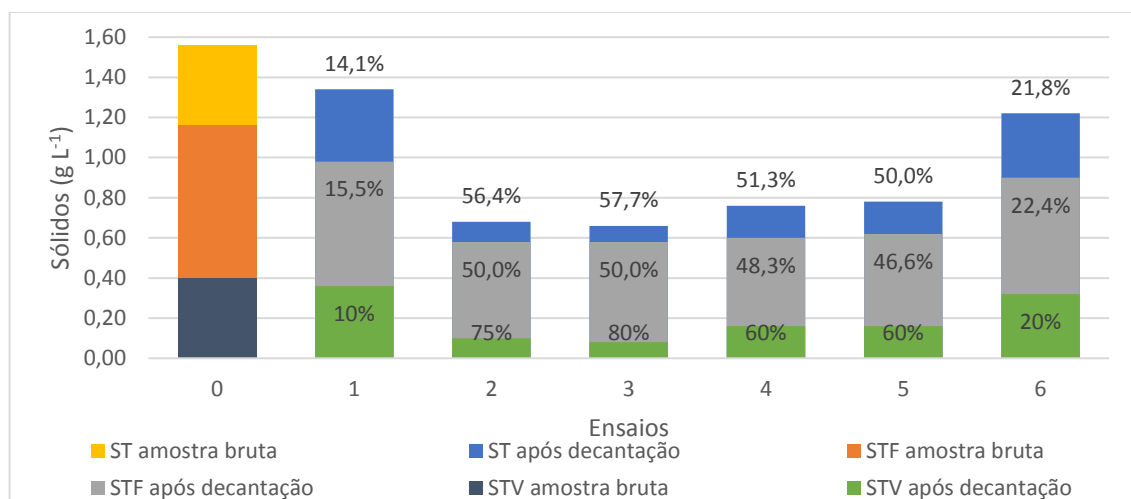


Os valores de pH para concentrações de 0,5 e 0,6 g L<sup>-1</sup> resultaram em valores que se enquadram nas normas estabelecidas para lançamento em corpo receptor (BRASIL, 2011), por este motivo a concentração de 0,7 g L<sup>-1</sup> não foi mais utilizada, pois ficou abaixo do limite inferior da norma e da Resolução SEDEST 32/2020

(PARANÁ, 2020b) que era de pH 5,0. Entretanto, os valores de pH não se enquadraram na norma de reúso NBR 13969/1997 (ABNT,1997), que estipula valores de 6 a 8.

Na Figura 22 estão apresentados os resultados da série de sólidos avaliada com amostras que receberam dosagens de 0,5; 0,6 e 0,7 g L<sup>-1</sup> de PAC.

**Figura 22** Valores de Sólidos relacionados à concentração de PAC.



As análises de sólidos totais para concentrações de 0,5 e 0,6 g L<sup>-1</sup> resultaram em reduções semelhantes. Porém, notou-se maior sedimentação quando utilizada a concentração de 0,5 g L<sup>-1</sup>. Nos ensaios 2 e 3, foram obtidos valores de 56,4 e 57,7% de redução de sólidos totais, para fixos foi de 50%, e os voláteis 75 e 80%, respectivamente. Devido a esses valores a dosagem de 0,5 g L<sup>-1</sup> de PAC foi a que apresentou maior redução dos sólidos.

Os efeitos das agitações e tempos nas amostras observados nos ensaios 0 sem adição de PAC foram insignificantes perante a amostra bruta não submetida às condições operacionais, devido à ação mecânica das agitações e tempos de mistura e de sedimentação.

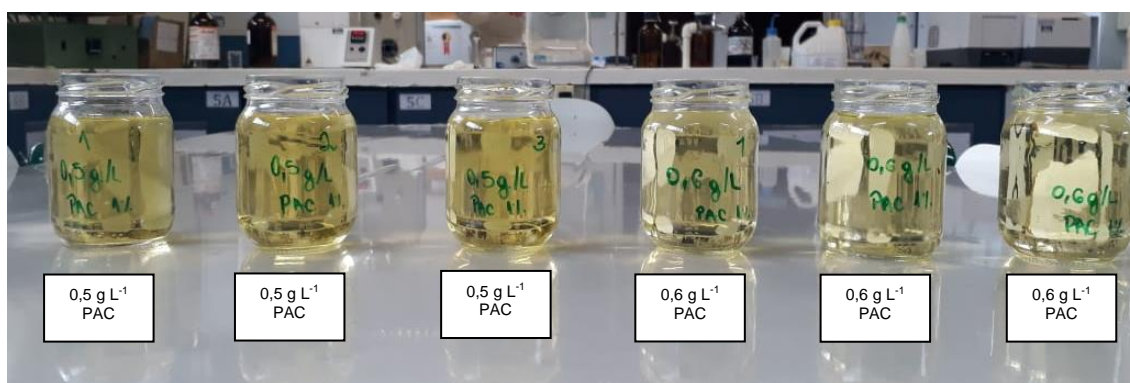
Entretanto, pode-se notar que o fósforo total e inorgânico apresentou o valor com leve aumento, devido à agitação, podendo atribuir esse evento aos componentes químicos dos produtos de lavagem que ficaram mais disponibilizados, possivelmente pela desestruturação de macromoléculas.

