



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
CAMPUS BAIXADA SANTISTA
INSTITUTO DO MAR

AVALIAÇÃO DO REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA
DA CHUVA E O REUSO DE ÁGUA EM LAVA-RÁPIDO NA BAIXADA
SANTISTA

Felipe Momensso

Orientador: Eduardo Delloso Penteadó

Santos-SP

2021

AVALIAÇÃO DO REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA
DA CHUVA E O REUSO DE ÁGUA EM LAVA-RÁPIDO NA BAIXADA
SANTISTA

Projeto de pesquisa apresentado a Comissão do trabalho de Conclusão de curso graduação em Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de São Paulo, como requisito à aprovação na unidade curricular de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Santos-SP

2021

Ficha catalográfica elaborada por sistema automatizado
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M732a Momensso, Felipe.
AVALIAÇÃO DO REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA E
O REUSO DE ÁGUA EM LAVA-RÁPIDO NA BAIXADA SANTISTA .
/ Felipe Momensso; Orientador Eduardo Penteado;
Coorientador . -- Santos, 2021.
65 p. ; 30cm

TCC (Graduação - Engenharia Ambiental) --
Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo,
2021.

1. Desenvolvimento Sustentável. 2. Recurso-
Hídrico. 3. Produção Mais Limpa. 4. Investimento. 5.
Adequação Ambiental de Empresas. I. Penteado,
Eduardo, Orient. II. Título.

CDD 628

RESUMO: A problemática da água no Brasil é marcada por perdas durante a distribuição, desperdício e desigualdades no abastecimento. O cenário futuro aponta para o crescimento econômico e fatores climáticos corroborando com o aumento do consumo desenfreado de água, os quais exigem soluções ambientais em prol da redução do uso, principalmente em atividades em que há grande consumo. Desta forma, este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade econômica da aplicação de um projeto sustentável, envolvendo o tratamento e o reuso da água utilizada nas lavagens de carros e o aproveitamento da água de chuva em lava-rápidos na cidade de Guarujá, São Paulo. A aplicação da água proveniente da captação de chuva e o reuso da água utilizada nas lavagens foram avaliadas como um único sistema em conjunto para diminuir o consumo de água nos comércios de lavagem de veículos. Para o desenvolvimento do projeto foram realizados levantamentos bibliográficos, coletas de dados climatológicos e financeiros. Posteriormente foi aplicada a metodologia de VPL (Valor Presente Líquido) para determinar a viabilidade do projeto. Foi verificado que a aplicação do tratamento de água para reuso, com o sistema de gradeamento, caixa de água e óleo (SAO) e flotação por ar dissolvido possui uma eficiência na remoção de contaminantes estimada em 95% e atende os padrões de lançamento de efluentes exigidos pelas legislações ambientais. Também foi avaliado que o sistema de reuso e o aproveitamento da água de chuva foram capazes de atender toda demanda mensal de água do lava-rápido. Com isso concluímos que este projeto possui investimento sustentável e rentável, com um retorno de investimento de 5 meses e uma TIR (taxa interna de retorno) de 9%.

Palavra-chave: Investimento, Desenvolvimento Sustentável, Recurso-Hídrico, Produção Mais Limpa, Adequação ambiental de empresas

ABSTRACT: The water problem in Brazil is marked by losses during distribution, waste, and inequalities in the supply. The future scenario points to economic growth and climatic factors corroborating the increase in the unbridled consumption of water, which requires environmental solutions to reduce its use, especially in activities where there is high consumption. Thus, this study aimed to analyze the economic feasibility of implementing a sustainable project involving the treatment and reuse of water used in car washes and the use of rainwater in a car wash in the city of Guarujá, São Paulo. The application of water from rainwater catchment and the reuse of water used in car washes were evaluated as a single system to reduce water consumption in car wash businesses. For the development of the project, bibliographic research, climatological and financial data collection was carried out. Afterward, the NPV (Net Present Value) methodology was applied to determine the project's viability. It was verified that the application of water treatment for reuse, with a system of grading, water and oil separator container (SAO), and dissolved air flotation has an efficiency in the removal of contaminants estimated at 95% and meets the standards of effluent discharge required by environmental laws. It was also evaluated that the reuse system and the use of rainwater were able to meet the entire monthly water demand of the car wash. Thus, we conclude that this project has a sustainable and profitable investment, with a return on investment of 5 months and an IRR (internal rate of return) of 9%.

Key words: Investment, Sustainable Development, Water Resources, Cleaner Production, Environmental Adequacy of Companies

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS	9
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
4. METODOLOGIA	18
4.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.2. COLETA DE DADOS.....	19
4.2.1. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	19
4.2.2. ESTUDO MERCADOLÓGICO DE LAVA-RÁPIDOS	19
4.2.3. DADOS PLUVIOMÉTRICO.....	19
4.2.4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	20
4.3. ANÁLISE DE TECNOLOGIAS PARA REUSO DE ÁGUA	21
4.4. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	21
4.4.1. CONSUMO DE ÁGUA	21
4.4.2. CAPTAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA	22
4.4.3. SISTEMA DE REUSO.....	23
4.4.4. VOLUME DO RESERVATÓRIO	32
4.5. ESTUDO FINANCEIRO.....	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	34
5.2. ESTUDO MERCADOLÓGICO	38
5.3. CAPTAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA.....	39
5.4. ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS PARA REUSO DE ÁGUA	40
5.5. DIMENSIONAMENTO.....	43
5.5.1. GRADEAMENTO	43
5.5.2. CAIXA DE ÁGUA E ÓLEO (SAO).....	44
5.5.3. FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO (FAD).....	45
5.5.4. EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO	46
5.5.5. RESERVATÓRIO	48
5.5.6. PLANTA BAIXA.....	49
5.6. ESTUDO FINANCEIRO	49

6. CONCLUSÃO.....	52
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. Introdução

A escassez de água no mundo é um problema que exige atenção de todas as pessoas do planeta. Nos últimos anos a expressão “uso racional da água”, surgiu como uma questão emergencial para conter a carência e a escassez deste recurso natural, tão essencial para a vida e para o desenvolvimento econômico. Esta expressão é definida como práticas, técnicas e tecnologias que propiciam a melhoria da eficiência do uso da água, tem estimulado a população a utilizar a água como um recurso finito e dotado de valor econômico, como prevê a lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH).

Apesar do Brasil dispor de 12% da água doce disponível mundialmente (Augusto et al, 2012), questões econômicas, climáticas e financeiras afetam na problemática deste recurso. A quantidade de água no Brasil depende em grande parte do clima e do ciclo anual das chuvas. Esta variabilidade interanual do clima, associada aos fenômenos de El Niño, La Niña ou da variabilidade na temperatura da superfície do mar podem gerar anomalias climáticas, que produzam grandes secas e afetem a disponibilidade de água, por exemplo, a escassez hídrica vivida no sudeste brasileiro entre os anos de 2013-2015. (Marengo & Silva Dias, 2006; Marengo, 2007; Marengo et al., 2008).

Paralelamente a questão climática e a fatores geoambientais, o crescimento populacional desenfreado e irregular, apoiado por um crescimento econômico, acarreta uma distribuição desigual de água. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2019, 31,1 milhões de brasileiros não tinham acesso a água fornecida por meio da rede geral de abastecimento. Em algumas regiões o desenvolvimento acelerado aumentou a gravidade de alguns problemas já existentes, pois o investimento em infraestrutura não seguiu o ritmo de crescimento populacional (CETESB, 2021).

Além da distribuição irregular dos recursos hídricos, outra problemática está associada as perdas de água nas redes de distribuição. De acordo com o Sistema

Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) ano base 2018, o Brasil tinha 38,45% de perda de água potável. Essas perdas podem estar associadas as perdas físicas, que se constituem de vazamentos devido tubulações antigas e rachaduras nos reservatórios; e as perdas aparentes, que são o roubo de água por meio de ligações clandestinas e erros de medição. Com isso há necessidade de captação da água muito maior do que o próprio consumo populacional (Carvalho et al., 2004; Dworak et al., 2007).

Diante dessas problemáticas, empresas e pessoas físicas estão cada vez inteiradas às questões ambientais, buscando maneiras de aplicar projetos sustentáveis, atrelados a uma política de redução dos impactos ambientais provocados por suas atividades. Alguns processos, como o de reaproveitamento dos efluentes tratados em seus estabelecimentos ou ainda coletando água da chuva para aproveitamento em limpeza e jardinagem, têm crescido nos últimos anos (Morelli, 2005; Cardoso et al., 2020). Assim, além de apoiar o uso racional e evitar a escassez da água, podem gerar economia financeira para seus usuários (Gomez e Teixeira, 2017).

O uso de carros e outros veículos motores como meio de transporte vem aumentando nos últimos anos devido a comodidade oferecida aos seus usuários (Moazzem et al., 2020). De acordo com os dados do IBGE (2020), o número de automóveis passou de 33,2 milhões em 2010 para mais de 58,0 milhões; o número de motos dobrou no mesmo período, atingindo a marca de 23,0 milhões rodando nas vias brasileiras. Muitos proprietários destes veículos realizam a lavagem regular para manter a limpeza em estabelecimentos comerciais ou por eles mesmo.

Os empreendimentos de lavagem de veículos utilizam uma grande quantidade de água potável que, após o uso, não é reaproveitada, e por fim é descartada nas redes de esgotos municipais após o seu uso (Telles, 2010). Geralmente, 200 litros de água são consumidos em lavagem automática e 40 a 50 L em lavagem manual dos veículos, mas há empreendimentos que podem gerar até 10000 litros de água residuária por dia, por exemplo, em um lava-rápido de Geelong, Australia (Rodriguez Boluarte et al., 2016). Segundo Moazzem et al. (2020), as instalações de lavagem de veículos de toda a Austrália consomem mais 17 milhões de m³ de água. No Brasil, de acordo com Subtil et al. (2017), estima-se que consumo mensal de água para lavagem dos veículos da frota

nacional é de 7 milhões de m³. Nos últimos anos, aumentou a preocupação com esse fato que, além de ser uma atividade comercial em que o consumo de água é muito alto, o descarte irregular de efluentes gerados pode provocar uma contaminação do meio ambiente e uma possível sanção administrativa (Subtil et al., 2017).

Em âmbito nacional esse tipo de atividade é regulamentado pela Resolução CONAMA nº 430/2011, na qual determina as características, condições e padrões de lançamento de efluentes. Além desta norma, medidas regulatórias estaduais e municipais para lava-rápidos vêm sendo aplicadas para estimular o uso racional de água. A Lei nº 9439/2010 obriga que postos de combustíveis, lava-jatos, transportadoras, empresas de ônibus e locadoras no Estado do Espírito Santo a instalem sistemas de tratamento e reutilização da água usada na lavagem dos veículos, equipamentos e instalações. No estado do Rio de Janeiro, a Lei nº 6034/2011 dispõe sobre a obrigatoriedade dos postos de combustíveis, lava-rápidos, transportadoras e empresas de ônibus urbanos intermunicipais e interestaduais, localizados no Estado do Rio de Janeiro, a instalem equipamentos de tratamento e reutilização da água usada na lavagem de veículos. No Estado de Goiás, tem Lei nº 17.582, de 08 de março de 2012 que obriga a instalação de equipamento para tratamento e reutilização da água utilizada na lavagem de veículos. O município de São Paulo criou o programa de reuso de água em lava-rápidos, no qual é regulamentado pela Lei nº 16.160/2015 que determina a obrigação de instalar sistemas e equipamentos exclusivos para captação, tratamento e armazenamento da água reaproveitada.

