

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SAMUEL AUDI R. DOS SANTOS

**PROPOSTA DE REÚSO NÃO POTÁVEL DE EFLUENTE INDUSTRIAL NA  
INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA: ESTUDO DE CASO PARA FÁBRICA DE  
CABINES DE CAMINHÕES**

CURITIBA

2016

SAMUEL AUDI R. DOS SANTOS

**PROPOSTA DE REÚSO NÃO POTÁVEL DE EFLUENTE INDUSTRIAL NA  
INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA: ESTUDO DE CASO PARA FÁBRICA DE  
CABINES DE CAMINHÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com o SENAI-PR e a Universidade de Stuttgart, Alemanha, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mônica Beatriz Kolichski  
Coorientadores: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karen Juliana do Amaral  
Prof. Dr. Uwe Menzel

CURITIBA

2016

Dados internacionais de catalogação na publicação  
Bibliotecária responsável: Mara Rejane Vicente Teixeira

Santos, Samuel Audi R. dos.

Proposta de reuso não potável de efluente industrial na indústria automobilística: estudo de casos para fábrica de cabines de caminhões / Samuel Audi R. dos Santos. - Curitiba, 2016.  
90 f. : il.,grafs, tabs. ; 30 cm.

Orientador: Mônica Beatriz Kolicheski.

Coorientadores: Karen Juliana do Amaral e Uwe Menzel.

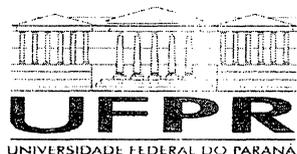
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

Setor de Tecnologia, Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, em parceria com SENAI-PR e a Universidade de Stuttgart, Alemanha.

Bibliografia: f. 81-84.

1. Água – Uso . 2. Indústria automobilística. 3. Abastecimento de água na indústria. I. Kolicheski, Mônica Beatriz. II. Amaral, Karen Juliana do. III. Menzel, Uwe. IV. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial. V. Título.

CDD 363.61



## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **SAMUEL AUDI RODRIGUES DOS SANTOS** intitulada: **PROPOSTA DE REUSO NÃO POTÁVEL DE EFLUENTE INDUSTRIAL NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA: ESTUDO DE CASO PARA A FÁBRICA DE CABINES DE CAMINHÕES**, após terem inquirido o aluno e realizado e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

Curitiba, 10 de Outubro de 2016.

  
MÔNICA BEATRIZ KOCH CHESKI  
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

  
LEANDRO WIEMES

Avaliador Externo (IEL)

  
MARIELLE FEILSTRECKER

Avaliador Externo (UFPR)

*À Deus pelo dom da vida e por ser o firme fundamento da nossa família! Às minhas amadas Rosângela (esposa) e Angel (filha) pelo companheirismo, incentivo incondicional nos momentos difíceis ao longo desta caminhada e fonte de inspiração para manutenção do foco neste projeto de vida. Saibam sempre que tudo que faço é pensando sempre no melhor para vocês, meus Amores!*

## AGRADECIMENTOS

A minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mônica Beatriz Kolicheski por todo apoio, dedicação, paciência, acompanhamento, motivação, amizade e me desafiar a acreditar que este projeto era possível mesmo diante de tantas adversidades.

Aos meus coorientadores Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karen Amaral e Prof. Dr. Uwe Menzel pela ajuda nesta empreitada.

Às Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Margarete Casagrande Lass Erbe e Prof.<sup>a</sup> M. Sc. Marielle Feilstrecker pela valiosa participação como membros da banca de qualificação.

Ao Prof. Dr. Leandro Wiemes pelo apoio e disponibilidade em participar como membro externo da banca de defesa.

Às instituições UFPR, SENAI-PR e *Universität Stuttgart* e a todos os professores do Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI).

À Volvo do Brasil Veículos Ltda. pelo apoio e colaboração no desenvolvimento deste estudo de caso, por meio do fornecimento de dados e diversas contribuições para o sucesso deste trabalho. Em especial, agradeço aos colegas Fábio Tokuu (Coordenador Ambiental GTO) e Maurício Silva (Técnico Produção) pelas preciosas informações e discussões técnicas em relação ao processo de fabricação de cabines de caminhões.

À estudante Letícia Garcia (Engenharia Química da UFPR) pelo excelente trabalho e ajuda nas diversas simulações em relação aos balanços de massa e propostas de reúso apresentadas.

Aos meus amados pais Aurélio Santos e Dilva Santos por serem sempre uma referência para mim, pelo amor incondicional e por me ensinarem os valores corretos nesta vida.

*Quando recebemos um ensinamento devemos receber como um valioso presente, e não como uma dura tarefa. Eis aqui a diferença que transcende.*