A partir de 0,5 g L<sup>-1</sup> de PAC, observou-se que a floculação tendeu a diminuir como observado no parâmetro ST para dosagem de 0,5 g L<sup>-1</sup> de PAC que apresentou

57% de redução e para  $0,6 \text{ g L}^{-1}$  50%, sendo, portanto, esse valor como o máximo de eficiência dos ensaios analisados.

A dosagem de  $0,6 \text{ g L}^{-1}$  resultou em dados interessantes, como os observados na Figura 23. A água residuária apresentou-se mais transparente, entretanto o valor do parâmetro pH não se enquadrava na Resolução CONAMA 430/2011 e SEDEST 32/2020, que deve estar entre 5,0 e 9,0.

**Figura 23** Comparação visual entre as dosagens de  $0,5$  e  $0,6 \text{ g L}^{-1}$  de PAC com diluição de 1%.



Fonte: o autor.

#### 5.4.3 Ensaios de coagulação com dosagens de PAC e pH inicial fixo

A variação ocorrida no pH da amostra coletada estava diretamente relacionada com veículo que era lavado no momento da coleta, quantidade de produto usado etc. Portanto, durante o processo foram observadas variações de pH da água residuária que foram testadas no processo de coagulação em laboratório. Assim, 3 faixas de pH foram avaliadas: 7,17 8,17 e 9,17.

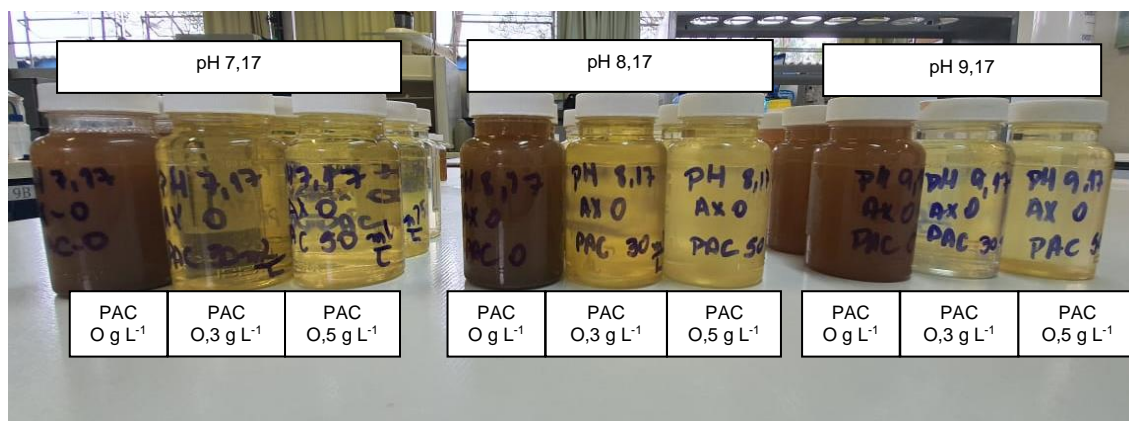
Conforme observado na seção 5.4.2, Ensaios de coagulação com diferentes doses de PAC indicaram que, para a coagulação floculação e sedimentação com PAC ser mais eficiente para essa água residuária, deve-se dosar no máximo  $0,5 \text{ g L}^{-1}$ .

Para averiguação da referida concentração, realizaram-se testes com dosagem de  $0,3 \text{ g L}^{-1}$  comparada com a dosagem de  $0,5 \text{ g L}^{-1}$ .

Elaborou-se um esquema fatorial  $3 \times 3$  para análise estatística para testar os efeitos dos diferentes valores de pH, os resultados são apresentados na Tabela 7 e Figura 24.



**Figura 24** Água residuária após o processo de coagulação floculação e sedimentação.



**Fonte:** o autor.

Para a correção do pH foram utilizados ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para reduzir o pH e soda cáustica (NaOH) para elevar.

**Tabela 7** Teste dos efeitos de diferentes pH com a mesma água residuária

Valores dos parâmetros após sedimentação	Dosagem (g L <sup>-1</sup> )	pH inicial		
		7,17	8,17	9,17
pH	0,00	7,22 aA	7,81 aA	7,82 aA
	0,30	6,45 bA	6,89 bA	6,06 bA
	0,50	5,83 bA	6,28 bA	6,39 bA
Turbidez (NTU)	0,00	2133,33 aA	2163,33 aA	1134,33 aB
	0,30	8,76 bA	4,65 bA	0,58 bA
	0,50	5,14 bA	7,31 bA	8,26 bA
CE (µs cm <sup>-1</sup> )	0,00	2060,00 aB	2113,33 aA	415,93 aC
	0,30	2216,67 bA	2580,00 bA	749,27 bA
	0,50	5493,33 bA	6083,33 bA	6423,33 bA
DQO (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	0,00	136,38 aA	134,67 aA	141,50 aA
	0,30	243,44 bB	310,64 aA	137,51 bC
	0,50	189,34 cB	307,23 bA	314,06 bA
Fosforo total (mg L <sup>-1</sup> )	0,00	0,44 aA	0,34 aB	0,14 aC
	0,30	0,10 bA	0,10 bA	0,04 bA
	0,50	0,10 bA	0,10 bA	0,06 bA
Fósforo inorgânico (mg L <sup>-1</sup> )	0,00	0,37 aA	0,37 aA	0,14 aB
	0,30	0,09 bAB	0,14 bA	0,07 bB
	0,50	0,10 bA	0,11 bA	0,11 abA
Sólidos totais (g L <sup>-1</sup> )	0,00	2,79 bAB	2,65 bA	1,18 bB
	0,30	1,34 bAB	2,86 bA	0,68 bB
	0,50	3,18 aAB	3,61 aA	3,44 aB
Sólidos totais fixos (g L <sup>-1</sup> )	0,00	2,38 aA	2,12 aA	0,92 aB
	0,30	1,15 bA	1,36 bA	0,29 bB
	0,50	2,93 cA	3,31 cA	3,26 cA
Sólidos totais voláteis (g L <sup>-1</sup> )	0,00	0,41 aA	0,53 aA	0,26 aA
	0,30	0,19 aA	1,50 aA	0,39 aA
	0,50	0,25 aA	0,30 aA	0,19 aA