Já em âmbito internacional, é possível encontrar vários artigos que buscam determinar diferentes formas para tratar a água residual de lava-rápidos (Moazzem et al., 2020; Rodriguez Boluarte et al., 2016). Na Europa, foi criado um manual de boas práticas, no qual descreve as operações de lavagem de veículos, indica as legislações aplicáveis, os tipos de equipamentos que devem possuir, além de recomendarem soluções reais para minimizar o consumo e o fluxo de resíduos nesses estabelecimentos. Segundo o Guia de Boas Práticas (2016), na Holanda, Áustria, Alemanha e Escandinávia, a legislação aplicada para lava-rápidos prevê a obrigação de purificação e reuso de água em 70% nos estabelecimentos de lavagem de caminhões e ônibus que

tenham um consumo maior que 1.500 m³ por ano. Além disso, o regimento ainda recomenda o uso do máximo de água de chuva possível. Em alguns países, como a Holanda e os países Escandinavos (Noruega, Suécia, Finlândia e Dinamarca), impuseram o limite consumo de água de 60 a 70 L por veículo lavado para esse comércio (Boussu et al., 2007). Diante deste cenário, apesar da cidade do Guarujá, São Paulo não possuir nenhuma norma que regulamente o consumo de água para esses estabelecimentos, o presente estudo avaliou a aplicação de um sistema que envolve o reaproveitamento da água de chuva e o reuso da água utilizada nas lavagens em lava-rápidos.

2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a viabilidade econômica de um sistema de reaproveitamento da água de chuva e de reuso da água utilizada em lavagens de veículos nos lava-rápidos na cidade de Guarujá, São Paulo.

2.1. Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral desta pesquisa, foram propostos os seguintes objetivos específicos.

- Determinar a composição da água residuária.
- Avaliar as tecnologias existentes para o tratamento de água residuárias em lava-rápidos.
- Escolher o sistema mais adequado em nível técnico e econômico que possa ser implementado nos lava-rápidos na região de estudo.
- Dimensionar o sistema de tratamento e captação da água da chuva para um lava-rápido modelo localizado em Guarujá, São Paulo.
- Análise econômica.

3. Referencial Teórico

A finalidade dos lava-rápidos é de manter a higienização, tanto externamente quanto na parte interna do veículo, de maneira rápida. Esse serviço garante maior conservação e valorização do automóvel quando for feita revendas (SEBRAE, 2012). Essa atividade de limpeza de veículos é realizada por empresas de transportes de passageiros/cargas, como é o caso de empresas de ônibus e caminhões e também por lava-rápidos comerciais (lavagens de veículos particulares).

Nos últimos anos, os processos de enxágue manual evoluíram para processos mais sofisticados e automatizados (Al-Odwani et al., 2007). De acordo com Magalhães (2005) e Teixeira (2003), os lava-rápidos podem ser divididos em três principais tipos de lavagens de carros:

- **Lavagem tipo túnel:** Neste tipo de lavagem o veículo percorre por um equipamento de formato cilíndrico. Dentro desse sistema o automóvel passa pela área de lavagem, onde é aplicado água com surfactantes enquanto as escovas mecânicas ou jatos hidráulicos removem a sujeira. Posteriormente o veículo passa pela etapa de enxágue, enceramento e secagem. Na Figura 1 é apresentado o sistema de lavagem do tipo túnel por jatos.
- **Lavagem tipo “rollover”:** Para a lavagem do tipo “rollover” o veículo fica parado, enquanto o equipamento de lavagem se movimenta em seu entorno. A máquina normalmente possui três escovas cilíndricas que giram em torno de seu eixo enquanto realiza movimentos para frente e para trás, cobrindo todo o veículo. A Figura 2 apresenta a esquematização da lavagem do tipo “rollover”.
- **Lavagem tipo manual:** A lavagem manual é a mais conhecida no Brasil. Nesse processo a aplicação de surfactantes, o enxágue e a secagem são feitas de forma manual. No enxágue utilizam mangueiras de alta pressão de ar e água para auxiliarem na remoção de sujeiras.



Figura 1 – Lavagem do tipo túnel feita por jatos pressurizados – Teixeira (2003)



Figura 2 - Lavagem do tipo “rollover” – Teixeira (2003)

Em estabelecimentos de lava-rápidos o consumo de água varia com o tipo de veículo (carro, caminhão, ônibus), o tipo de lavagem, a quantidade de sujeira presente no veículo. De acordo com SEBRAE (2016) e Leão (2010), o consumo de água costuma

variar entre 150 e 300 litros de água para lavagens de carros populares e de 350 a 900 L por veículos pesados (Subtil et al., 2017). Na Tabela 1 são apresentados os dados de consumo médio de água para cada tipo de lavagem obtidos por Teixeira (2003).

Tipo	Capacidade (veículos/dia)	Volume consumido por unidade (L/veículo)	Descarga (m³/dia)	Perdas (evaporação e outras) (L/veículo)
Túnel	100-600 média: 250	262	75,7	7-30
“Rollover”	10-150 Média: 75	112-168	11,4	7-30
Jato manual	40-96 Média: 64	75	19,9	-

**Os valores apresentados podem ser variáveis. O sistema apresentado suporta de 5 a 12 carros por hora, e no caso do tipo manual, por conta de não ser automática, o volume utilizado depende do operador.*

Tabela 1 – Consumo médio de água em diferentes tipos de lavagem de veículos empregada nos Estados Unidos – Teixeira (2003)

As principais impurezas encontradas no efluente de estabelecimentos de lavagem de veículos são areia, óleo mineral, cera, poeira e surfactantes (Hamada e Miyazaki, 2004). De acordo com Jönsson e Jönsson (1995), Panizza e Cerisola (2010), ainda é possível encontrar graxas, desengraxantes, carbono, matéria orgânica e metais.

A origem dessas impurezas do processo de lavagem é variada e podem estar atreladas a diversos fatores. Como exemplo, os resíduos sólidos encontrados no efluente podem ser derivados da adesão de partículas do solo e asfalto à superfície dos

automóveis. Segundo Grobério et al. (2003), metais como chumbo, cobre, cádmio, manganês, e zinco, podem ser encontrados devido ao desgaste das estruturas metálicas dos veículos. O cobre que pode ser encontrado em diversas regiões dos automóveis, como na lataria, no motor, nos radiadores (Dorigon; Tessaro, 2010). Já o zinco, pode ser encontrado principalmente no pneu dos veículos (Pusch; Guimarães; Grassi, 2007). Esses metais também podem ser encontrados nos óleos lubrificantes, como aditivos (Silveira et al., 2010). Segundo Secron (2006), os resíduos oleosos constituem-se dos óleos lubrificante minerais e sintéticos, empregados na lubrificação dos motores, dos silicones, utilizados na finalização da lavagem (o famoso “*pretinho*” usado nos pneus), e dos combustíveis, como o óleo diesel e a gasolina. Uma pequena parte destes resíduos podem também ser de origem vegetal e animal, como o óleo de mamona, e são relacionados com a lavagem e com o polimento dos veículos.

Para o monitoramento das impurezas encontradas em águas residuárias de lava-rápidos, é necessário a análise de alguns parâmetros de qualidade, como pH, cor, turbidez, condutividade, sólidos dissolvidos totais (SDT), demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), carbono orgânico total (COT) e óleos e graxas (OG). Magalhães (2005) identificou valores de alguns parâmetros e substâncias tóxicas presentes em águas residuárias provenientes de diferentes tipos de lavagem (Tabela 2).

Entende-se como turbidez, a faixa de intensidade que feixe de luz sofre para atravessar o líquido, devido à presença de sólidos suspensos, que podem ser partículas inorgânicas, como areia, silte, argila e ou partículas orgânicas, como algas e bactérias que ficam em suspensão impedindo a passagem de luz. A turbidez além de ser um parâmetro que indica a qualidade estética das águas é muito importante em processos de desinfecção pelo cloro, pois essas partículas podem proteger os microrganismos, contra os agentes desinfetantes.

Parâmetros	Túnel		Rollover		Lavagem manual	
	Méd.	Max.	Méd.	Max.	Méd.	Max.
pH	8,7	9,0	7,7	7,7	7,4	8,3
DBO (mg.L ⁻¹)	42	147	20	132	69	220
DQO (mg.L ⁻¹)	178	517	135	254	238	1.120
COT (mg.L ⁻¹)	31	169	31	173	79	160
SST (mg.L ⁻¹)	101	848	158	576	659	2.970
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	20	239	9,4	188	90	404
Fósforo (mg.L ⁻¹)	1,9	24	0,41	1,9	2,8	3,2

Tabela 2 – Características de água residuária em diferentes tipos de lavagem - Magalhães (2005)

Em ambientes naturais, a matéria orgânica da água pode ser vista como parte necessária aos organismos vivos. Para os heterótrofos, está associado à sua nutrição, enquanto aos seres autótrofos, representa fonte de nutrientes e gás carbônico. Entretanto, esse parâmetro pode estar associado a alguns problemas, como o odor, coloração e turbidez e por isso, em lava-rápidos é essencial que não haja presença de matéria orgânica.

Geralmente, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) são utilizados como indicadores do teor de matéria orgânica na água. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de uma água pode ser caracterizada como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por microrganismos aeróbicos. Uma DBO alta, além de produzir sabores e odores, pode interferir no funcionamento dos filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água. Já a Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio (O₂) requerida para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico.

Por fim, os óleos e graxas estão diretamente associados aos estabelecimentos de lava-rápidos, e por conta de sua baixa solubilidade constitui um fator negativo no que se refere à sua degradação por processos biológicos. Devido isso, a sua coleta e destinação adequada no sistema de tratamento é fundamental.

Para que a prática de reuso da água em estabelecimentos de lava-rápido sejam implementadas é importante realizar um planejamento de todo o sistema, bem como detalhar as técnicas mais viáveis a serem aplicadas para o tratamento do efluente. Segundo Boluarte et al. (2016), o sistema de reuso deve ser adequado as características do efluente gerado, precisa ser compacto e deve ser viável economicamente.

De acordo com Brown (2000), o sistema de reuso de água na lavagem de veículos necessita de um tratamento prévio (separação de areia, óleos e graxas) para posteriormente realizar a separação dos outros poluentes. Estes processos e tecnologias de tratamento não convencionais são empregados com a finalidade de reter alguma partícula específica, além de melhorar a qualidade da água de reuso, e em grande parte envolve grandes investimentos, necessitam de operações específicas e de manutenção. Na Tabela 3 são apresentadas as principais técnicas e tecnologias reportadas para o tratamento e reuso de efluentes em lava-rápidos.

Desta forma pudemos verificar as três formas convencionais de lavagem de veículos, as principais características de um efluente proveniente das lavagens, bem como, a possível origem e impactos que estes podem gerar, no sistema de tratamento e no ambiente. Além disto, detalhamos os métodos e tecnologias que vem sendo empregados em âmbito mundial para o tratamento dessa água residual.

Referência	Projeto desenvolvido
Hamada e Miyazaki (2004)	<ul style="list-style-type: none"> • Escala: Real • Tecnologia: Ultrafiltração em membrana e auxílio de floculação e filtração em carvão ativado • Resultados: <ul style="list-style-type: none"> - DBO entre 2,5 e 14 mg.L⁻¹ - DQO entre 4 e 16 mg.L⁻¹ - pH, condutividade elétrica e dureza similar a água potável - E.Coli < 5 CFU/mL
W.J. Lau (2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Escala: Piloto • Tecnologia: Ultrafiltração e Nanofiltração em membranas • Resultados: <ul style="list-style-type: none"> - Membranas de nanofiltração são mais adequadas e confiáveis para ser usada quando comparada à de ultrafiltração. - Membrana de poliamida NF270, com pressão de 3 bar pode oferecer uma opção ambientalmente sustentável para lava-rápidos.
Boluarte et.al (2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Escala: Piloto • Tecnologia: Coagulação química, ozonização e biorreatores com membranas (MBR) • Resultados: <ul style="list-style-type: none"> - As MBR apresentaram resultados expressivos para tratamento de água de lava-rápidos. - Remoção de 100% dos Sólidos Suspensos Totais - Remoção de 99,2% da DQO
Subtil et al. (2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Escala: Real • Tecnologia: Contator biológico rotativo (CBR) e unidade de filtração. • Resultados: <ul style="list-style-type: none"> - Com a unidade de filtração houve uma redução de 86% de cor, 94% de turbidez e 86% de DQO.
Boussu et al. (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • Escala: Piloto • Tecnologia: Nanofiltração em membranas • Resultados: <ul style="list-style-type: none"> - Melhores resultados com membranas hidrofílicas, com pressão de 8 atm e temperatura de 293 K. - Necessidade de limpeza das membranas após a filtração
Panizza E Cerisola (2010)	<ul style="list-style-type: none"> • Escala: Bancada • Tecnologia: Oxidação eletroquímica • Resultados: <ul style="list-style-type: none"> - Remoção de 75% de DQO - Consumo energético de 0,14 kW.h/m³
Zaneti et al. (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Escala: Real

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Tecnologia: Coluna de floculação, flotação (FCF), filtração de areia e cloração• Resultados:<ul style="list-style-type: none">- Recuperação de 70% da água utilizada. |
|--|

Tabela 3 – Resumo das principais processos e tecnologias para tratamento e reuso de efluentes em lava-rápidos

4. Metodologia

Na Figura 3, é apresentado o fluxograma da metodologia empregada neste trabalho e cada um dos seus itens será explicado a seguir.