Albert Einstein

## RESUMO

O setor industrial é responsável pela demanda de 17% de toda a água consumida no mundo. Dentre as práticas para racionalização do uso e conservação dos recursos hídricos se encontra o reúso e a recuperação de águas residuárias, que vêm ganhando maior visibilidade com o incremento dos custos de abastecimento de água bruta, do tratamento e da disposição final dos efluentes tratados. O objetivo deste trabalho foi avaliar alternativas para o reúso de água industrial não potável, a partir de efluentes industriais gerados em uma linha de pré-tratamento de superfícies de uma fábrica de produção de cabines de caminhões. A redução dos impactos ambientais, por meio da conservação de água bruta, ou seja, disponibilizando volumes de água para usos mais nobres e cooperando com a redução dos efluentes gerados a serem tratados, apresentou-se como uma das principais justificativas deste estudo. As ferramentas utilizadas foram o levantamento de dados quantitativos sobre demanda de água e geração de efluentes obtidos em campo, a caracterização da água industrial e desmineralizada por meio de análises de pH, condutividade, TDS, DQO e turbidez, a caracterização dos efluentes gerados em cada estágio dos banhos responsáveis pelo processo de pré-tratamento de superfícies por meio de análises de pH, condutividade, TDS e DQO e a caracterização na entrada e saída da estação de tratamento de efluentes industriais (ETEI) onde foram realizadas análises de pH, condutividade, TDS, DQO e turbidez. Com estas informações foi possível avaliar diferentes opções de reúso do efluente sem tratamento e de reúso após o tratamento na ETEI. Os resultados obtidos indicaram que os banhos de enxágues representaram aproximadamente 80% de toda fonte de geração de efluentes em um processo de pré-tratamento de superfícies preliminar à pintura, assim como efluentes que apresentaram características físico-químicas com boas possibilidades para o reúso em cascata. Uma comparação entre o perfil físico químico do efluente na saída da ETEI e a qualidade de água industrial utilizada no processo indicou que é necessário o uso de tecnologias avançadas para permitir o reúso do efluente na saída da ETEI.

Palavras-chave: Reúso de Efluente em Cascata. Pré-tratamento de Pintura. Balanço hídrico.

## ABSTRACT

The industrial sector is responsible for 17% of demand for all water consumed worldwide. Among the practices for rational use and conservation of water resources is the reuse and recovery of wastewater, which are gaining greater visibility due to the increase of costs of raw water supply, treatment and final disposal of the treated effluent. This study aims at the evaluation of alternatives to the reuse of non-potable industrial water derived from wastewater generated in a line of pre-treatment of surfaces of a truck cabins production plant. The reduction of environmental impacts through the raw water conservation, that is, the provision of water volumes for more noble uses and cooperating with the reduction of effluents to be treated, is presented as one of the main reasons of this work. The tools used to achieve the purposes of this study were quantitative data survey on demand for water and wastewater generation from the field, characterization of industrial and demineralized water by means of pH, conductivity, TDS, COD and turbidity analysis, the characterization of the effluents at each stage of the baths responsible for the pre-surface treatment process by means of pH, conductivity, TDS and COD analysis and characterization in input and output of industrial wastewater treatment station (ETEI) where pH, conductivity, TDS, COD and turbidity analyzes were performed. Based on this information it was possible to evaluate different options for reuse of wastewater without treatment and reuse after treatment in ETEI. The results indicated that the rinses baths represented approximately 80% of all source of effluent generation in a process of pretreating of surfaces prior to painting, as well as effluents that showed physico-chemical properties with good possibilities for cascading reuse. A comparison of the physical-chemical profile of the effluent in ETEI output and quality of industrial water used in the process indicated that it is necessary to use advanced technology to enable the reuse of the effluent in ETEI output.

Keywords: Reuse of Cascading Effluent. Paint Pretreatment. Water balance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 -	CAMINHÕES PRODUZIDOS BRASIL - 2006-2015.....	19
FIGURA 2 -	ESQUEMA DO PROCESSO DE PINTURA DE CABINES .....	20
FIGURA 3 -	ESQUEMA DA PINTURA POR ELETROFORESE CATÓDICA ...	23
FIGURA 4 -	MECANISMO DE DEPOSIÇÃO DA PINTURA POR ELETROFORESE .....	24
FIGURA 5 -	ESQUEMA DO SISTEMA DE UF DA PINTURA KTL .....	25
FIGURA 6 -	FLUXOGRAMA DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUA ....	37
FIGURA 7 -	FLUXOGRAMA DO PRÉ-TRATAMENTO DE PEÇAS METÁLICAS E PLÁSTICAS + <i>E-COAT</i> .....	39
FIGURA 8 -	FLUXOGRAMA ETEI DA FÁBRICA DE PRODUÇÃO DE CABINES .....	43
FIGURA 9 -	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES .....	48
FIGURA 10 -	BALANÇO DE MASSA GENÉRICO PARA A OBTENÇÃO DO ACÚMULO DE TDS NO SISTEMA .....	50
FIGURA 11 -	DIAGRAMA PARA DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO .....	51
FIGURA 12 -	CONSUMO MENSAL DE ÁGUA INDUSTRIAL NOS ESTÁGIOS TQ-01, TQ-02, TQ-03, TQ-04 E TQ-05 – JANEIRO A DEZEMBRO DE 2014 .....	55
FIGURA 13 -	CONSUMO MENSAL DE ÁGUA DI NOS ESTÁGIOS 6, 7, E- COAT E PW - 2014.....	57
FIGURA 14 -	DISTRIBUIÇÃO DA VAZÃO DE EFLUENTES POR ESTÁGIO ....	59
FIGURA 15 -	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DOS PRINCIPAIS PONTOS DE CONSUMO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES .....	64
FIGURA 16 -	ALTERNATIVA DE TRATAMENTO DO EFLUENTE NA SAÍDA DA ETEI .....	77

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ETAPAS DO PRÉ-TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES.....	21
QUADRO 2 - ATIVIDADES, ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS IDENTIFICADOS NO PROCESSO DE TTS.....	28
QUADRO 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS ESTÁGIOS USADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES .....	30
QUADRO 4 - OPERAÇÕES UNITÁRIAS E PROCESSOS USADOS PARA REMOÇÃO DE COMPONENTES PRESENTES EM EFLUENTES .....	30
QUADRO 5 - ALGUMAS PRÁTICAS DE REÚSO NO MUNDO E NO BRASIL .....	36
QUADRO 6 - ESTÁGIOS PRESENTES NA LINHA DE PRÉ-TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE DE CABINES E PEÇAS PLÁSTICAS .....	40
QUADRO 7 - COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA EXIGIDA PARA OS PROCESSOS DE TTS E CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE GERADO NOS MESMOS PROCESSOS.....	66
QUADRO 8 - HIPÓTESES DE REÚSO AVALIADAS .....	70
QUADRO 9 - COMPARATIVO DAS HIPÓTESES DE REÚSO .....	75