**Nota:** Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente no teste de Tukey, ao nível de significância de 5%. Teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade ( $p < 0,03$ ).

Os diferentes valores iniciais de pH não interferiram estatisticamente, após a sedimentação no pH, turbidez, fósforo total, fósforo inorgânico, sólidos fixos e voláteis da água residuária em análise. O pH apresentou diferença estatística somente entre as dosagens usadas. Maior dose de PAC tendência a menor pH, exceto para o pH inicial de 9,17.

Para a condutividade elétrica a dosagem de 0 e 0,3 g L<sup>-1</sup> de PAC apresentou valores menores quando o pH foi de 7,17 e 8,17. Com a adição de 0,5 g L<sup>-1</sup> de PAC

em pH 8,17, observou-se que as médias de condutividade não diferem estatisticamente do pH 7,17 e 9,17. Porém, em pH 9,17 o valor encontrado diferiu do pH de 7,17.

Com relação aos pH iniciais, os valores de DQO se comportaram da seguinte maneira: para o pH de 7,17 as três dosagens são estatisticamente diferentes, para o pH de 8,17 as dosagens de 0,3 e 0,5 g L<sup>-1</sup> são estatisticamente iguais e a não dosagem difere das duas; para o pH de 9,17 a dosagem de 0,5 g L<sup>-1</sup> diferiu das demais.

Ainda com relação aos pH iniciais, para sólidos totais o pH de 8,17 diferiu de 9,17, em que 9,17 é estatisticamente igual a 7,17.

As dosagens de coagulante, com relação ao parâmetro pH, foram significativas tanto para 0,3 quanto para 0,5 g L<sup>-1</sup>. O mesmo resultado foi observado quando se analisou a turbidez. Para o pH 7,17 a dosagem menor foi mais eficiente, embora sejam estatisticamente iguais. Nesse pH, apenas a dosagem 0,3 g L<sup>-1</sup> se enquadrou na legislação.

As médias de condutividade elétrica, com relação à dosagem de 0 e 0,3 g L<sup>-1</sup>, não diferiram em pH de 7,17 e 8,17, sendo que no pH de 9,17 observaram-se médias menores.

Para a DQO, quando não houve dosagem, as médias foram consideradas estatisticamente iguais. Para a dosagem de 0,3 g L<sup>-1</sup> todas as médias diferiram. E, para 0,5 g L<sup>-1</sup>, as médias no pH de 7,17 são menores que as demais (8,17 e 9,17), que não diferiu estatisticamente.

Para o fósforo total e inorgânico observou-se comportamento inalterado para qualquer dosagem, sendo que somente há diferença quando não se dosou o coagulante.

Para sólidos totais sem PAC não se observou diferença da dosagem de 0,3 g L<sup>-1</sup>, portanto a dosagem de 0,5 g L<sup>-1</sup> obteve a maior média.

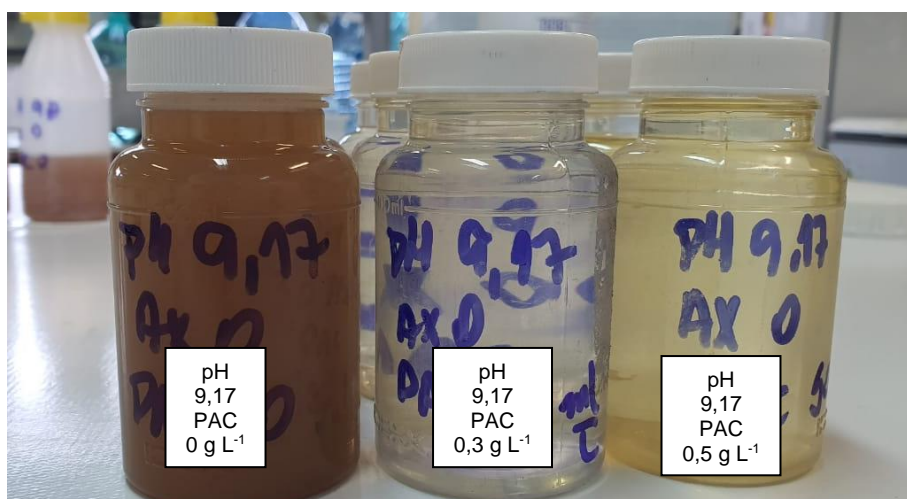
Para sólidos fixos a não dosagem e dosagem de 0,3 g L<sup>-1</sup> não diferiram em 7,17 nem em 8,17. Também não diferiram na dosagem de 0,5.