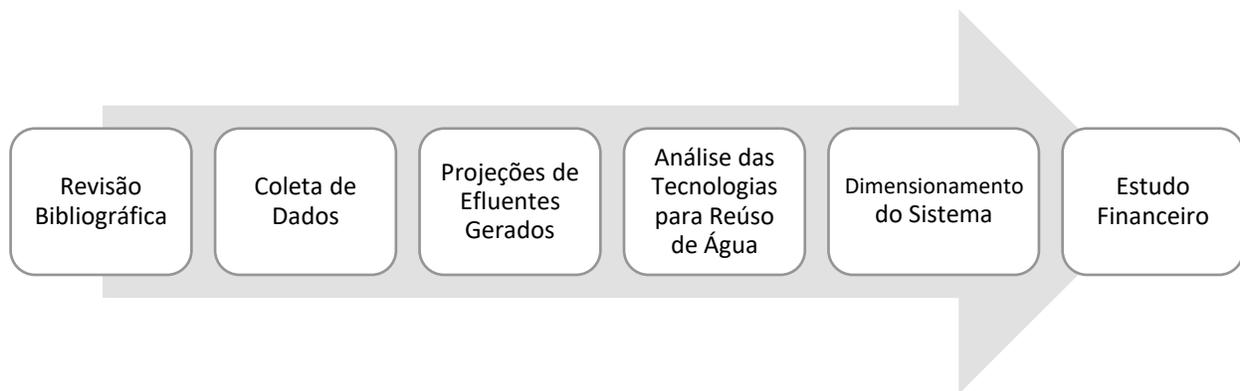


Figura 3. Fluxograma das atividades metodológicas

4.1. Revisão Bibliográfica

A fase inicial consistiu na investigação dos conhecimentos sobre o reuso e reaproveitamento da água em lava-rápidos. Para isso foram realizadas pesquisas bibliográficas por meio de artigos técnicos e científicos, teses e dissertações em bibliotecas eletrônicas, como, WebofScience, Scopus, Scielo e Google Acadêmico.

Desta forma, foram revisados os conceitos de gerenciamento de recursos hídricos, projetos sustentáveis, adequações ambientais empresas e legislações aplicadas em lava-rápidos.

Além disto, foram identificados trabalhos já existentes no qual aplicaram diferentes tecnologias e alternativas de tratamento de água para o reuso, aplicado nesse tipo de comércio.

Por fim, esta fase foi considerada uma base para as demais, pois envolveu a investigação, organização e aquisição dos materiais necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

4.2. Coleta de Dados

A segunda fase da metodologia teve como princípio a coleta de todos os dados que pudessem influenciar no desenvolvimento deste trabalho, como, a caracterização quantitativa e qualitativa da água residuária de um estabelecimento de lavagem de veículos, dados pluviométricos.

4.2.1. Parâmetros físico-químicos

Para a determinação dos parâmetros físico-químicos presentes nas águas residuais de lava-rápidos, foram realizados levantamentos bibliográficos em diversos artigos, identificando os equipamentos e tecnologias utilizadas, as legislações aplicadas e as tarifas empregadas nesse tipo de comércio.

4.2.2. Estudo mercadológico de lava-rápidos

Também foram feitas investigações em campo em dois estabelecimentos na cidade do Guarujá para determinar a quantidade média de veículos atendidos, o consumo médio de água por lavagem, o preço por lavagem e os dias de funcionamento.

4.2.3. Dados pluviométrico

Os dados pluviométricos foram obtidos a partir de uma média de precipitações utilizando como base uma série histórica de dados da cidade do Guarujá, desde 1945 até 2020 disponibilizada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) conforme apresentado na Tabela 4.

Média (1945 -2020)

Mês	Precipitação (mm)		Mês	Precipitação (mm)
Janeiro	289,22		Julho	115,21
Fevereiro	257,66		Agosto	94,58
Março	272,67		Setembro	134,13
Abril	186,22		Outubro	166,97
Maiο	160,60		Novembro	168,76
Junho	117,32		Dezembro	225,85

Tabela 4 – Média de precipitações mensais da cidade do Guarujá (Fonte: DAEE)

4.2.4. Caracterização da área

Para o estudo de caso, foi analisado o empreendimento comercial “CarArt”, localizado no bairro do Santo Antônio, Guarujá. O estabelecimento, possui apenas uma área para lavagem, e esta é feita de forma manual. Nas Figuras 4 a e b é possível identificar a área do lava-rápido e o local onde é feita a limpeza dos automóveis.

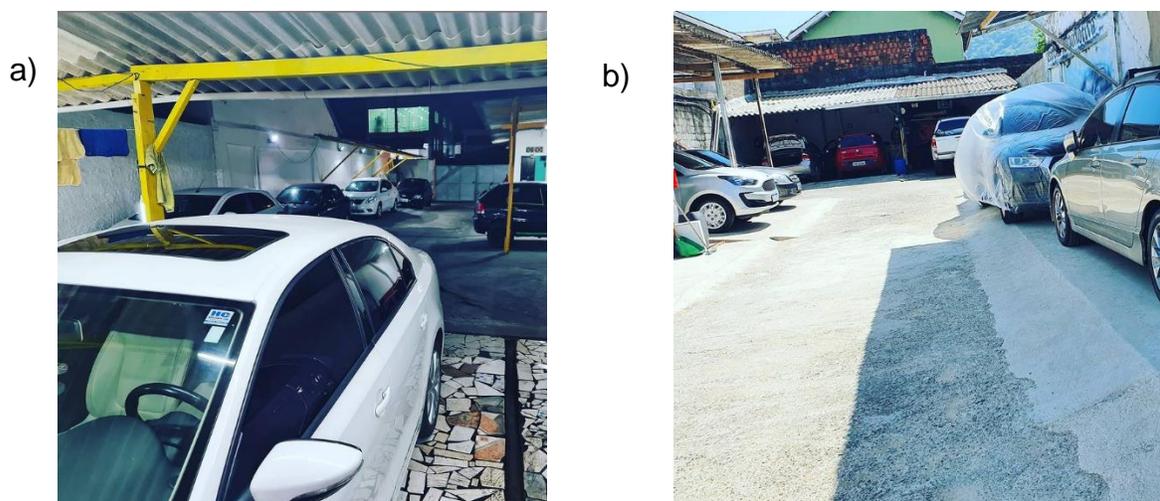


Figura 4. Local de lavagem dos veículos (a) e área de pátio de manobras (b)

4.3. Análise de Tecnologias para Reuso de Água

A análise das tecnologias consistiu na avaliação das possibilidades já existentes na bibliografia de tratamento da água para reuso. A escolha do sistema adotado neste trabalho foi dependente da quantidade de efluentes gerados, das características físico-químicas do lava-rápido e da praticidade no manuseio do sistema.

4.4. Dimensionamento do Sistema

Após a escolha da tecnologia mais apropriada para o de reaproveitamento da água de chuva e de reuso da água utilizada em lavagens de veículos nos lava-rápidos lava-rápido, foram feitos o dimensionamento e o detalhamento do sistema.

4.4.1. Consumo de Água

Para determinar a demanda de água do estabelecimento comercial de lavagem de veículos modelo, foi considerada a fórmula apresentada na Equação 1, que relaciona a quantidade de veículos atendidos e a quantidade de água gasta por veículo.

$$Q = V \times C \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

Q: Vazão da demanda de água do estabelecimento comercial de lavagem de veículos (m^3d^{-1});

V: Número médio de veículos atendidos por dia;

C: Consumo médio por lavagem ($\text{m}^3/\text{veículo}$).

4.4.2. Captação da água da chuva

O volume de chuva obtido através da captação no telhado foi calculado aplicando-se o método prático australiano descrito em De Amorim & De Andrade Pereira (2008), com a equação 2 que relaciona a área de coleta e a diferença entre a precipitação e a interceptação. A área de captação consiste em uma cobertura de 140m² de telhas (Figura 5)

$$Q = A \times C(P - I) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Q: Volume mensal produzido pela chuva (m³);

A: Área de captação (m²);

C: Coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

P: Precipitação média mensal (mm);

I: Interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm.

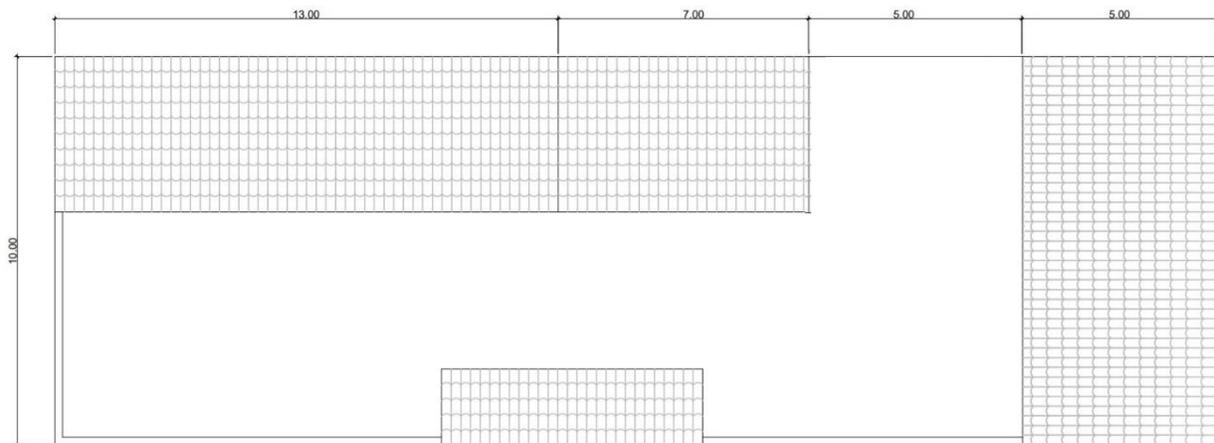


Figura 5. Planta baixa da cobertura de telhas do lava-rápido

4.4.3. Sistema de reuso

O sistema de reuso da água utilizada nas lavagens é composto por três etapas, sendo ela o gradeamento, caixa de água e óleo (SAO) e pôr fim a flotação por ar dissolvido (FAD).

4.4.3.1. Gradeamento

O tratamento preliminar é formado pelo gradeamento e será instalado no final da canaleta. Esta canaleta está presente no entorno da área de lavagem e tem a função de coletar toda água utilizada durante o enxague. As grades instaladas têm o objetivo de remover os objetos grandes, como tecidos e folhas que são arrastados pela água.

A norma ABNT NBR 12.209 (2011) classifica as grades, de acordo com o espaçamento entre as barras, em grossa, média ou fina. Para este projeto, foi considerado a grade fina, pois é apropriada na remoção dos sólidos de tamanho reduzido presentes na água residuária. O espaçamento adotado entre as barras no projeto foi de 15 mm, corroborando com o indicado pela norma, onde cita que o espaçamento para grades finas deve ficar entre 10 e 20 mm. Seguindo os valores sugeridos por Jordão e Pessoa (2005), as barras adotadas são de formato retangular com 8 mm de espessura e 3,81 mm de largura.

A eficiência das grades pode ser calculada seguindo a Equação 3 que relaciona o espaçamento entre as barras e a espessura delas:

$$E = \frac{a}{a+t} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

E: Eficiência da grade (%);

a: Espaçamento entre as barras (m);

t: Espessura das barras (m).