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VALORES MÉDIOS DA ÁGUA INDUSTRIAL DE JANEIRO A DEZEMBRO 2014.....	53
TABELA 2 - NECESSIDADE DE ÁGUA INDUSTRIAL ESTÁGIOS TQ-01, TQ-02, TQ-03, TQ-05, DE JANEIRO A DEZEMBRO 2014.....	54
TABELA 3 - VALORES MÉDIOS DA ÁGUA DESMINERALIZADA DE JANEIRO A DEZEMBRO 2014.....	56
TABELA 4 - DEMANDA DE ÁGUA DESMINERALIZADA ESTÁGIOS TQ-06, TQ-07, <i>E-COAT</i> / ANOLITO, DESENGRAXE <i>POWER WASH</i> , ENXÁGUES <i>POWER WASH</i> 1 E 2 DE JANEIRO A DEZEMBRO 2014.....	56
TABELA 5 - VAZÃO DE EFLUENTES GERADOS NOS PONTOS TQ-01, TQ-02, TQ-03, TQ-04, TQ-05, TQ-06, TQ-07, <i>E-COAT</i> / ANOLITO, DESENGRAXE <i>POWER WASH</i> , ENXÁGUES <i>POWER WASH</i> 1 E 2 DE JANEIRO A DEZEMBRO 2014 .....	58
TABELA 6 - CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES GERADOS EM CADA ETAPA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES DE JANEIRO A DEZEMBRO DE 2014 .....	61
TABELA 7 - VAZÕES DE EFLUENTE TRATADO NA ETE FÍSICO-QUÍMICA DA FÁBRICA DE CABINES EM 2014 .....	62
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE BRUTO NA ENTRADA E SAÍDA DA ETEI - FÁBRICA DE CABINES, 2014.....	62
TABELA 9 - PROPRIEDADES DA CORRENTE DE REÚSO EM CASCATA (OPÇÕES 3, 4, 5, 6 E 7) .....	71
TABELA 10 - PROPRIEDADES DA CORRENTE DO EFLUENTE A SER ENVIADO PARA A ETEI COM A IMPLEMENTAÇÃO DO REÚSO EM CASCATA (HIPÓTESES 3, 4, 5, 6 E 7) .....	72
TABELA 11 - COMPARAÇÃO DA CARGA DE TDS INCORPORADA NO SISTEMA ( <i>G</i> ) COM A IMPLEMENTAÇÃO DO REÚSO EM CASCATA (HIPÓTESES 3, 4, 5, 6 E 7) .....	73

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABTS	- Associação Brasileira de Tratamento de Superfícies
ANFAVEA	- Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CNI	- Confederação Nacional das Indústrias
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
ETEI	- Estação de Tratamento de Efluentes Industriais
GLP	- Gás Liquefeito de Petróleo
KTL	- E-Coat
MBR	- Biorreator de Membranas
NTU	- Unidade Nefelométrica de Turbidez
OR	- Osmose Reversa
PSM	- Processo de Separação por Membranas
SANEPAR	- Companhia de Saneamento do Paraná
SÃO	- Separador de Água e Óleo
TDS	- Sólidos Totais Dissolvidos
TTS	- Tratamento de Superfícies
UF	- Ultrafiltração
VMP	- Valor Máximo Permitido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.2	OBJETIVOS .....	17
1.2.1	Objetivo geral .....	17
1.2.2	Objetivos específicos.....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
2.1	A INDÚSTRIA DE CAMINHÕES NO BRASIL .....	18
2.2	PRODUÇÃO DE CABINES .....	19
2.2.1	Processos de armação e solda .....	20
2.2.2	Processo de pré-tratamento de superfície.....	21
2.2.2.1	Pré-tratamento para peças plásticas ( <i>Power wash</i> ) .....	22
2.2.3	Processo de pintura por eletrodeposição .....	22
2.2.4	Aplicação do selante .....	26
2.2.5	Aplicação da tinta de fundo ( <i>primer</i> ) .....	26
2.2.6	Aplicação da tinta de base ( <i>topcoat</i> ) e verniz.....	26
2.2.7	Aplicação da cera em cavidades .....	27
2.3	PRINCIPAIS PROBLEMAS AMBIENTAIS RELACIONADOS AO PROCESSO DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES NA PRODUÇÃO DE CABINES .....	27
2.3.1	Tratamento dos efluentes gerados no processo de pré-tratamento de pintura na fabricação de cabines automobilísticas .....	29
2.3.2	Remoção de metais em efluentes gerados no processo de pré- tratamento de pintura na fabricação de cabines automobilísticas .....	31
2.4	REÚSO DE EFLUENTES.....	32
2.4.1	Reúso para fins industriais não potáveis .....	33
2.4.1.1	Reúso direto (em cascata).....	33
2.4.1.2	Reúso do efluente tratado .....	34
2.4.2	Práticas de reúso industrial não potável no mundo e no Brasil .....	34
<b>3</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	37
3.1	PROCESSO DE PRÉ-TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES E PINTURA POR ELETRODEPOSIÇÃO .....	38
3.2	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS DA PLANTA DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES .....	41