Para sólidos voláteis as dosagens não influenciaram nas médias desse parâmetro.

Os tratamentos se mostraram significativos quanto à redução dos parâmetros analisados, no entanto, devido a questões ambientais, buscam-se alternativas mais ecológicas para processos de coagulação.

Para esta água residuária os melhores resultados foram encontrados quando dosados  $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ . O pH inicial da amostra não influenciou na maioria dos parâmetros, conforme se observa na Figura 25, apenas com relação à DQO as médias foram estatisticamente diferentes, sendo que se obteve maior redução no parâmetro no pH 9,17.

**Figura 25** Resultados do ensaio de coagulação floculação e sedimentação no pH de 9,17.



**Fonte:** o autor.

Uma alternativa mais ecológica a fim de reduzir a quantidade de PAC a ser usada no processo de coagulação é seu uso combinado com polímeros, para potencializar o tratamento. O lavador de veículos estudado usava doses não controladas do polímero comercial Axifloc®.

#### 5.4.4 Ensaio de coagulação com diferentes doses de polímero comercial

A dosagem inicial da poliacrilamida, considerada como um polímero hidrogel Axifloc®, foi fornecida pela empresa e já era usada no processo de coagulação da água residuária. Utilizaram-se as velocidades já definidas, partindo então de uma concentração utilizada na empresa de  $100 \text{ mg L}^{-1}$ , segundo Monteiro (2019) responsável pelo tratamento do lavador.

A recomendação pela *National Sanitation Foundation - NSF* (2020) sobre Axifloc® produtos químicos para tratamento de água potável a fim de minimizar possíveis efeitos na saúde humana são doses de  $1,0$  a  $3,0 \text{ mg L}^{-1}$ , de acordo com o tipo do polímero.

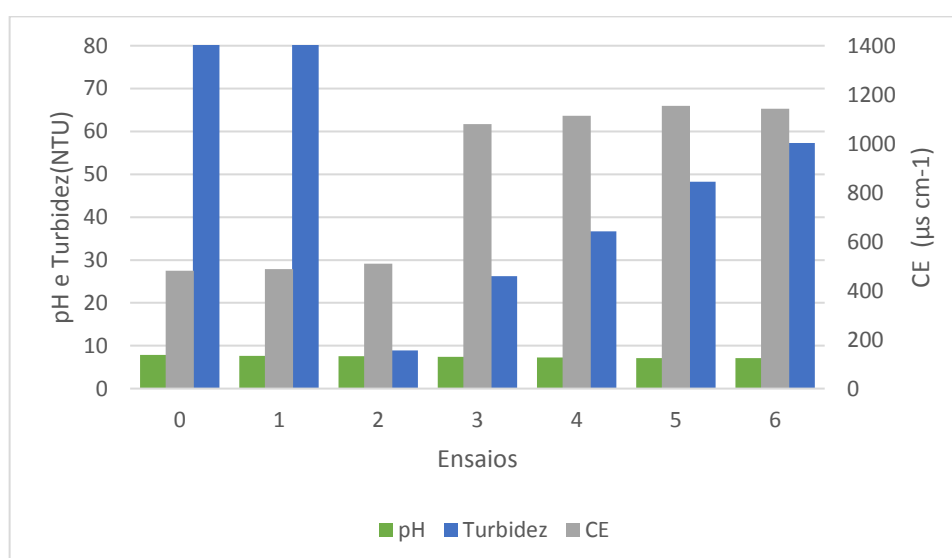
Portanto, por ser água residuária e não potável, optou-se por avaliar dosagens de 0 até 160 mg L<sup>-1</sup>, conforme apresentado na Tabela 8, que já contém os valores obtidos de CE, pH e turbidez após o processo de coagulação, floculação e sedimentação:

**Tabela 8** Valores de dosagem de polímero com os resultados após coagulação, floculação e sedimentação

Ensaio	Dosagem de AxFloc® (mg L <sup>-1</sup> )	pH	Turbidez (NTU)	CE (μS cm <sup>-1</sup> )
0	Bruta	7,83	5380	481,3
1	0	7,63	3440	487,8
2	30	7,54	8,9	510,5
3	60	7,37	26,2	1080
4	100	7,28	36,7	1114
5	130	7,13	48,3	1154
6	160	7,1	57,3	1143

Os valores obtidos pós ensaios, mostraram que a dosagem de 30 mg L<sup>-1</sup> resultou na melhor redução de turbidez e que acima desta dosagem ela tendeu a aumentar, como representado na Figura 26.

**Figura 26** Valores de dosagem de polímero com os resultados após coagulação, floculação e decantação.



Pode-se notar na Figura 26 que em concentrações maiores que 30 mg L<sup>-1</sup> (Ensaio 2) os valores dos parâmetros condutividade elétrica e turbidez aumentaram,

indicando concentração máxima do polímero para essa água residuária e, também, como apresentado na Figura 27, começou a aderência do coagulante nas pás do Jar Test.