Foi adotado uma velocidade do efluente através da grade de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$, para evitar a decantação e o arraste de sólidos. O valor assumido está de acordo com a velocidade sugerida por Dacach (1991), sendo ideal o valor entre 0,4 e $0,75 \text{ (m.s}^{-1})$. O cálculo da área útil da grade, que é a área livre entre as barras onde a água residuária escoar, é dado por meio da Equação 4:

$$Au = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{Vg} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

Au: Área útil da seção transversal da grade (m^2);

Qmáx: Vazão máxima ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$);

Vg: Velocidade do efluente através da grade (m^2)

A área da seção transversal da grade pode ser calculada através da equação 5:

$$Sg = \frac{Au}{E} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

Au: Área útil da seção transversal da grade (m^2);

Sg = Área transversal da grade (m^2).

O canal de escoamento adotado será de concreto em estado regular, com o coeficiente de rugosidade, n , da fórmula de Manning, igual a 0,015. O valor de declividade de fundo foi adotado em 0,01% e a largura do canal em 0,1 metros. Com esses valores definidos calcula-se o valor de K_2 seguindo a fórmula de Chézy-Manning, apresentada na Equação 6.

$$K_2 = \frac{nQ}{b^{8/3}\sqrt{I_0}} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

K_2 = Coeficiente;

n = Coeficiente de rugosidade;

Q = Vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

b = Largura do canal (m);

I_0 = Declividade de fundo (mm^{-1}).

A altura da lâmina da água no canal foi calculada seguindo a equação 7:

$$Y_0 = K_2 \times b \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

Y_0 = Altura da lâmina da água (m);

K_2 = Coeficiente;

b = Largura do canal (m).

A partir da altura da lâmina da água foi possível identificar qual a velocidade a montante do sistema seguindo a Equação 8:

$$V_o = \frac{Q}{(b \times Y_o)} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

b= Largura do canal (m);

Y_o= Altura da lâmina da água (m);

V_o= Velocidade a Montante (m.s⁻¹).

A perda de carga através da grade foi verificada através da fórmula de Kirschmer (Equação 9).

$$\Delta H = K \times \left(\frac{t}{a}\right)^{1,33} \times \text{sen}(\theta) \times \frac{V_o^2}{2 \times g} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

ΔH: Perda de carga (m);

K: Fator que depende da forma da seção das barras (retangular = 2,42) (Jordão e Pessoa, 2005);

θ: Ângulo de inclinação da grade com a horizontal (grau);

V_o: Velocidade a montante da grade (m.s⁻¹);

g: Aceleração da gravidade = 9,81 (m.s⁻²).

a: Espaçamento entre as barras (m);

t: Espessura das barras (m).

O número de barras pode ser obtido através da relação entre a largura do canal (b) e soma do espaçamento entre as barras (a) e a espessura das barras (t) (Equação 10):

$$nb = \frac{b}{a+t} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

Nb= Número de barras;

b= Largura do canal (m);

a: Espaçamento entre as barras (m);

t: Espessura das barras (m).

4.4.3.2. Caixa de água e óleo (SAO)

As caixas de água e óleo são equipamentos formados por um tanque retangular formado por placas paralelas, que tem como o objetivo interceptar o escoamento do óleo por meio de uma barreira.

Para dimensionar o separador, foram adotados alguns parâmetros. De acordo com Schworbel (1971), foi considerado para a viscosidade absoluta da água a 20° C o valor de $1,002 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$. A densidade da água e do óleo foi adotado em 997,00 e 800,00 (kg.m^{-3}) respectivamente, estando em conformidade com o Manual de Química e Física do CRC (Handbook of Chemistry and Physics) (1977). O diâmetro do glóbulo do óleo foi adotado conforme Carvalho e Kruk (2013) em 0,00015 m. Com esses valores indicados, foi possível calcular a velocidade de ascensão das partículas de óleo seguindo a equação indicada na Lei de Stokes (Equação 11):

$$vl = \frac{g}{18\mu} (\rho a - \rho 0) D g^2 \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

vl : Velocidade de ascensão (m.s^{-1});

μ : Viscosidade dinâmica da água ($\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$);

ρa : Densidade da água (kg.m^{-3});

ρo : Densidade do óleo (kg.m^{-3});

Dg : Diâmetro do glóbulo do óleo presente (m);

g : Aceleração da gravidade = $9,81 \text{ m.s}^2$.

A velocidade horizontal, segundo a norma ABNT NBR 14.063 de 1998, indica que para esse tipo de separador, a velocidade horizontal deve ser 15 vezes maior que a velocidade de ascensão do glóbulo de óleo crítico, portanto calculou-se a velocidade horizontal a partir da Equação 12:

$$vh = 15 vl \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

vh : Velocidade horizontal (m.s^{-1});

vl : Velocidade de ascensão (m.s^{-1}).

A partir da velocidade horizontal é possível calcular a área transversal do separador como a razão entre a vazão afluente e a velocidade horizontal, conforme apresentado na Equação 13.

$$Ss = \frac{Q}{vh} \quad \text{(Equação 13)}$$

Onde:

Ss: Área transversal do separador (m²);

vh: Velocidade horizontal (m.s⁻¹);

Q: Vazão do líquido afluyente (m³.s⁻¹).

O comprimento do separador é calculado com o uso da tabela de Tomaz (2008) que correlaciona o fator de turbulência (F) com a relação entre a velocidade horizontal e a velocidade de ascensão. Seguindo a tabela indicada, chegamos ao valor de turbulência igual a 1,64. Portanto o comprimento da caixa SAO foi calculado a partir da Equação 14.

$$Ls = F \cdot \frac{vh}{vl} \cdot \frac{Ss}{bs} \quad \text{(Equação 14)}$$

Onde:

Ls: Comprimento do separador (m);

F: Fator de turbulência;

Ss: Área transversal do separador (m²);

vh: Velocidade horizontal (m.s⁻¹);

vl: Velocidade de ascensão (m.s⁻¹).

bs: Largura do separador (m).

Por fim foi calculado o tempo de detenção hidráulica (θh) do separador de água-óleo a partir da relação do volume do separador e da vazão afluyente, conforme a Equação 15.

$$\theta h = \frac{V}{Q} \quad (\text{Equação 15})$$

Onde:

θh : Tempo de detenção hidráulica (s);

Q: Vazão do líquido afluyente ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

V: Volume do separador (m^3).

4.4.3.3. Flotação por ar dissolvido (FAD)

O método da flotação por ar dissolvido (FAD) tem se apresentado como um dos mais eficazes para a remoção de sólidos e óleos, além de contribuir para redução de DBO. Segundo Etchepare, (2012) este é o tipo de flotação mais utilizada para tratamento de água e de água residuária.

Para o dimensionamento da FAD, foi adotado uma taxa de aplicação superficial de $200 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ e uma taxa de recirculação de 50%, segundo Richter (2009). Assim, a partir da Equação 16, que relaciona vazão que entra no flotador e a taxa de aplicação superficial, foi possível determinar a área superficial.

$$As = \frac{Q+R}{q} \quad (\text{Equação 16})$$

Onde:

As: Área superficial do flotador (m^2);

R: Vazão de reciclo ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$);

Q: Vazão do líquido afluyente ($m^3.h^{-1}$).

q: Taxa de aplicação ($m^3.m^{-2}.h^{-1}$).

Foi adotada uma relação comprimento/ largura igual a 5:3. Portanto, para determinar a largura do FAD, utilizou-se a Equação 17:

$$L = \sqrt{\left(\frac{As \times 3}{5}\right)} \quad (\text{Equação 17})$$

Onde:

L: Largura do flotador (m).

O comprimento da FAD foi calculado seguindo a Equação 18:

$$B = \frac{L \times 5}{3} \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

B: Comprimento do flotador (m);

L: Largura do flotador (m).

Por fim, para calcular o volume do FAD foi adotado um TDH de 5 minutos Richter (2009) e determinado a partir da equação 19:

$$Vf = (Q + R) \times TDH \quad (\text{Equação 19})$$

Onde:

Vf: Volume do flutador (m³)

R: Vazão de reciclo (m³.s⁻¹);

Q: Vazão do líquido afluente (m³.s⁻¹);

TDH: Tempo de detenção hidráulica (s).

4.4.4. Volume do Reservatório

O volume do reservatório foi calculado a partir da equação do Método prático Australiano, conforme descrita abaixo:

$$V_t = (V_{t-1}) + Q_t - D_t + Q_r \quad (\text{Equação 20})$$

Onde:

Q_t: Volume mensal produzido pela chuva no mês (m³);

Q_r: Volume mensal de água tratada pelo sistema de reuso (m³);

V_t: Volume de água que está no tanque no fim do mês (m³);

V_{t-1}: Volume de água que está no tanque no início do mês (m³);

D_t: Demanda mensal (m³).

4.5. Estudo Financeiro

Por fim, a última etapa do trabalho foi o estudo da viabilidade econômica do projeto. Esse foi feito aplicando a técnica do Valor Presente Líquido (VPL). Esta técnica teve como fundamento comparar o investimento a uma taxa mínima de atratividade, ou seja,

uma taxa que representa o retorno mínimo que o investidor deseja obter em um projeto. O Valor Presente Líquido (VPL) pode ser obtido a partir da Equação 21.

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} FCt / (1 + i)^n \quad (\text{Equação 21})$$

Onde:

VPL: Valor Presente Líquido;

FC: Fluxo de caixa;

t: Momento em que o fluxo de caixa ocorreu;

i: Taxa de desconto (ou taxa mínima de atratividade);

n: Período de tempo.

5. Resultados e Discussão

5.1. Caracterização dos parâmetros físico-químicos

A Tabela 5, apresenta a tabulação dos parâmetros físicos da água residuária de estabelecimentos de lavagem de veículos obtidos a partir do agrupamento dos levantamentos bibliográficos feitos em diversos artigos que abordaram o tema. Os parâmetros dos estudos analisados (pH, demanda bioquímica de oxigênio – DBO, demanda química de oxigênio, sólidos suspensos totais – SST, sólidos totais – ST, óleos e graxas e turbidez) sofrem variações, como pode ser observado no gráfico de box-plot apresentado nas Figura 6 e Figura 7, pois esses indicadores estão sujeitos às alterações por conta das diferentes localidades dos estudos, do tipo de lavagem empregada naquele empreendimento, ao nível de sujeira dos veículos no momento da lavagem, dos produtos de limpeza usados e até mesmo por erro na coleta da amostra investigada (Fall et al., 2007; Hashim and Zayadi, 2016; Tekere et al., 2016).

Estado /País	Autor	pH	DBO (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	Sólidos Suspensos T. (mg.L ⁻¹)	Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	Óleos e Graxas (mg.L ⁻¹)	Turbidez (NTU)	Tipo de lavagem
São Paulo	Morelli (2005)	6,40	25,00	*	*	356,00	783,00	27,00	Túnel
Washington	Smith (2009)	6,75	*	*	198,00	*	21,50	159,00	*
São Paulo	Neves (2010)	8,27	740,00	*	*	*	364,00	*	*
Rio Grande Do Sul	Zaneti et al. (2011)	7,55	100,50	*	78,50	*	8,30	96,00	*
Paraíba	Rosa et al (2011)	8,30	*	1.696,00	1.729,00	3.225,00	152,80	360,00	Manual
São Paulo	Etchepare (2012)	7,40	72,00	189,00	91,00	*	14,00	107,00	Manual
Rio Grande Do Norte	Soeiro (2014)	6,98	89,55	846,46	*	*	282,35	*	*
Mato Grosso	Luz (2017)	7,14	70,00	212,00	*	586,00	22,00	405,00	Manual
Rio Grande Do Norte	Queiroz (2014)	7,70	76,00	194,50	*	367,00	98,70	41,08	Manual

Rio Grande Do Sul	Bohn (2014)	10,3	*	353,81	34,00	*	19,44	*	Manual
São Paulo	Sabesp (2002)	6,40	*	*	*	356,00	783,00	127,00	Túnel
São Paulo	Bonin (1999)	5,98	*	*	*	1.913,00	252,00	164,04	Manual
Malásia	W.J Lau (2012)	7,63	11,20	406,50	*	*	*	60,35	*
São Paulo	Subtil et al. (2017)	6,10	169,00	626,00	*	284,00	*	156,00	Manual
São Paulo	Teixeira (2003)	7,90	*	97,50	160,50	427,20	93,00	145,00	Túnel
Genoa, Itália	Panizza et al. (2010)	6,40	178,00	572,00	*	*	*	*	Túnel
Gana, Kumasi	Mooney et al. (2020)	8,00	470,77	913,53	2.535,30	*	*	2.205,60	*
Estados Unidos	U.S.EPA (1980)	7,40	69,00	238,00	659,00	*	90,00	*	Manual