<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>44</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA INDUSTRIAL E DA ÁGUA DESMINERALIZADA USADA NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES .....	44
4.2	IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS PONTOS DE USO DE ÁGUA INDUSTRIAL E DE ÁGUA DESMINERALIZADA NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES .....	44
4.3	IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS PONTOS DE GERAÇÃO DE EFLUENTES NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES.....	45
4.4	CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES GERADOS EM CADA ESTÁGIO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES.....	45
4.5	CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE NA ENTRADA E SAÍDA DA ETEI DA PLANTA DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES.....	46
4.6	ANÁLISES REALIZADAS.....	46
4.6.1	Determinação do pH.....	46
4.6.2	Determinação da condutividade e sólidos totais dissolvidos (TDS).....	47
4.6.3	Determinação da turbidez.....	47
4.6.4	Determinação da demanda química de oxigênio (DQO) .....	47
4.7	BALANÇO HÍDRICO NA LINHA DE PRÉ-TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES.....	47
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>53</b>
5.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA INDUSTRIAL E DESMINERALIZADA UTILIZADA NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES .....	53
5.2	PRINCIPAIS PONTOS DE GERAÇÃO DE EFLUENTES NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES.....	57
5.3	CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES GERADOS EM CADA ESTÁGIO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES.....	60

5.4	CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE NA ENTRADA E SAÍDA DA ETE DA PLANTA DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES.....	62
5.5	BALANÇO HÍDRICO NA LINHA DE PRÉ-TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES.....	64
5.6	PROPOSTAS DE REÚSO COM A FINALIDADE DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA E DE EFLUENTES PARA A PLANTA DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES .....	69
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>78</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>81</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A escassez de recursos hídricos, resultado de uma demanda excessiva e poluição, tem se apresentado como um dos temas de maior relevância nas grandes metrópoles ao redor do mundo. Pode-se citar a crise hídrica vivenciada pelo Estado de São Paulo em 2015 (JACOBI; CIBIM; LEÃO, 2015), a qual teve impacto direto na qualidade de vida dos cidadãos e na produtividade dos diversos segmentos industriais que demandam um grande volume de água para os seus processos, entre eles as operações de pré-tratamento de pintura, em indústrias automobilísticas, assim como na indústria petroquímica, na qual os sistemas de torres de resfriamento demandam grandes vazões de água ao longo de todo o processo de produção.

Com base neste cenário, e a atuação profissional em diversas empresas permitiu a observação de que as indústrias, dentre elas as do segmento automobilístico, têm se preocupado cada vez mais em atuarem com uma postura que valoriza o gerenciamento dos seus principais aspectos ambientais, dentre eles o valioso recurso natural finito que é a água, que para este tipo de indústria é um dos mais significativos indicadores ambientais.

Seiffert (2007) afirma que a necessidade de conciliar o crescimento e a conservação ambiental, duas questões que antes eram tratadas separadamente, levou à criação e ao amadurecimento do conceito de desenvolvimento sustentável. As empresas têm se sensibilizado à medida que as legislações ou pressão por parte de órgão ambientais forçam o sistema a atender os requisitos legais, mas praticamente estas ações de melhorias ambientais não vão além do que atividades compulsórias.

Dentre os recursos naturais imprescindíveis aos processos industriais estima-se que 17% de toda a água consumida no Brasil é utilizada pelo setor industrial. (WORLD BANK, 2014). Assim, o gerenciamento dos recursos hídricos na indústria tem se tornado cada vez mais importante, tanto do ponto de vista operacional, quanto ambiental. Dentre as práticas para racionalização do uso e conservação dos recursos hídricos se encontra o reúso e a recuperação de águas residuárias, que vem ganhando maior visibilidade com o incremento dos custos de abastecimento de água bruta, do tratamento e da disposição final dos efluentes tratados. Diante deste cenário observou-se um incentivo econômico para a implementação do reúso de água, assim como o reciclo de água ao longo dos diversos processos industriais. (JUDD, 2001; TELLES *et al.*, 2010).

Na área industrial, além do incentivo econômico tem-se uma legislação ambiental cada vez mais rigorosa, intensa e restritiva, e surgem diversas tecnologias no tratamento de águas industriais, o que vem viabilizar a aplicação de melhores alternativas no reúso e reaproveitamento de água nos diversos processos industriais.

A escassez de água pode ter efeitos graves em alguns dos principais setores industriais. Em 2014, o Programa de Água da Organização (CDP) identificou que 53% dos entrevistados do setor industrial demonstraram preocupação com os riscos de escassez de água nas operações diretas, e 26% na cadeia de valor. (CDP, 2014).

Observações no setor automobilístico permitiram verificar que o mesmo também apresenta uma forte dependência no uso da água ao longo dos seus diversos processos produtivos, dentre eles, o processo de pré-tratamento de pintura de cabines.

As indústrias estão aplicando grandes recursos financeiros para reduzir o consumo de água, sendo o reúso de efluentes industriais, tratados ou não, uma excelente opção para se atingir o objetivo almejado.

Embora o reúso de água e efluentes, seja uma alternativa com significativo potencial para minimizar as pressões sobre os recursos hídricos disponíveis, é válido ressaltar, que a utilização desta ferramenta deve ser adequadamente planejada, de modo que as atividades relacionadas não corram risco, assim como a credibilidade de tal instrumento seja colocada em dúvida. (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Uma das maiores dificuldades encontradas na implantação de um programa de reúso industrial está no atendimento do fornecimento de uma água com as características requisitadas pelo processo fim.

De acordo com Mancuso e Santos (2003), não se pode mais considerar que o reúso de água seja uma opção incomum no contexto global, pois esta realidade apresenta benefícios diretos e indiretos para as indústrias.