**Figura 27** Coagulante AxFloc® aderido à pá do Jar test na concentração de  $60 \text{ mg L}^{-1}$  no ensaio 3.



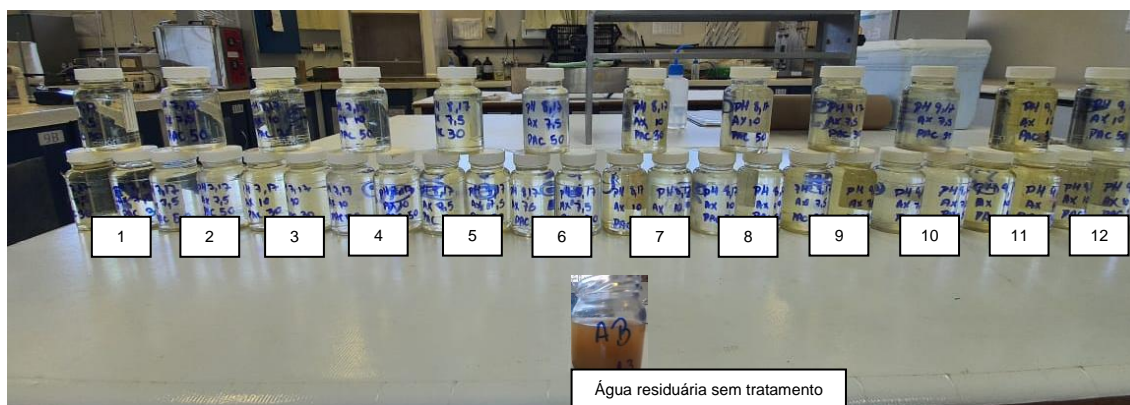
**Fonte:** o autor.

Em relação às dosagens de polímero, notou-se que não ocorreu grande variação nos valores de pH e, em relação à turbidez, a dosagem que mais se aproximou do parâmetro para reúso foi a dosagem de  $30 \text{ mg L}^{-1}$ , apresentando 8,9 NTU, enquanto que pela norma de reúso para lavagem de veículos é de até 5 NTU.

#### 5.4.5 Ensaio combinando PAC com polímero

Os resultados obtidos nos tratamentos, conforme estabelecidos na Tabela 2, são apresentados na Tabela 9 e na Figura 28 estão representados os resultados dos coagulantes combinados após os ensaios de coagulação floculação e sedimentação.

**Figura 28** Tratamentos combinados de PAC, 0,3 e 0,5 g L<sup>-1</sup>, com polímero, 16 e 25 mg L<sup>-1</sup>. Em três faixas de pH 7,17; 8,17; 9,17.



Fonte: o autor.

**Tabela 9** Resultados obtidos com os ensaios combinados de PAC com polímero

Tratamento	PAC (g L <sup>-1</sup> )	Axfloc (mg L <sup>-1</sup> )	pH	Turbidez (NTU)	CE (µs/cm)	DQO (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	Fósforo Total (mg L <sup>-1</sup> )	Fósforo Inorgânico (mg L <sup>-1</sup> )	Sólidos Totais (g L <sup>-1</sup> )	Sólidos Totais Fixos (g L <sup>-1</sup> )	Sólidos Totais Voláteis (g L <sup>-1</sup> )									
<b>1*</b>	0,30	16	5,85	de	1,73	cd	906,64	de	126,13	abc	0,03	de	0,07	de	0,55	a	0,47	ab	0,08	a
<b>2*</b>	0,50	16	4,90	gh	2,13	bcd	1133,00	a	156,31	ab	0,03	e	0,07	de	0,67	a	0,52	a	0,15	a
<b>3*</b>	0,30	25	5,39	ef	2,73	abc	936,90	d	168,27	a	0,04	cde	0,08	bcde	1,03	a	0,47	a	0,56	a
<b>4*</b>	0,50	25	4,67	h	2,94	abc	1152,00	a	66,89	cdef	0,05	bcde	0,09	ab	0,75	a	0,54	a	0,21	a
<b>5**</b>	0,30	16	6,29	cd	1,38	cd	888,23	e	36,71	ef	0,04	bcde	0,07	e	0,53	a	0,45	ab	0,08	a
<b>6**</b>	0,50	16	5,26	fg	2,32	bcd	1024,67	bc	20,77	f	0,04	cde	0,07	cde	0,58	a	0,48	a	0,10	a
<b>7**</b>	0,30	25	6,65	abc	1,41	cd	842,90	f	64,04	cdef	0,05	bcd	0,08	bcde	0,48	a	0,28	b	0,20	a
<b>8**</b>	0,50	25	5,63	ef	3,80	ab	1041,34	b	117,58	abcd	0,05	bcde	0,08	bcde	0,56	a	0,48	a	0,07	a
<b>9***</b>	0,30	16	7,09	a	1,06	cd	824,03	f	97,65	bcde	0,06	ab	0,08	abcd	0,45	a	0,36	ab	0,09	a
<b>10***</b>	0,50	16	6,49	bc	4,59	a	996,54	c	61,77	def	0,06	ab	0,08	abc	0,57	a	0,48	a	0,09	a
<b>11***</b>	0,30	25	6,84	ab	0,73	d	908,84	de	130,68	ab	0,05	abc	0,08	bcde	1,16	a	0,48	a	0,67	a
<b>12***</b>	0,50	25	6,44	bc	2,05	bcd	1021,34	bc	64,04	cdef	0,07	a	0,09	a	1,67	a	0,45	ab	1,21	a

Nota: Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente no teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

\* pH inicial 7,17

\*\* pH inicial 8,17

\*\*\* pH inicial 9,17



Nos tratamentos 2 e 4 o valor do pH ficou abaixo do permitido pela Resolução 430 (BRASIL, 2011), os demais valores todos se enquadraram. O tratamento 11 foi o que obteve o menor valor de turbidez. A condutividade elétrica do tratamento 9 apresentou o menor valor e o tratamento 4 obteve a maior média para condutividade.