Média	7,37	172,58	528,78	685,66	939,28	213,15	311,77	*
Desvio Padrão	1,03	215,65	453,91	938,92	1.068,84	265,63	579,87	*
Máximo	10,3	740,00	1.696,00	2.535,30	3.225,00	783,00	2.205,60	*
Mínimo	5,98	11,20	97,50	34,00	284,00	8,30	27,00	*

**Informações sem dados.*

Tabela 5 – Resultados de análises dos parâmetros físico-químicos de águas residuárias de veículos – Efluente Bruto

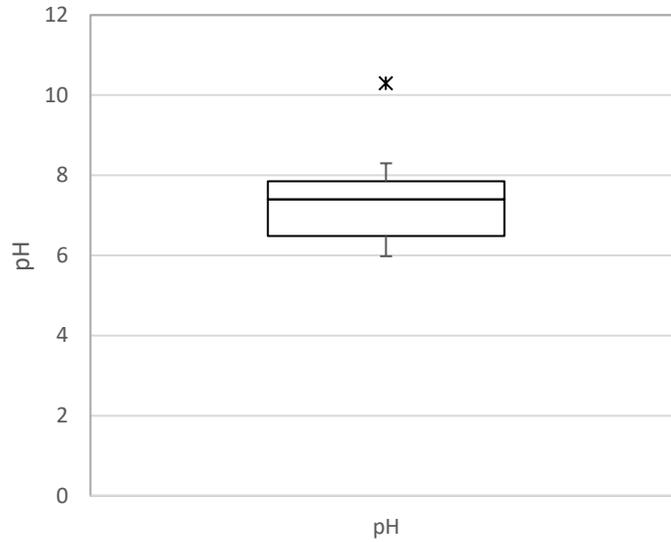


Figura 6. Box-plot dos resultados de análises do pH de águas residuárias de veículos – Efluente Bruto

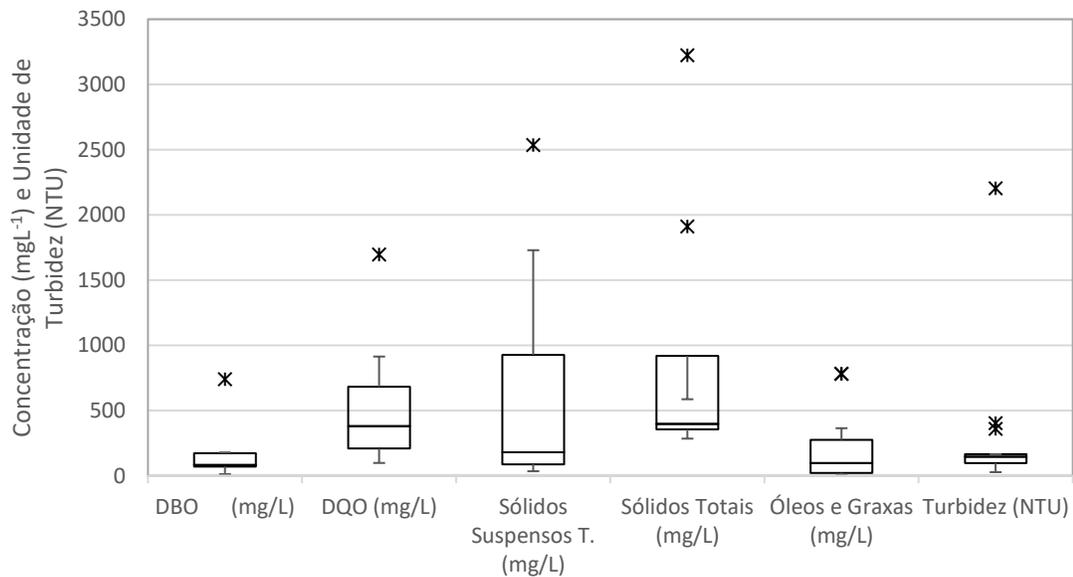


Figura 7. Box-plot dos resultados de análises dos parâmetros físico-químicos de águas residuárias de veículos – Efluente Bruto

A influência da localidade nos parâmetros pode estar associada aos contaminantes e sujeiras que os veículos lavados estão expostos. Como exemplo de um automóvel que percorre por vias de terra em uma cidade no interior, sem muita poluição, terá características diferentes daquele que trafega por grandes centros urbanos em vias pavimentadas (Monney et al, 2020). Por exemplo Rosa et al. (2011) encontraram valores superiores a 3000 mg.L^{-1} de sólidos totais na água de lava rápidos de Campina Grande (interior da Paraíba, do Nordeste) que apresenta elevado número de vias públicas sem pavimentação, como pode ser constatado pelo índice de urbanização de vias públicas de 19,4% (IBGE, 2020). Por outro lado, Subitil et al., (2017) encontraram valores de $284,7 \text{ mg.L}^{-1}$ de sólidos totais no mesmo tipo de efluente na cidade de São Paulo, que tem maior quantidade de vias pavimentadas e, respectivamente, o índice de urbanização de vias públicas é 50,3% (IBGE, 2020). A turbidez, normalmente é influenciada devido as partículas presentes na água residuária, portanto, está diretamente ligada aos valores de sólidos suspensos totais e sólidos totais presentes no efluente (Kari et al., 2017). Por isso os trabalhos de Rosa et al. (2011) e Monney et al. (2020) que apresentaram os maiores valores de sólidos totais ($1729,00$ e $2535,30 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente) foram os que apresentaram os maiores valores de turbidez também (360 e $2205,6 \text{ NTU}$, respectivamente).

Segundo Teixeira (2003), o tipo de lavagem de veículos (Túnel, “Rollover” e Manual) também pode interferir na carga de contaminantes e substâncias químicas nos processos de lavagem devido a diferença da quantidade de água e produtos detergentes utilizadas para lavagem. Os sistemas automáticos, como “rollover” e túnel, são programados para utilizar determinada quantidade de produto e água, enquanto o sistema manual, varia entre as lavagens. Isso fica evidente ao analisarmos a DQO do efluente do estabelecimento de limpeza de veículos que para limpeza manual tem uma variação de 800%, de 189 a 1696 mg.L^{-1} , enquanto no sistema de túnel essa variação é menor, de $97,5$ a 572 mg.L^{-1} .

Os valores de pH encontrados nos estudos analisados próximos a neutralidade, podem estar correlacionados aos produtos detergentes, que por sua vez não devem ser muito ácidos para evitar danos a tintura do veículo (Monney et al., 2020). Verificou-se

ainda que o pH nas águas residuárias de todos os estudos analisados estão dentro do estabelecido pelos padrões de lançamento da Resolução CONAMA nº 430/2011 que é de 5 a 9. Teixeira (2003), afirma que o efluente proveniente da limpeza de automóveis pode conter grandes quantidades de sólidos em suspensão, óleos, graxas, metais pesados, detergentes e substâncias orgânicas. Para Jönsson e Jönsson (1995), os óleos e graxas, podem estar associados aos componentes de lubrificação do motor e do sistema de freios. Ainda ressalta que este efluente gerado possui uma composição complexa e com grandes quantidades de DQO.

Esses parâmetros físico-químicos das águas residuais de lava-rápidos são regulamentados, no Brasil, pela Resolução CONAMA nº 430/2011, na qual determina as características, condições e padrões de lançamento de efluentes. No estado de São Paulo o Decreto nº 8.468/1976, dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Além dessas regulamentações, têm como documento auxiliar, a norma ABNT NBR 13.969 de setembro de 1997, também estabelece padrões de qualidade para a prática do reuso associados em diferentes tipos de classes, entre elas a lavagem de carros.

Segundo a Resolução CONAMA nº 430/2011, dentre os parâmetros analisados de efluente bruto, o pH é o único que atende a legislação, com valor entre 5 e 9 conforme indicado pela resolução. A Lei ainda prevê que para lançamento do efluente é tolerável valores de óleos e graxas em até 20 mg.L⁻¹, para os sólidos sedimentáveis de até 1 mL.L⁻¹, a ausência de materiais flutuantes e uma Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) com remoção de 60%.

Já para o Decreto nº 8.468/1976, o único parâmetro em que a tolerância permitida se difere da Resolução CONAMA é a para a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que neste é permitida em no máximo até 60 mg.L⁻¹.

5.2. Estudo Mercadológico

Este estudo mercadológico buscou investigar as características de dois empreendimentos com a finalidade de obter dados importantes para correlacionar com

os valores indicados pelas bibliografias estudadas. A Tabela 6 apresenta os dados obtidos nas verificações de campo realizadas nos lava-jatos na cidade do Guarujá. Pode-se observar que o consumo médio de água reportados pelos dois estabelecimentos de limpeza de veículos está dentro dos valores obtidos na cidade de Toluca (México) por Fall et al. (2007) de 59 L por veículo. Por outro lado, estes valores são menores do que os observados em Cape Coast e Kumasi (ambos em Gana), que tem uma média de 162 e 159 L por veículo (Quayson and Awere, 2018 e Mooney et al., 2020). Esse menor consumo de água nos lava-rápido no Guarujá e no México, pode ser explicado pois utilizam água da concessionária de saneamento o que impacta na lucratividade da empresa, enquanto nas cidades de Gana, a maioria dos lava-rápidos usam água subterrânea sem cobranças de taxas (Mooney et al., 2020).

	Lava-rápido 1	Lava-rápido 2
Preço Lavagem Básica (R\$)	40,00	50,00
Quantidade de veículos por dia	40	30
Consumo Médio por Lavagem (L/veículo)	55	65
Dias de Trabalho por Mês	26	26

Tabela 6. Características de funcionamento dos lava-rápidos no Guarujá.

5.3. Captação da água de chuva

O sistema de captação consistiu em uma cobertura de 140 m² com telhados e calhas por onde a água escoava, percorrendo tubos de PVC que direcionaram a água recolhida pelo telhado do estabelecimento para uma grade, que tem como objetivo remover materiais de grande dimensão, como folhas, galhos e resíduos sólidos presentes nos telhados. A sujeira retida é encaminhada para o descarte de resíduos sólidos, enquanto a água (sem as impurezas) escoava para o reservatório de armazenamento.

A Tabela 7 apresenta os volumes de água captados mensalmente, calculados a partir da Equação (2), apresentada no item 4.4.2.

Mês	Volume (m ³)		Mês	Volume (m ³)
Janeiro	32,17		Julho	12,68
Fevereiro	28,63		Agosto	10,37
Março	30,31		Setembro	14,80
Abril	20,63		Outubro	18,48
Maiο	17,76		Novembro	18,68
Junho	12,92		Dezembro	25,07

Tabela 7. Volume captado mensalmente pelo sistema de uso da água de chuva

5.4. Análise das tecnologias para reuso de água

A escolha do sistema de tratamento da água residuária é fundamental para o sucesso do investimento e conseqüentemente do empreendimento, e por conta disto, deve levar em conta tanto o conhecimento das técnicas de tratamento existente, quanto a complexidade de operação e espaço requerido para construção do sistema. Atualmente, diferentes métodos físicos, químico, biológicos e combinados tem sido estudado para o tratamento da água residuária de estabelecimentos de lavagem de veículos e cada um apresenta a sua vantagem e desvantagem, como pode ser observado na Tabela 8.

Sistema de tratamento	Observações
Filtração por Membranas	<ul style="list-style-type: none"> • Alta seletividade; • Alta eficiência e baixo tempo de tratamento; • Baixo consumo de energia; • Elevado custo; • Pouca flexibilidade.
Coagulação Química	<ul style="list-style-type: none"> • Os coagulantes químicos são amplamente utilizados (ex. Sulfato de alumínio) e com isso possuem vantagens de baixo custo e disponibilidade • Baixo índice de produção de lodo • Aumento de partículas superficiais
Eletrocoagulação	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamentos simples de fácil operação; • Versatilidade; • Pouca formação de lodo; • Manutenção constante; • Alto consumo de eletricidade.
Eletro-oxidação	<ul style="list-style-type: none"> • Alto consumo de energia; • Elevado custo; • Pequena área requerida; • Fácil automatização.
Flotação por ar dissolvido (FAD)	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidade operacional; • Pequena área requerida; • Alta eficiência.