Dentre estes benefícios, o reúso de efluente industrial permite a redução na captação de água, além da queda nos descartes dos efluentes gerados ao longo dos processos industriais.

Em vista do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar alternativas de reúso dos efluentes industriais para o setor de pinturas de uma indústria de produção de cabines de caminhões.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Propor alternativas de reúso não potável de efluentes industriais em um processo de pré-tratamento de superfícies preliminar à pintura de cabines de caminhões.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Caracterizar as águas usadas na linha de pré-tratamento de superfícies (água industrial e água desmineralizada).
- b) Identificar os principais pontos de uso de água na linha de pré-tratamento de superfícies no processo de fabricação de cabines de caminhões.
- c) Identificar os principais pontos de geração de efluentes na linha de pré-tratamento de superfícies no processo de fabricação de cabines de caminhões.
- d) Caracterizar os efluentes gerados em cada estágio da linha de pré-tratamento de superfícies.
- e) Caracterizar o efluente na entrada e saída da ETEI da planta de fabricação de cabines de caminhões.
- f) Realizar o balanço hídrico na linha de pré-tratamento de superfícies no processo de fabricação de cabines de caminhões.
- g) Elaborar propostas de reúso com a finalidade de redução do consumo de água e de efluentes na planta de fabricação de cabines de caminhões.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com a intensificação de problemas relacionados à escassez observa-se um maior interesse por parte de vários setores econômicos, dentre eles o segmento da indústria automobilística, no gerenciamento dos principais processos que demandam o uso da água como um insumo fundamental durante as etapas de fabricação de veículos. Este gerenciamento deve buscar aprimorar as questões que envolvem o consumo de água e a geração de efluentes, enfocando-se os conceitos de minimização de perdas, o uso racional, alternativas de tratamento e o reúso dos efluentes gerados e tratados. (AQUINO, 2014).

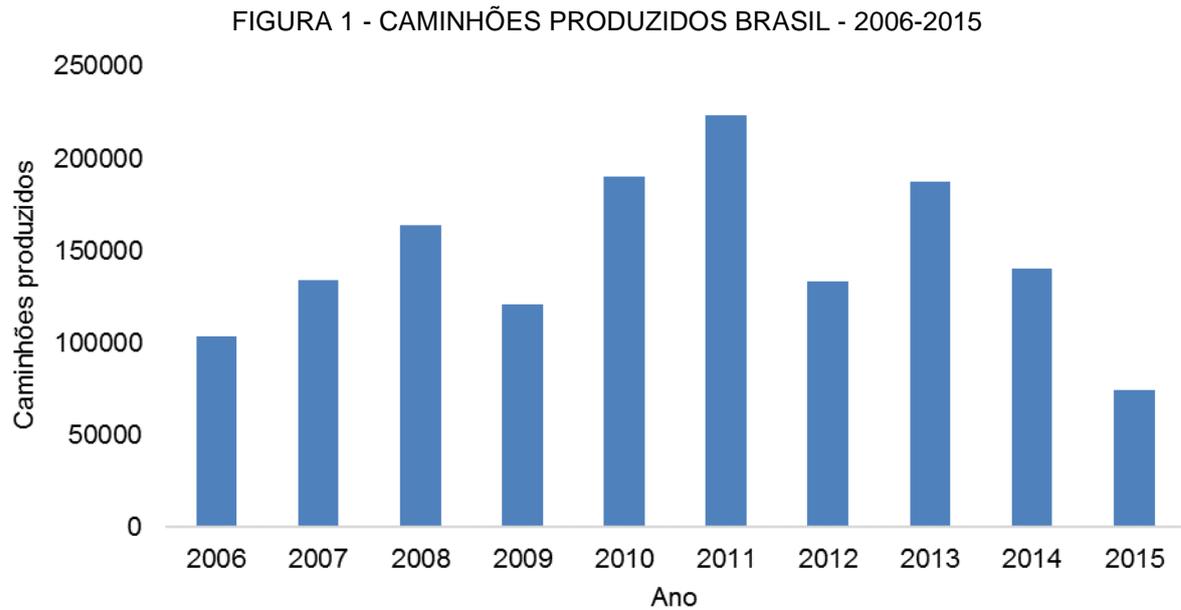
### 2.1 A INDÚSTRIA DE CAMINHÕES NO BRASIL

O setor automobilístico no Brasil contava em 2015 com um parque industrial composto por 65 unidades industriais (veículos, máquinas agrícolas e rodoviárias, motores e componentes). (ANFAVEA, 2016a).

As fábricas estão sediadas em 11 estados (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás, Bahia, Ceará, Pernambuco e Amazonas), ou seja, em todas as regiões do país. (ANFAVEA, 2016a). Estas indústrias consumiam em 2012, em média, 3,9 m<sup>3</sup> de água/veículo e geravam elevadas quantidades de efluentes. (CNI, 2012).

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016a) existiam, em 2015 no Brasil, 10 montadoras de caminhões instaladas e produzindo veículos nas categorias semi-leves, médios e pesados.

No período de 2006 a 2015 foram produzidos um total de 1.469.814 caminhões em todo parque fabril instalado no Brasil. (ANFAVEA, 2016b). A Figura 1 apresenta a variação da quantidade de caminhões produzidos no Brasil neste período.



FONTE: Adaptada de ANFAVEA (2016b).

A queda abrupta no volume de produção ao longo do ano de 2015 reflete o período de crise social, política e econômica vivenciada no Brasil, gerando uma recessão aguda nos setores de manufatura industrial e, por consequência, no segmento de transporte de cargas.