O tratamento 6 apresentou o menor valor para DQO e o tratamento 3 a maior média de DQO. No tratamento 12 verificou-se a maior média para fósforo total e fósforo inorgânico e a menor média nos tratamentos 2 e 5.

Na série de sólidos, para totais e voláteis não se obteve diferença significativa entre tratamentos, portanto os tratamentos são estatisticamente iguais para esses dois parâmetros. Para os sólidos fixos o tratamento 3 obteve a maior média e o tratamento 7 a menor média.

Para o tratamento apenas com PAC da água residuária, a melhor concentração foi de  $0,5 \text{ g L}^{-1}$ , como apresentado na seção 5.4.2. Nessa condição, alguns parâmetros legais foram alcançados.

A combinação dos coagulantes estudados às dosagens de  $0,3 \text{ g L}^{-1}$  de PAC com  $25 \text{ mg L}^{-1}$  de polímero, possibilitou valores dos parâmetros analisados com qualidade para reúso.

## 6 CONCLUSÃO

Para a análise da unidade real, coletaram-se dados da empresa e de seu processo de lavagem, a fim de compor um sistema de melhoria contínua, um ciclo PDCA. Com esse sistema de gestão, toda a empresa se submete a um processo que trará vantagens em todas as áreas empresariais.

A água residuária do lavador estudado foi caracterizada e notou-se que não apresentava valores que atendessem às legislações para o descarte em corpos hídricos, como também não atendia às normatizações para reúso. Por isso, foram realizados ensaios em laboratório para a melhoria desses valores.

A variação da composição da água residuária ocorreu devido ao que se estava lavando durante a coleta das amostras, bem como nos produtos utilizados durante a lavagem e a condição do veículo a ser lavado, pois quanto mais sujo estava, maior era o consumo de produtos de limpeza, influenciando nos parâmetros da água residuária.

Em relação aos parâmetros ambientais, quando foi usado apenas o PAC, verificou-se que a água residuária poderia ser lançada no corpo receptor Classe 1, mas a Resolução Nº 3 de 2020 da SEDEST impõe a obrigatoriedade de reúso para lavadores de veículos pesados. No entanto, a água residuária também não se enquadrava nas exigências da NBR 13969 de 1997 da ABNT, em relação aos parâmetros de pH (entre 6,0 e 9,0) e turbidez (até 5,0 NTU).

O tratamento de água residuárias de um lavador de veículos pesados por processos físico-químico de coagulação floculação e sedimentação foi eficiente e se enquadrava nas legislações de descarte no corpo receptor, pois quando se utilizou  $0,5 \text{ gL}^{-1}$  de PAC, obtiveram-se reduções de 91 a 94% de DQO, aproximadamente 99% de fósforo total, 57% de ST, 50% STF e 77% STV.

A utilização do polímero comercial Axflor<sup>®</sup> apresentou resultado positivo com dosagem máxima de  $0,30 \text{ mg L}^{-1}$  e, quando dosada em combinação com PAC, auxiliou nos resultados para obtenção de água residuária.

Entretanto, devido a questões ambientais e a necessidade de atendimento às normas para o reúso, a água residuária foi submetida aos ensaios de coagulação floculação e sedimentação de PAC combinado com Axflor<sup>®</sup>, sendo que quando se

dosaram  $25 \text{ mg L}^{-1}$  o polímero permitiu uma dosagem menor de PAC de  $0,30 \text{ g L}^{-1}$ , resultando em valores dos parâmetros analisados aceitáveis para o reúso.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para estudos futuros recomenda-se:

O estudo de métodos mais econômicos da água na lavagem deste tipo de veículos;

A análise do lodo gerado pós-tratamentos com o PAC e polímero e seus possíveis aproveitamentos ou métodos de disposição final ambientalmente seguro;

O uso de coagulantes biodegradáveis para este tipo de água residuária e estudo do lodo a ser gerado;

A análise de surfactantes e outras substâncias da água residuária tratada por processos de coagulação, floculação e sedimentação.

## REFERÊNCIAS

ALUIZ, V. **Tratamento da água residuária da lavagem de veículos por coluna de sedimentação combinado com processo oxidativo avançado**. 2019. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitaria e Ambiental) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa - PR, 2019.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20. ed. Washintong DC: APHA; Water Environment Federation, 1998.

AMUDA, O.S.; AMOO, I. A. Coagulation/flocculation process and sludge conditioning in beverage industrial wastewater treatment. **Desalination**, v. 141 , p. 778 - 783, mar. 2007.

ANDRADE, L. **Como fazer PDCA passo a passo: tudo que você precisa saber**. 2017. Disponível em: <<https://www.siteware.com.br/metodologias/como-fazer-pdca-passo-a-passo/>>. Acesso em: 14 out. 2020.

ANTUNES, R. M.; BARBOSA, S. M. M. **Tratamento de resíduos e efluentes**. Caderno do curso Técnico em Agroindústria. Instituto Federal de Educação, ciência e Tecnologia do Sul-rio-Grandense. Pelotas: IFsul, 2014. Disponível em: <[http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/1468/Trat\\_Res\\_Eflu\\_WEB.pdf?sequence=1](http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/1468/Trat_Res_Eflu_WEB.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 22 nov. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004,

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997,

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 14001**: Sistema de gestão ambiental- Requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro, 2015.