Tabela 8. Comparação dos diferentes tipos de tratamento encontrados na literatura.

No tratamento preliminar, como gradeamento, os objetos grandes, tecidos, folhas são removidos principalmente para não causarem danos aos equipamentos envolvidos. Já no tratamento primário, ocorre a remoção de sólidos suspensos e a sedimentação dos sólidos dissolvidos (Metcalf & Eddy, 2003). Em sequência do tratamento primários, surgem os métodos gravitacionais, como sedimentação, flotação e filtração, no qual chegam a remover a maior parte de matéria orgânica. Alguns sistemas ainda incluem o

tratamento avançado ou terciário para remover os sólidos suspensos e outras substâncias que não foram reduzidas pelo tratamento secundário.

Além desses processos e operações mais comuns para tratamento de água podem ser encontrados nas bibliografias novos tipos de sistemas utilizados para tratar efluentes de lava-rápidos. Como exemplo temos o processo de ozonização, no qual, devido ao alto poder oxidante do ozônio, seu efeito sobre germicidas, bactérias e compostos organoclorados presentes da água residual é muito eficaz. (Mancuso; Santos, 2003). Apesar dessa vantagem, o sistema de dosagem por ozônio é muito sofisticado, quando comparado a uma desinfecção com cloro ou ultravioleta. Com isso requer equipamentos mais complexos feitos de aço inoxidável devido ao poder reativo do ozônio. Portanto, o custo para esse tratamento pode ser de alto capital (Ribeiro, 2001).

Outro sistema muito comum é o processo de separação por membranas, no qual o tipo de membrana utilizada, determina o grau de purificação e o tipo de impureza que será removida. Como desvantagem, este tratamento possui um custo elevado, devido ao alto valor das membranas e pela necessidade da substituição frequente delas. (Schneider & Tsutiya, 2001)

Por fim, outro sistema de tratamento que vem ganhando uma grande visibilidade devido sua compactação e alta eficiência é a flotação por ar dissolvido (FAD). Esta que segundo Mendonça (2004), constitui um dos melhores métodos para tratamento de águas residuais. Além destas vantagens pode ser indicada a operação com altas taxas de aplicação, baixo tempo de detenção hidráulica.

Tendo em vista as tecnologias apresentadas, para o presente trabalho, foram adotadas as etapas de gradeamento, caixa de água e óleo (SAO) e pôr fim a flotação por ar dissolvido. No tratamento preliminar foi dimensionado a grade, devido ao baixo custo de instalação e manutenção e por apresentar facilidade de operação. No tratamento primário, a caixa de água e óleo possui a vantagem de baixo custo de construção, operação e de manutenção. Posteriormente será aplicado a flotação por ar dissolvido (FAD), devido a sua eficiência sobre os demais processos gravitacionais, bem como sua compactação, não havendo necessidade de grandes áreas para implantação.

5.5. Dimensionamento

O efluente gerado pela lavagem dos veículos, conforme apresentado na Tabela 5, possui uma ampla gama de contaminantes, que por sua vez possuem diferentes origens. Verificamos que a composição desse efluente por altos valores de óleos e graxas, sólidos totais, turbidez e as relações dos parâmetros encontrados e suas funções. Considerando os parâmetros da água residuária, o esquema do sistema de tratamento da água proposto pode ser verificado na Figura 8.

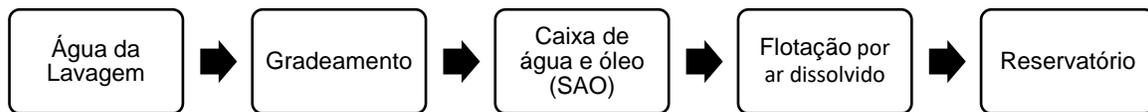


Figura 8. Esquema do sistema de tratamento de água residuária.

A partir da Equação (1), e considerando como estudo de caso deste projeto o empreendimento 1 da Tabela 6, obtém-se uma demanda hídrica projeto de 57,20 m³ por mês, que foi usada como a vazão média para dimensionar as unidades de um sistema de tratamento de água residuária deste tipo de estabelecimento comercial.

5.5.1 Gradeamento

O tratamento preliminar é formado pelo gradeamento, no qual tem a função de impedir a passagem de sólidos em suspensão, como folhas, plásticos, plantas e evitar danos ao sistema de tratamento. Essa grade foi instalada no sistema de canaletas, que recolherão toda água utilizada para lavagem do veículo.

A limpeza das grades é realizada manualmente e uma vez ao dia, para evitar uma grande deposição de resíduos e não prejudicar a eficiência do tratamento. Conforme indicado pela norma ABNT NBR 12.209 de 2011, o ângulo indicado para as grades de limpeza manual devem ser entre 45° e 60°, sendo, a angulação adotada de 45°. Para o

dimensionamento da grade foram usadas as Equações de 3 a 10. Os demais valores obtidos no cálculo do dimensionamento da grade foram apresentados na Tabela 9.

Os sólidos removidos desta etapa serão coletados, separados e destinados ao descarte adequado.

Resultado dos Cálculos		Equação usada
Eficiência da grade (%) - E	65,2	3
Área útil da seção transversal da grade (m ²) - Au	0,00014	4
Área transversal da grade (m ²) - Sg	0,00021	5
Coeficiente K2	0,04787	6
Altura da Lâmina da água (m) - Yo	0,00479	7
Velocidade a montante da grade (m.s ⁻¹) – v0	0,14363	8
Perda de carga (m) - ΔH	0,001	9
Número de barras - n	4	10

Tabela 9: Resultados do dimensionamento da grade para o sistema de tratamento da água residuária de um estabelecimento de lavagem de veículos

5.5.2 Caixa de água e óleo (SAO)

Depois do gradeamento, iniciou o tratamento primário, que no sistema de tratamento da água residuária de um estabelecimento de lavagem de veículos adotado consiste no separador de água e óleo no formato retangular. Neste equipamento, os óleos e graxas são separados por uma barreira, e retirados pela parte superior da caixa devido a diferença de densidade. Para o dimensionamento do sistema de separação água e óleo, foram usadas as Equações de 11 a 15 e os resultados obtidos neste dimensionamento estão apresentados na Tabela 10. Os resíduos gerados na caixa de separação água e óleo serão retirados e enviados para destinação correta ou podem ser reciclados.

Resultado dos Cálculos		Equação usada
Velocidade de ascensão ($m.s^{-1}$) - v_l	0,00241	11
Velocidade horizontal ($m.s^{-1}$) - v_h	0,03613	12
Área transversal do separador (m^2) - S_s	0,00190	13
Comprimento do separador (m) - L_s	0,04681	14
Tempo de detenção hidráulico (s) - θ_h	1,296	15

Tabela 10: Resultados do dimensionamento da caixa de água e óleo (SÃO)

5.5.3 Flotação por ar dissolvido (FAD)

Em sequência da caixa separadora de água e óleo (SAO), propõem-se o emprego da flotação por ar dissolvido. O sistema de flotação consiste na injeção de pequenas bolhas de ar no fundo do tanque com o intuito de essas se aderirem às partículas sólidas presentes na água, fazendo-as emergirem e, portanto, possibilitando sua remoção.

Para o dimensionamento do flotador por ar dissolvido, foram usadas as Equações de 16 a 19 e os resultados obtidos neste dimensionamento estão apresentados na Tabela 11.

Resultado dos Cálculos		Equação usada
Área superficial do flotador (m^2) - A	0,01485	16
Largura do flotador (m) - L	0,09439	17
Comprimento do flotador (m) - B	0,15732	18
Volume do flotador (m^3) - V_f	0,03094	19

Tabela 11: Resultados do dimensionamento do sistema de flotação por ar dissolvido (FAD)

O sistema de ar dissolvido consiste na recirculação de água do efluente aliada a injeção do ar gerado por um sistema de compressor. Para o presente estudo será utilizado um compressor de 50 *watts* para geração das microbolhas. Para Di Bernardo (1993), as microbolhas devem possuir diâmetros entre 40 e 70 microns. Este diâmetro

está diretamente atrelado a velocidade em que essas partículas de ar irão emergir, uma vez que quanto maior os diâmetros, maior a velocidade de ascensão.

Para Al-Shamrani et al. (2002), as condições ótimas de funcionamento desse sistema ainda não estão definidas, uma vez que é possível encontrar na literatura diferentes valores de tempo de floculação, gradientes de velocidade e taxas de aplicação superficial.

O lodo gerado no sistema será removido diariamente de forma manual e enviado para a correta destinação final.

5.5.4 Eficiência do tratamento

A eficiência estimada do sistema supracitado foi verificada através dos valores de eficiência encontrados nas referências bibliográficas para cada uma das etapas do tratamento.

O sistema de gradeamento possui uma eficiência de 65,2% na remoção dos materiais flutuantes, como folhas, sacos plásticos e galhos. Apesar de não influenciar significativamente nos parâmetros de DBO, DQO, sólidos suspensos totais, sólidos totais, óleos e graxas e turbidez, esta etapa é muito importante para preservar e conservar a vida útil dos equipamentos, bem como a eficiência das etapas subsequentes (Metcalf & Eddy, 2003).

A caixa de água e óleo (SAO), conforme detalhado anteriormente, possui uma grande influência nos óleos e graxas e nos sólidos suspensos, devido a diferença de densidade entre os materiais. Consequentemente, reduzindo a concentração destes, diminuiremos também os parâmetros de DQO e Turbidez.

Borges et al. (2020), avaliou as concentrações na entrada e na saída da caixa separadora de água e óleo em um posto de combustível e determinou a eficiência deste sistema em 30% para DBO, de 97% para DQO, 78% nos Sólidos Suspensos e 99% para óleos e graxas. Já Carneiro et al. (2020), verificou a eficácia deste sistema em três oficinas mecânicas, e chegou a uma eficiência de até 95,62% na remoção de sólidos

suspensos, de até 96,8% para sólidos totais, de 32,33% para turbidez, de 98,38% para óleos e graxas e por fim, reduções superiores a 70% para DQO.

A eficiência do sistema de flotação por ar dissolvido, é determinado principalmente pela relação entre o ar e os sólidos presentes no efluente (Pioltine, 2009). Além dos parâmetros operacionais influenciarem na porcentagem de remoção de contaminantes, este sistema pode ter melhores resultados quando aplicado coagulantes em doses adequadas para auxiliarem na flotação dos contaminantes (Pontes 2009).

Diante disto, Gasperi (2012), buscou determinar a eficiência do sistema de flotação por ar dissolvido, com e sem a aplicação de coagulantes. No sistema sem a aplicação de coagulantes, chegou a uma eficiência de 88% para DQO, 84% para sólidos suspensos totais, 81% para sólidos totais e de 95% para óleos e graxas. Outro estudo feito por Coutinho (2007), avaliou o uso da flotação por ar dissolvido para tratamento de cursos de águas e chegou a uma eficiência média na remoção de DBO de 71%. Já Oliveira em 2017, ao estudar esse sistema aplicado ao tratamento de efluentes, verificou que o sistema é capaz de promover uma remoção de 96% da turbidez sem a aplicação de coagulantes.

Após verificarmos a eficiência de cada etapa do sistema proposto na remoção dos contaminantes analisados, utilizamos as médias dos parâmetros encontrados na Tabela 5 como as concentrações iniciais da água residual, e determinamos a eficiência do sistema, conforme apresentado na Tabela 12.

Parâmetros	Concentração Inicial	Gradeamento	Caixa SAO	Flotação por ar dissolvido	Concentração Final	Eficiência Total do Sistema	Legislação CONAMA nº 430/11 Decreto nº 8.468/76
pH	7,37	0,0%	0,0%	0,0%	7,37	0,00%	5 - 9
DBO (mg.L ⁻¹)	172,58	0,0%	30,0%	71,0%	35,03	79,70%	< 60
DQO (mg.L ⁻¹)	528,78	0,0%	83,5% (*)	88,1%	10,38	98,04%	-
Sólidos Suspensos T. (mg.L ⁻¹)	685,66	0,0%	86,8% (*)	84,1%	14,38	97,90%	-
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	939,28	0,0%	96,8%	81,0%	5,71	99,39%	-
Óleos e Graxas (mg.L ⁻¹)	213,15	0,0%	98,7% (*)	95,0%	0,14	99,93%	<20
Turbidez (NTU)	311,77	0,0%	32,3%	96,0%	8,44	97,29%	-

* Eficiência média calculada entre os resultados de Gasperi (2012) e Borges et al. (2020).