## 2.2 PRODUÇÃO DE CABINES

A fábrica de cabines é constituída pelas áreas de solda e pintura. O processo de pintura envolve várias etapas de pré-tratamento para preparação da superfície metálica antes da pintura final. O principal objetivo do tratamento de superfície (TTS) é transformar uma superfície condutiva em uma não condutiva por meio da deposição química de uma camada de fosfato que servirá de base para a pintura, garantindo assim a qualidade final do produto contra corrosão. De uma forma geral, desengraxe, enxagues, fosfatização e enxague final com água deionizada são os principais estágios do TTS. (WIEMES, 2003).

Na Figura 2 está um esquema com a representação do processo produtivo que resume as etapas do processo de fabricação e pintura de cabines.

FIGURA 2 - ESQUEMA DO PROCESSO DE PINTURA DE CABINES



FONTE: Adaptado de VOLVO DO BRASIL (2013).

A seguir serão detalhadas as etapas do processo de fabricação e pintura de cabines apresentadas na Figura 2.

### 2.2.1 Processos de armação e solda

Na indústria de fabricação de veículos, o termo carroceria ou cabines, no caso da fabricação de caminhões, é o resultado dos processos de encaixe, soldagem e fixação de peças metálicas e/ou plásticas. No processo de solda e ponteamto é necessário o uso de água industrial para o resfriamento das ponteiras. Para minimização do risco de problemas de entupimento e superaquecimento dos sistemas é comum o uso de inibidores de incrustação no circuito de água de resfriamento. (MACHADO JR., 2003).

O nível de automação e robótica nesta etapa do processo é elevado. Com o término desta fase, o produto montado é direcionado ao próximo estágio do processo produtivo, que é a linha de pré-tratamento de superfícies preliminar à pintura. (WIEMES, 2013).

## 2.2.2 Processo de pré-tratamento de superfície

O processo de pré-tratamento de superfície (TTS) é composto por várias etapas, as quais estão apresentadas no Quadro 1, de forma resumida. O TTS, antecede a etapa de pintura de acabamento.

QUADRO 1 - ETAPAS DO PRÉ-TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES

<b>Desengraxe</b>	A função da etapa de desengraxe é remover contaminantes, como óleos e graxas, limalhas e outros tipos de sólidos da superfície da cabine oriunda do processo de solda. Nesta etapa as cabines são limpas com a utilização de uma solução aquosa preparada com agentes alcalinos (3,0 a 30,0 g/L) e agentes tensoativos. A temperatura do banho é controlada entre 50 e 60 °C. Este processo de limpeza pode ser por imersão ou por aspersão. Por se tratar de um circuito fechado, e como consequência a elevação da concentração de óleo no banho, existe a necessidade de uma renovação periódica da solução. Fatores, tais como, volume de produção, volume do tanque, tipos e quantidades de contaminantes, número de estágios de desengraxe e presença ou não de sistemas de filtros, influenciam diretamente no tempo da vida útil de um banho de desengraxe. Com o objetivo de se prolongar a vida útil do banho, são utilizados processos como: flotação, filtração, ultrafiltração e centrifuga para remoção contínua do óleo acumulado na atividade de desengraxe.
<b>Enxágue pós-desengraxe</b>	A etapa seguinte do processo é o enxágue por meio de aspersão com água industrial à temperatura ambiente. O objetivo principal desta etapa é remover o residual da solução desengraxante que tenha permanecido sobre a superfície das cabines, evitando-se a contaminação dos estágios subsequentes do processo. Este banho caracteriza-se por trabalhar em regime de transbordamento contínuo.
<b>Condicionamento</b>	O condicionamento adota um banho composto por um produto a base de sais de titânio, o qual tem a finalidade de condicionar e ativar as superfícies para a fase seguinte, a fosfatização, visando garantir uma camada de fosfato densa e homogênea. O banho opera à temperatura ambiente.
<b>Fosfatização</b>	A solução aquosa diluída utilizada nesta etapa do processo é preparada a partir de um fosfato tricatiônico, contendo, zinco, níquel e manganês, que ao serem depositados sobre a superfície da cabine formam uma camada de cristais, melhorando a adesão e a resistência à corrosão. A temperatura do banho é controlada entre 50 e 60 °C.
<b>Enxágue pós-fosfatização</b>	O enxágue é realizado com água industrial e tem a finalidade de remover os sais residuais e a acidez provenientes do estágio de fosfatização, evitando-se desta forma a contaminação da etapa posterior, a passivação. Este banho opera com sistema de transbordamento contínuo e à temperatura ambiente.
<b>Passivação</b>	A solução do banho de passivação é preparada com água desmineralizada (DI) e um produto inorgânico contendo zircônio em sua formulação. Em razão da presença de porosidade na camada cristalina de fosfato, torna-se importante o uso do passivador que permite o preenchimento destas frestas, impedindo-se assim a formação de corrosão. Esta etapa opera à temperatura ambiente.
<b>Enxágue com água desmineralizada</b>	A etapa final é o enxágue realizado com água desmineralizada (DI) e ocorre em razão da necessidade do uso de uma água com valor de condutividade $\leq 10 \mu\text{S/cm}$ , a qual tem a finalidade de remover os sais residuais e a acidez em excesso, remanescentes da etapa de passivação, evitando-se desta forma a contaminação da etapa posterior. Este banho opera com sistema de limpeza por imersão e à temperatura ambiente.

FONTE: MONTAGNOLI (2005); STREITBERGER; DÖSSEL (2008); HENKEL (2013).