AXCHEM, GROUP. **Produtos / Axfloc**. Disponível em: <<https://www.axchemgroup.com/axfloc/>>. Acesso em 12 jun. 2019.

AYOADE, J. O.; **Introdução a climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Disponível em: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxib2RlZ2FkYWdlb2dyYWZpYXxneDo1OGFkZjQ3MGRINjJiNjhhk>>. Acesso em: 15 out. 2020.

BALDASSO, L. L. **Plano de prevenção de riscos ambientais para estacionamento e lavagem de veículos automotores**. 2011. 45 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

Porto alegre - RS, UFRGS, 2011.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J. Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent. **Desalination**, v. 249, n. 1, p. 353–358, 30 nov. 2009.

BOHN, F. P. **Tratamento do efluente gerado na lavagem de veículos**. 2014. 47 f. TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Regional do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Panambi - RS, 2014. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2289/TCC.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 22 out. 2018.

BOLUARTE, A. R. et al. Reuse of car wash wastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor treatment processes. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 13, Sep. p. 44-48, 2016.

BOUSSU, K.; KINDTS, C.; VANDECASTEELE, C.; BRUGGEN, B. Van der. Applicability of nanofiltration in the carwash industry. **Separation and Purification Technology**, v. 54, p. 139–146, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. **Agenda 21 Brasileira**. Resultado da consulta nacional. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução Nº 275, de 25 de abril 2001. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores e na coleta seletiva. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, n. 117-E, Seção 1, p. 80, 19 junho 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, nº 053, p. 58-63, 18 de março de 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, n. 92, Seção 1, p. 89, 16 maio 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. FUNASA. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática

de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, 9 de março de 2006.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. 8. ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2004.

CONSTANTINO, A. F.; YAMAMURA, V. D. Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o pac. SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, Maringá - PR, 2009. **Anais eletrônicos...** Maringá: UEM, 2009. ISSN 2175 3695. Disponível em: <http://www.eventos.uem.br/index.php/simpgeu/2009/search/schedConfs>. Acesso em: 15 set. 2018.

COSTA, M. J. C. **Tratamento biológico de efluentes de lava-jato**. 2006. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, Campina grande- PB, 2006. 100 f. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/4522/1/arquivototal.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2018.

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

ETCHEPARE, R. G. **Integração de processos no tratamento de efluentes de lavagem de veículos para reciclagem de água**. 2012. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

FARIA, M. L. C. D., DUARTE, I. N., COSTA, F. M. D., FREIRE, S. D. O. B. Estudo de caso sobre o licenciamento de empreendimentos de lavagem de veículos no município de Jarú, estado de Rondônia, Amazônia ocidental. **Revista FAROCIENCIA**, v. 3, n. 2, 2 jun. 2017.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS. 2014. 1. ed, 112 p. Brasília, DF.

GEANEZINI, A. U. **Avaliação do tratamento de lodo contaminado por processos de biorremediação e oxidativo avançado fenton**. 2015. 71 f. TCC (Graduação em Engenharia ambiental) - Centro Universitário Univates, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas Ambiental, Lajeado - RS. 2015.

GENCO. **Produtos / Genfloc** Disponível em: < <http://www.genco.com.br/genfloc>>. Acesso em 13 jun. 2019.

GOOGLE EARTH. **Imagem**. Disponível em: < <https://earth.google.com/web/@-24.3160364,-50.62071172,709.42309752a,1160.8533088d,35y,0.00000001h,59.98017426t,0r>>. Acesso em: 19 dez. 2020

GORENFLO, G.; MORAN, J. W. **The ABCs of PDCA**. University of Minnesota School of Public Health. Minnesota, USA. 2009. Disponível em:

<<http://en.wikipedia.org/wiki/PDCA-accessed12/2/2009>>. Acesso em: 14 out. 2020.

HPOINT – Boas práticas. **Afinal, o que é a lavagem ecológica de carros ?** 16 mar. 2017. Disponível em: <<https://blog.hpoint.com.br/afinal-o-que-e-a-lavagem-ecologica-de-carros/>>. Acesso em: 13 out. 2020.

JUSTINA, M. DELA et al. Using vegetable tannin and polyaluminium chloride as coagulants for dairy wastewater treatment: A comparative study. **Journal of Water Process Engineering**, v. 25, p. 173-181. October 2018, Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.08.001>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

LEAL FILHO, N. R. **Gerência de riscos: estudo de caso de um posto de lavagem de veículos automotores**. 2015. 59 f. Monografia (Especialização em Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco - PR, 2015.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

LIMA JÚNIOR, R. N. . A. F. O. M. S. Produtos naturais utilizados como coagulantes e floculantes para tratamento de águas: uma revisão sobre benefícios e potencialidades. **Rev. Virtual de Química**, Niterói - RJ. v. 10, n. 3, p. 709–735, 2018.

LOPES, B. V. **Eficiência de coagulantes na remoção de diferentes concentrações de ferro e manganês para ETA terras baixas**. 2014. 51 f. TCC (Graduação em Engenharia ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS, 2014.