Tabela 12: Eficiência estimada para o sistema de tratamento proposto

Portanto, podemos concluir que o conjunto do sistema proposto apresenta uma eficiência estimada de 95% para remoção dos contaminantes analisados, e atende as legislações vigentes.

5.5.5 Reservatório

Para o dimensionamento do volume da cisterna (Equação 20) foi considerando o atendimento de 40% da demanda mensal por meio da água da chuva nos meses de

janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro. Nos demais meses, a captação da água da chuva atenderá 30% desta demanda.

Para volume de água tratada pelo sistema de reuso, foi considerado uma perda de 20% na saída do flotor. Portanto, o volume de água tratada mensalmente, será de 41,18 m³.

Assim, para atender o volume de água captada da chuva e o volume de água tratada pelo sistema indicado, serão construídas duas cisternas de 2,5 metros de altura, com raio de 2,1 metros, e, portanto, com uma capacidade de reservatório de 70 m³.

5.5.6 Planta Baixa

Na Figura 9, podemos verificar a planta baixa do lava-rápido, projetada a partir do dimensionamento das tecnologias propostas. Nota-se que apesar do reservatório ser grande, o sistema de tratamento é compacto, e não afetou na área de manobras do estabelecimento.

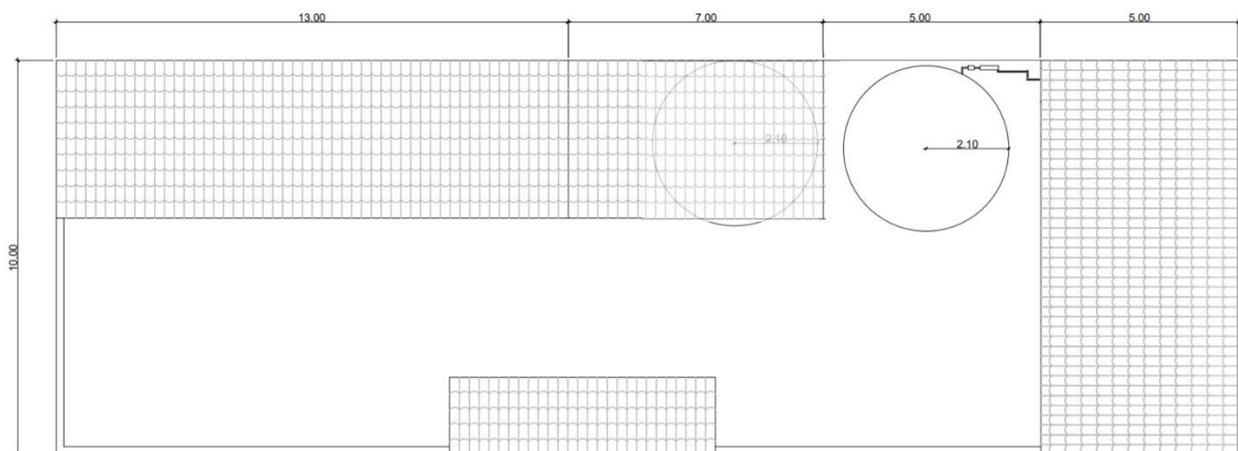


Figura 9. Planta baixa do sistema de tratamento de água residuária

5.6. Estudo Financeiro

O cálculo da viabilidade econômica do projeto se fez por meio do Valor Presente Líquido. Para Souza e Clemente (2009), o valor presente líquido é a junção de todos os resultados esperados de um fluxo de caixa a partir de uma data zero.

Para aplicação desta análise há a necessidade de calcular o valor a ser investido no projeto, as estimativas de receitas e a estimativa de despesas. Quanto as receitas do projeto, Gitman (1992), afirma que estas podem ser representadas por entradas de caixa, quanto por economia obtida em função da implantação.

Essa técnica desconta os fluxos de caixa da empresa a uma taxa referente ao retorno mínimo que deve ser obtido no projeto, e normalmente são correlacionadas com as taxas de juros, como a Selic, que é a taxa básica de juros (Aleixo e Pacheco, 2017).

Considerando os dados da pesquisa em campo (Tabela 6) e considerando em média o atendimento de 30 veículos por dia para o lava-rápido 1, chegamos a uma estimativa de receita média de R\$ 31.200,00 ao mês.

Como investimento inicial do projeto, foi considerado a mão de obra para implementar os sistemas de uso da água de chuva e de reuso da água de lavagens, os materiais e o treinamento dos colaboradores, como é possível verificar na tabela 13.

Material	Quantidade	Valor Total
Cisternas (35 m ³)	2	R\$ 50.000,00
Treinamento	1	R\$ 400,00
Construção e aquisição dos equipamentos e materiais para o tratamento	1	R\$ 11.000,00
Total	-	R\$ 61.400,00

Tabela 13: Investimento para implementação do projeto

Como estimativas de despesas mensais para o lava-rápido, foram considerados as despesas com os salários dos funcionários, levando em conta que o empreendimento possui 4 funcionários que recebem um salário-mínimo. Além disso, foi incluído despesas com luz, aluguel do espaço, produtos para limpeza dos veículos e manutenção do sistema. O consumo de água foi desconsiderado dessa estimativa, uma vez que o projeto possui capacidade de atender 100% da demanda do estabelecimento. A tabela 14 representa as despesas mensais do lava-rápido.

Despesas	Quantidade	Valor Total
Funcionários	4	R\$ 4.408,00
Luz	-	R\$ 1.500,00
Aluguel	-	R\$ 2.500,00
Produtos	-	R\$ 6.000,00
Manutenção	-	R\$ 3.000,00
Total	-	R\$ 17.408,00

Tabela 14: Estimativa de despesas mensais do lava-rápido

Para realização do fluxo de caixa foram utilizados os valores supracitados. Os valores de inflação foram desconsiderados, já que o preço de lavagem pode ser ajustado com o tempo. Considerando uma TMA (taxa mínima de atratividade de 6%), o VPL encontrado para 6 meses foi de R\$ 6.419,74, indicado que o projeto é viável economicamente. A TIR (taxa interna de retorno) encontrada foi de 9%, sendo superior à TMA, e, portanto, reforçando a viabilidade econômica do estudo. Podemos ainda verificar o tempo que o projeto levará para retornar o valor investido (*Payback*), será de 5 meses, reforçando então a viabilidade do projeto.

6. Conclusão

A partir desse estudo foi possível verificar que o reuso de efluentes após o tratamento adequado, atrelado a captação da água de chuva, surge como uma alternativa sustentável e economicamente viável para os lava-rápidos de pequeno porte.

A escolha do sistema de tratamento mais adequado levou em consideração a eficiência, os custos dos equipamentos, o tamanho e capacidade profissional necessária para implementação. Diante disto, o sistema proposto atende os requisitos como a facilidade de operação, o custo-benefício e a eficiência, esta que estimada em 95% para remoção dos contaminantes. Além disso, importante ressaltar que a qualidade do efluente tratado pelo sistema está de acordo com as condições e padrões estabelecidos pelas regulamentações CONAMA nº 430/2011 e pelo Decreto nº 8.468/1976 do estado de São Paulo.

Os equipamentos utilizados foram: grade fina, separador de água e óleo, e flotor por ar dissolvido. Para o armazenamento da água tratada e a água captada da chuva, foram necessárias duas cisternas. O projeto demanda de pouca área para a instalação do sistema proposto e, portanto, está adequada ao espaço disponível pelo lava-rápido.

O projeto proporcionou uma economia nos gastos com consumo de água, e quando avaliado com indicadores de viabilidade econômica, o parecer foi positivo, resultando em um VPL, para 6 meses, de R\$ 6.419,74, e uma TIR (taxa interna de retorno) encontrada foi de 9%, sendo superior à taxa mínima de atratividade.

Por fim, destaca-se a importância da criação e implementação de mais projetos que utilizem a sustentabilidade e a produção mais limpa em seus princípios, garantindo a preservação ambiental e conseqüentemente, gerando retornos financeiros.

7. Referências Bibliográficas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários, NBR 12.209. Rio de Janeiro, 2011. 53 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Óleos e Graxas - Processos de tratamento em efluentes de mineração, NBR 14.063. Rio de Janeiro, 1998. 10 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação, NBR 13.969. Rio de Janeiro, 1997. 60 p.

AL-ODWANI, A; A.M; H.S. Carwash water reclamation in Kuwait. Desalination. (2007)

AL-SHAMRANI, A.A; J.A; X.H. Destabilisation of oil–water emulsions and separation by dissolved air flotation. Water research. (2002).

ALEIXO, C.A.; PACHECO, B.C.S. A viabilidade econômica para a implantação de um laboratório de calibração interna em metrologia para uma empresa do setor automotivo In: ENFEPRO - Encontro Fluminense de Engenharia de Produção, 2017, Nova Iguaçu. Disponível em: <<http://www.enfepro.com.br/Anais/download/222>> Acesso em: 28 set. 2019.

AUGUSTO, Lia Giraldo Da Silva; Idê G.D.G; Henrique, F.C.N.; Carlos H.M; André M.C. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1511-1522, June 2012.

BOHN, F. P. Tratamento do efluente gerado na lavagem de veículos. 48 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2014.

BOLUARTE I. A. R.; Andersen, M.; Pramanik, B. K.; Chang, C-Y.; Bagshaw, S.; Farago, L. Reuse of car wash wastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor

treatment processes. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 113, p. 44-48, 2016.

BONIN, André Luís & MARQUES, Antonio Carlos L., Sistema de Recuperação e Reúso de Águas em Empresa de Transporte Urbano-Viação Santa Brígida. Caso prático apresentado no 1º Prêmio de Case de Meio Ambiente Osvaldo Cruz, São Paulo, 1999.

BORGES, N. G. de F; ROMÃO, E. M; JESUS, F. N. Treatment of effluent from a water and oil separator box: potential of reuse of effluent in a gas station. *Research, Society and Development*, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i2.10747. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/10747>. Acesso em: 5 jul. 2021.

BOUSSU, K, Kindts, K., Vandecasteelem, C., Van der Bruggen, B., 2007. Applicability of nanofiltration in the carwash industry. *Separation and Purification Technology*, 54:139-46

BRASIL – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União de 16 de maio de 2011, Brasília, DF.

BROWN, C., 2000. Water conservation in the professional car wash industry. 1st ed. Washington: International Car Wash Association.

CARDOSO Raisia Nicole Campos; Claudio José Cavalcante Blancob. Technical and financial feasibility of rainwater harvesting systems in public buildings in Amazon, Brazil. *Journal of cleaner production*, v 260, 121054 Disponível em :< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262031101X#bib68>>

CARNEIRO, Rúbia Lemos; Maria Madalena Ferreira; Marilene Rodrigues, Tamara Daiane de Souza - Estudo Da Eficácia De Separadores De Água E Óleo Em Oficinas Mecânicas Do Município De João Monlevade-MG. 17º Congresso Nacional do Meio Ambiente - Participação Social, Ética e Sustentabilidade 23 a 24 de setembro 2020 Poços de Caldas - MG - Brasil ISSN on-line N° 2317-9686 – V. 12 N.1 2020.

CARVALHO, R. G.; KRUK, N. S. Critérios de dimensionamento para sistemas de separação água/óleo em aeroportos. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013

CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo- Águas Interiores – 2021
Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escasez-de-agua-no-mundo/>>. Acesso em: 12/01/2021

COUTINHO, W. Emprego Da Flotação A Ar Dissolvido No Tratamento De Cursos D'água- Avaliação de Desempenho da Estação de Tratamento dos Córregos Ressaca e Sarandi Afluentes à Represa da Pampulha (2007).

CRC Handbook of Chemistry and Physics. Cleveland, Ohio: CRC Press, 1977.