### 2.2.2.1 Pré-tratamento para peças plásticas (*Power wash*)

A unidade para o pré-tratamento de peças plásticas, dentre estas, paralamas, frontal inferior, extensão de porta, capa de farol e saia lateral, é projetada como um sistema contínuo e consiste basicamente de uma etapa de desengraxe, duas etapas de enxágues e sopramento final para secagem das peças, as quais na sequência são montadas e enviadas para pintura juntamente com a cabine do caminhão. No estágio de desengraxe as peças plásticas são limpas com uma solução preparada com água desmineralizada e produtos químicos a base de desengraxantes ácidos e tensoativos específicos para limpeza de materiais plásticos. A temperatura da solução é controlada em 65 °C. (DURR, 2012).

Na etapa de enxágue do processo os produtos químicos que aderem à peça são removidos com água desmineralizada. A remoção ocorre por meio de bicos aspersores. (GOLDSCHMIDT; STREITBERGER, 2003).

### 2.2.3 Processo de pintura por eletrodeposição

O sistema de pintura eletroforética ou eletrodeposição catódica (KTL<sup>1</sup> ou *E-coat*) é o método mais eficiente para revestir componentes metálicos de geometria complexa, com o objetivo de garantir características anticorrosivas à peça. Dentre as principais aplicações do revestimento por meio da eletrodeposição catódica encontram-se carrocerias automobilísticas, auto-peças e partes de eletrodomésticos. (GUNDUZ, 2016).

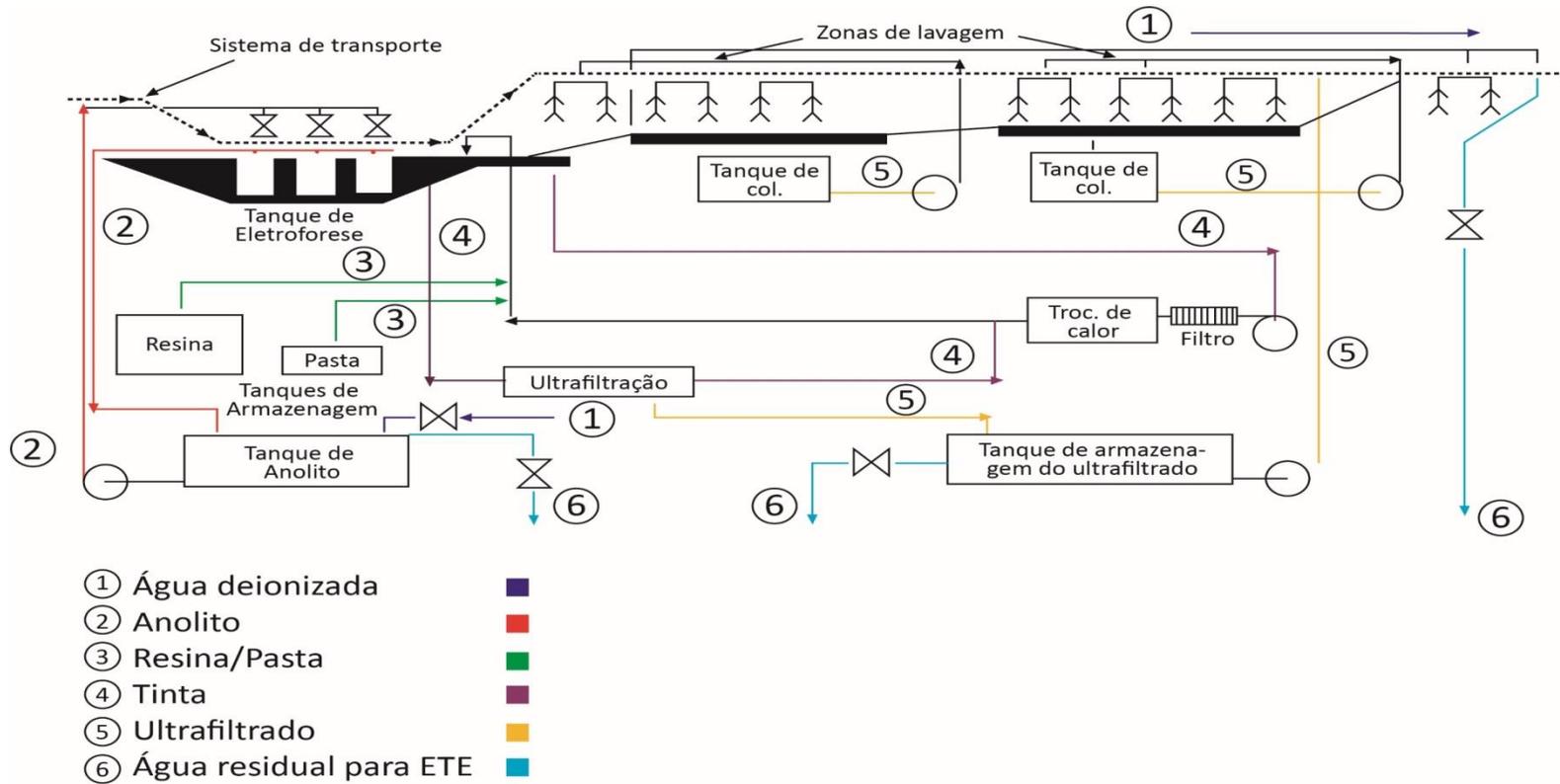
As etapas da pintura eletroforética são: pintura, enxágue, cura e resfriamento. As etapas de pintura e enxágue estão representadas na Figura 3. Para aproveitamento da tinta, um sistema de recuperação da mesma por ultrafiltração é adotado (BASF, 2010), como mostra a Figura 3.

Na configuração representada na Figura 3 as etapas de enxágues (zonas de lavagem) são realizadas por um sistema de aspensão, porém também podem ser adotados o enxágue por imersão.