LOURES, A. P. S. et al. Remoção de fósforo em sistema de tratamento de esgoto doméstico, por escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 10, n. 3, p. 706-714, jul./set. 2006. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 18 out. 2020.

MOAZZEM, S. WILLS, J.; FAN, L.; RODDICK, F.; JEGATHEESAN, V. Performance of ceramic ultrafiltration and reverse osmosis membranes in treating car wash wastewater for reuse. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 9, p. 8654–8668, 10 mar. 2018.

MONTEIRO, M. Dosagem de coagulantes [mai. 2019]. Entrevistador: Eduardo A. B. de Araújo. Telêmaco Borba, 2019.

MORAES, Eliene; ALBERTIN, R. M; ANGELIS NETO, G; ANGELIS, B ; SIMÕES, F. **Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos: Comparativo entre os municípios de Maringá/PR e Santo André/SP**. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, 2., 2009, Maringá. Anais... Maringá: UEM/DEC., 2009. p. 1-11.

MORELLI, E. B. **Reúso de água na lavagem de veículos**. 2005 92 f. Dissertação



(Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2005.

NASCIMENTO, A. F. G. **A utilização da metodologia do ciclo PDCA no gerenciamento da melhoria contínua**. 2011. 38 f. Monografia (Especialização em Gestão Estratégica da Manutenção, Produção e Negócios) - Instituto Superior de Tecnologia, Faculdade Pitágoras, São João del Rei - MG, 2011.

PARANÁ, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo - SEDEST. Resolução nº 3 de 17/01/2020. Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental, estabelece condições e critérios para Posto Revendedor, Posto de Abastecimento, Instalação de Sistema Retalhista de Combustível - TRR, Posto Flutuante, Base de Distribuição de Combustíveis e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba - PR, 24 de janeiro de 2020a.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (SEDEST), Resolução 32 de 12 de maio de 2020. Estabelece condições e critérios e dá outras providências, para o licenciamento ambiental de Pátio/Estacionamento de Caminhões - Protocolo 16.546.771-0. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba - PR, 12 de maio de 2020b.

PIMENTA, A. A.; FERREIRA, J. W. S. F.; NICOLAU, R. H. G.; FURUYA, D. E. G. et al. Avaliação do sulfato de alumínio, policloreto de alumínio e cloreto férrico no tratamento de água bruta do rio Santo Anastácio. **Colloquium Exactarum**, Presidente Prudente - SP. n. 9. V. 3, p. 38-56, ago. 2017. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ce/article/view/2225>. Acesso em: 13 out. 2020.

PINTO, A. C. S. et al. Carwash wastewater treatment by micro and ultrafiltration membranes: Effects of geometry, pore size, pressure difference and feed flow rate in transport properties. **Journal of Water Process Engineering**, v. 17, p. 143–148, 1 jun. 2017.

REZENDE, A. T. **Reúso urbano de água para fins não potáveis no Brasil**. 2016. 92 f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de fora - MG, 2016.

RODRIGUES, B. C.; BARBOSA, C. D.; PERES, E. S.; SOUZA, T. V.; BRUNO, F. S. Análise da lavagem ecológica a luz dos conceitos de sustentabilidade, empreendedorismo, inovação e competitividade. **Revista de Gestão e Operações Produtivas**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.dein.eng.uerj.br/revista/download/RGOPRodriguesetal2016-2-n12v2.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, M. C.; MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINEN, M. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: a comprehensive review. **Chemosphere**, v. 190, p. 54-71, jan. 2018.

SILVA, V. C. O.; FERREIRA, R. L. Sistema de gestão ambiental: utilização do pdca para redução de custos e melhoria contínua nas organizações. **Caderno Meio**

**Ambiente e Sustentabilidade**, v. 13, n. 7, p. 132-146, 2018. Disponível em: <<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:DvYKNxz4UvgJ:https://www.uninter.com/cadernosuninter/index.php/meioAmbiente/article/download/705/906+&cd=13&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 14 out. 2020.

SIMÕES, R.; ALLIPRANDINI, D. H. Gestão da melhoria contínua: modelo de boas práticas e aplicação em uma empresa de médio porte. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP, 26 - Fortaleza, CE, outubro 2006. **Anais eletrônicos...** FORTALEZA - CE: ABEPRO, 2006.

SOUZA FILHO, D. P. **Reutilização de água residual no processo de gestão de lava jato: um estudo multicaso**. 2017. 51 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus: 2017. Disponível em: <[https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/6382/5/Dissertação\\_Delfino\\_P.\\_Souza\\_Filho.pdf](https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/6382/5/Dissertação_Delfino_P._Souza_Filho.pdf)>. Acesso em: 19 set. 2018.

TEIXEIRA, P. D. C. **Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água**. 2003. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2003. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258243/1/Teixeira\\_PrisciladaCunha\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258243/1/Teixeira_PrisciladaCunha_M.pdf)>. Acesso em: 26 out. 2018.

TORRENS, A. FOLCH, M.; SALGOT, M.; AULINAS, M. Recycling of Carwash Effluents Treated with Subsurface Flow Constructed Wetlands. In: **Constructed Wetlands for Industrial Wastewater Treatment**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2018. p. 469–492.

VASCONCELOS, D. V.; GOMES, A. Tratamento de efluentes de postos de combustíveis para o reúso usando processos oxidativos avançados. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda - RJ, v. 4, n. 11, p. 35–46, 27 mar. 2017.