DACACH, N. G. Tratamento primário de esgoto. Rio de Janeiro: Didática e Científica LTDA, 106 p., 1991

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica - Disponível em: < <http://www.daee.sp.gov.br/site/>>. Acesso em: 15/11/2020

DE AMORIM, Simar Vieira; DE ANDRADE PEREIRA, Daniel José. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. Ambiente Construído, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008.

DI BERNARDO, L. Métodos e técnicas de tratamento de água. Rio de Janeiro: Abes, 1993. 496 p.

DORIGON, E. B.; TESSARO, P. Caracterização dos efluentes da lavagem automotiva em postos de atividade exclusiva na região AMAI – **Oeste Catarinense. Unoesc & Ciência - ACBS**, Joaçaba, v. 1, n. 1, p. 13-22, 2010.

DWORAK T., M. Berglund, C. Laaser, P. Strosser, J. Roussard, B. Grandmougin, et al. EU water saving potential (Part 1 – Report). ENV.D.2/ETU/2007/0001r Ecologic Institute for International and European Environmental Policy, Berlin, Germany (2007).

ETCHEPARE, R. G. Integração de processos no tratamento de efluentes de lavagem de veículos para reciclagem de água. 2012. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FALL, C.; MOLEON, M. C. J.; BÂ, M. K.; DELGADO, C. D.; MULIDO, D. G.; CHAVEZ, M. C. Carwash wastewater: characteristic, volume, and treatability by gravity oil separation. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, v. 6, n. 002, p. 175-184, 2007.

GASPERI, R. L. P. Caracterização de resíduos de caixas de gordura e avaliação da flotação como alternativa para o pré-tratamento. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

GITMAN, L. Princípios da administração financeira. São Paulo: Qualitymark, 1992.

GOIÁS. Lei nº 17.582, de 08 de março de 2012. Altera a Lei nº 17.128, de 18 de agosto de 2010, que dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de equipamento para tratamento e reutilização da água utilizada na lavagem de veículos. Diário Oficial do Estado, 15 mar. 2012

GOOD PRACTICES GUIDE FOR CAR WASH INSTALLATIONS, 2016. Disponível em: www.minaqua.org

GOMEZ Y.D., L.G. Teixeira Residential rainwater harvesting: effects of incentive policies and water consumption over economic feasibility Resour. Conserv. Recycl., 127 (2017), pp. 56-67.

GROBÉRIO, F.; BRAGA, F. S.; SOUZA, M. L.; BERTOLDE, A. I. Caracterização de resíduos sólidos oleosos de postos de serviço automotivo da cidade de Vitória – ES. 22º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, 2003.

HAFNER, ANA VRENI. Conservação e Reúso de Água em Edificações– experiências nacionais e internacionais [Rio de Janeiro] 2007. XVI, 161 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2007).

HAMADA, T.; MIYAZAKI, Y. Reuse of car wash water with a cellulose acetate ultrafiltration membrane aided by flocculation and activated carbon treatments. Desalination, v. 169, p. 257–67, 2004.

HASHIM, N.H., Zayadi, N., 2016. Pollutant's characterization of car wash wastewater. MATEC Web Conf. 8, 4–9.

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Estatísticas sociais. IBGE, 2019. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/27597-um-em-cada-tres-domicilios-nao-tinha-ligacao-com-rede-de-esgoto-em-2019>>. Acesso em: 28 jan. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Estatísticas sociais. IBGE, 2020. Disponível:<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?tipo=grafico&indicador=28122>>

JÖNSSON, C.; JÖNSSON, A. The influence of degreasing agents used at car washes on the performance of ultrafiltration membranes. *Desalination*, v. 100, p. 115–23, 1995.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C.A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 4. Ed Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005.

KARI, E., Kratzer, S., Beltran-Abaunza, J.M., Harvey, E.T.D., 2017. Retrieval of suspended particulate matter from turbidity – model development, validation, and application to MERIS data over the Baltic Sea. *Int. J. Rem. Sens.* 38 (7), 1983–2003.

LEÃO, E.A.S; Matta, M.A.S; Cavalcante, I.N.; Martins, J.A.C.; Diniz, C.G.; Vasconcelos, Y.B.; Carmona, K.M.; Vanzin, M.M. O reuso da água: um estudo de caso na lavagem de veículos em lava-jato de Belém /PA. XVI Congresso Brasileiro De Águas Subterrâneas E XVII Encontro Nacional De Perfuradores De Poços, 2010.

LUZ, Valdicléia Santos da. Reuso de água: estudo de caso em um lava jato em Cuiabá/MT. / Valdicléia Santos da Luz. _ Cuiabá, 2017. 46 f.

MAGALHÃES, 2005. Proposição, implantação, partida e ajustes de reatores biológicos e físico-químicos para tratamento e reciclagem de efluentes de lavadores de veículos em escala real. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reuso de água. 1 ed. Barueri: Manole, 2003. 591 p.

MARENGO, J. A.; Alves, L.M.; Valverde, M.C.; Rocha. R.P.; Laborbe, R. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: **Projeções de clima futuro usando três modelos regionais**. Relatório 5, Ministério

do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, fevereiro 2007.

MARENCO, J. A.; Dias, P. S. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J. G. (Ed.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP, Academia Brasileira de Ciências, 2006. p.63-109.

MARENCO, Jose; Nobre, C.; Tomasella, J.; Oyama, M.; Sampaio, G.; Oliveira, R.; Camargo, H.; Alves, L.; Brown, F. (2008). The Drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*. 21. 10.1175/2007JCLI1600.1.

MENDONÇA, Pedro A. O., Reuso de água em edifícios públicos – O caso da Escola Politécnica, Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.171p.

METCALF; EDDY. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819 p. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Diagnóstico.

MOAZZEM Shamima, Harish Ravishankar, Linhua Fan, Felicity Roddick, Veeriah Jegatheesan. Application of enhanced membrane bioreactor (eMBR) for the reuse of carwash wastewater (2020)

MONNEY, Isaac & Donkor, Emmanuel & Buamah, Richard. (2020). Clean vehicles, polluted waters: empirical estimates of water consumption and pollution loads of the carwash industry. *Heliyon*. 6. e03952. 10.1016/j.heliyon.2020.e03952.

MORELLI, Eduardo Bronzatti. Reuso de água na lavagem de veículos. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. doi:10.11606/D.3.2005.tde-29072005-140604. Acesso em: 2021-01-29.

NEVES, A.A.C., Estudo sobre resíduos sólidos em postos de combustíveis, funilarias e estabelecimentos de lavagem automotiva no município de São Carlos, visando

Indicadores de Sustentabilidade. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos, 2010. 184p. Tese Doutorado.

OLIVEIRA, A. L.; OLIVEIRA N. F. Flotação por ar dissolvido aplicada no tratamento de efluente de leitos de drenagem (2017). Revista DAE | núm. 218 | vol. 67 | julho a setembro de 2019 - DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.032>.

PANIZZA, G. M.; Cerisola, G. Applicability of electrochemical methods to carwash wastewaters for reuse. Part 2: electrocoagulation and anodic oxidation integrated process. Journal of Electroanalytical Chemistry, v. 63, p. 236–40, 2010.

PIOLTINE, A. Avaliação do Desempenho de Bomba Multifásica na Geração de Microbolhas de ar para o Processo de Flotação por Ar Dissolvido Aplicado ao pré-tratamento de Efluente de Indústria Textil. 96p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PONTES, A. F. Avaliação de Desempenho de Reator Anaeróbio-Aeróbio com Recirculação de Fase Líquida no Tratamento de Água Residuária Proveniente de Abatedouro de Aves. 127p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PUSCH, P. B.; GUIMARÃES, J. R.; GRASSI, M. T. Estimativa de cargas de metais a partir de fontes difusas de poluição urbana. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.

Quayson, J.N., Awere, E., 2018. Water-use and conservation in the commercial vehicle washing industry in urban Ghana: the case of Cape Coast metropolis. IRA-Int. J. Technol. Eng. 9 (3), 27 (ISSN 2455-4480).

QUEIROZ, R. N. F. Diagnóstico ambiental de águas residuárias de empreendimentos de lavagem de veículos em Mossoró/RN. 87 f. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Natal, 2014.

RIBEIRO, L. F, 2001. Aplicação de dióxido de cloro como alternativa para desinfecção de esgotos sanitários tratados através de lagoas de estabilização. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.

RICHTER, C. A. 2009. Água: métodos e tecnologia de tratamento. Editora Blucher 352 ISBN 9788521217244.

ROSA, L. G.; SOUSA, J. T. de.; LIMA, V. L. A. de.; ARAUJO, G. H.; SILVA, L. M. A. da.; LEITE, V. D. Caracterização de águas residuárias oriundas de empresas de lavagem de veículos e impactos ambientais. *Amibi-Água*, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 179-199, 2011

SABESP – Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Relatório Estabelecimento de Diretrizes Técnicas, Econômicas e Institucionais e de Programa de Ação para Implementação de Sistema de Água de Reuso na RMSP, São Paulo, 2002.

SÃO PAULO, LEI nº 16.160, DE 13 DE ABRIL DE 2015. Disponível em: <<http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-16160-de-13-de-abril-de-2015/consolidado>>. Acesso em: 28/01/2021

SÃO PAULO, DECRETO nº 8.468 DE 8 DE SETEMBRO DE 1976. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>>.

SCHNEIDER, R.P.; TSUTIYA, M.T. Membranas Filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso. Edição I, ABES, São Paulo, 2001.

SEBRAE, 2012. Lava-jato sustentável - Sustentabilidade Relatório de Inteligência.

SECRON, M. B. Avaliação de sistemas separadores água e óleo do tratamento de efluentes de lavagem, abastecimento e manutenção de veículos automotores. 2006. 257f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006

SILVEIRA, E. L. C.; COELHO, R. C.; MOITA NETO, J. M.; MOURA, C. V. R.; MOURA, E. M. Determinação de metais em óleos lubrificantes, provenientes de motores de ônibus urbano, utilizando a FAAS. *Quimica Nova*, São Paulo, v. 33, n. 9, p. 1863-1867, 2010.

SMITH, D. J. SHILLEY, HOLLIE, 2009. Residential Car Washwater Monitoring Study. City of Federal Way, Washington, Public Works, Surface Water management.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Site institucional, 2018. Disponível em: <<http://www.sinis.gov.br/>>. Acesso em: 02/01/2021

SOEIRO, E. C. Tratamento de Efluentes de Lava-jato via processo oxidativo avançado. Natal:UNP, 2014. 85p Dissertação Mestrado.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. Decisões Financeiras e Análise de Investimentos: Fundamentos, técnicas e aplicações. 6 ed. 186 p. São Paulo: Atlas, 2009

SUBTIL, Eduardo Lucas; Raphael Rodrigues, Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa, Water reuse potential at heavy-duty vehicles washing facilities – The mass balance approach for conservative contaminants, **Journal of Cleaner Production**, Volume 166, 2017.

TEIXEIRA, 2003. Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água Dissertação de Mestrado Universidade Estadual de Campinas.

TEKERE, M., Sibanda, T., Maphangwa, K.W., 2016. An assessment of the physicochemical properties and toxicity potential of carwash effluents from professional carwash outlets in Gauteng Province, South Africa. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.* 23 (12), 11876–11884.

TELLES, D' A; Costa R. H. P. G. Reuso da água – conceitos, teorias e práticas, 2 Edição, Blusher, São Paulo 2010 pg 153-161 2 Ed.2010

TOMAZ, P. Caixa de retenção de óleo e sedimento. In: TOMAZ, Plínio. Manejo de águas pluviais. São Paulo: Navegar, p. 1-51, 2008.

USEPA, Waste minimization opportunity assessment manual, epa/625/7-88/003, Office of the Research and Development, Cincinnati, Ohio, 45268, 1980.

W.J. LAU, A.F. Ismail, S. Firdaus, Car wash industry in Malaysia: Treatment of car wash effluent using ultrafiltration and nanofiltration membranes, *Separation and Purification Technology*, Volume 104, 2013.

ZANETI, R.; Etchepare, R.; Rubio, J. Car wash wastewater reclamation. Full-scale application and upcoming features. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, p. 953–959, 2011.