---

<sup>1</sup> Terminologia alemã **Kathodische Tauch Lackierung**.

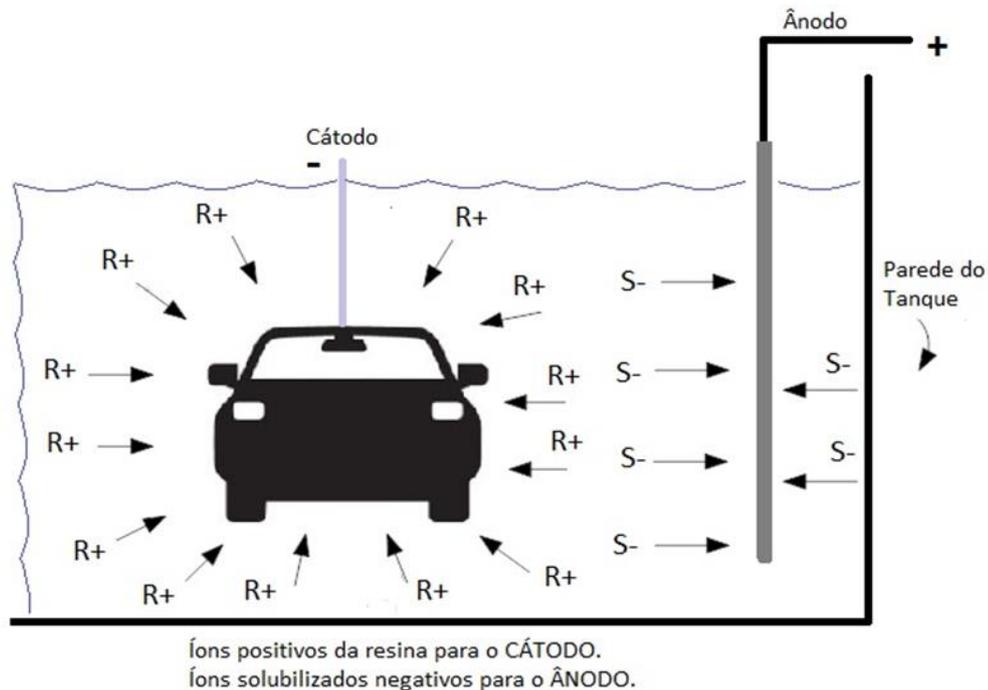
FIGURA 3 - ESQUEMA DA PINTURA POR ELETROFORESE CATÓDICA



FONTE: Adaptado de BASF (2010).

Na pintura eletroforética (Figura 3) e (Figura 4) aplica-se uma corrente elétrica contínua e uma diferença de potencial, depositando-se um revestimento à base de resina, acontecendo a formação de uma película uniforme e resistente na superfície do componente. O banho de tinta é constituído por 80% a 90% de água DI e de 10% a 20% de tinta (pasta e resina) mantido em circulação contínua e temperatura controlada em  $30 \pm 2$  °C. (MONTAGNOLI, 2005; BASF, 2010).

FIGURA 4 - MECANISMO DE DEPOSIÇÃO DA PINTURA POR ELETROFORESE



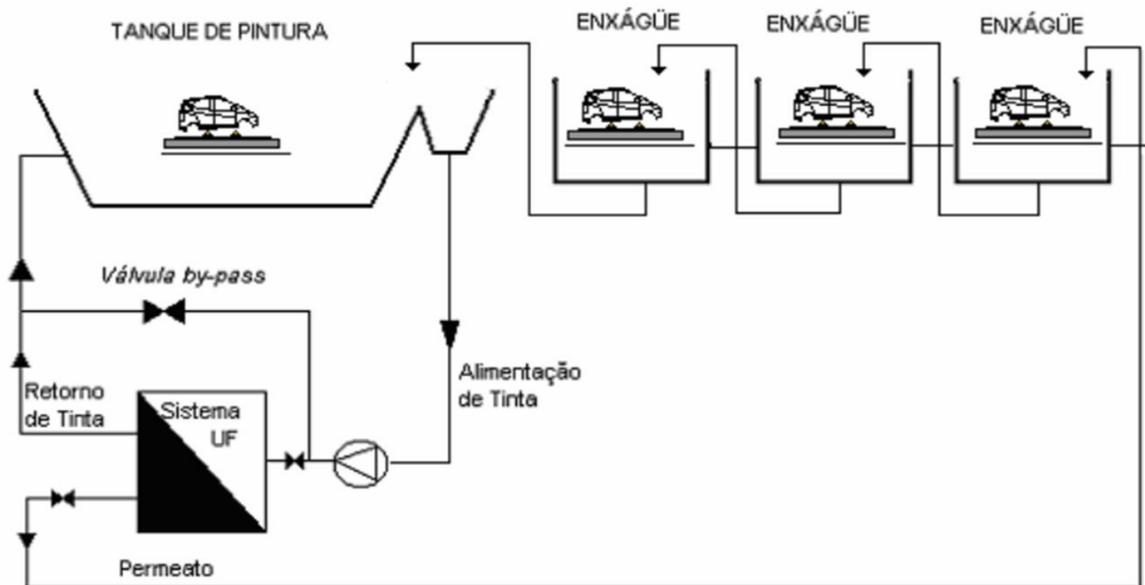
FONTE: BASF (2010).

De acordo com a (Figura 3) é verificado que durante o processo de pintura por eletrodeposição ocorre a liberação de ácido ( $H^+$ ) e para manter o nível de acidez do banho são utilizadas células de diálise (tanque de anólito). Estas células permitem manter os valores de pH e condutividade constantes e são compostas por uma membrana seletiva que proporciona a passagem do ácido da tinta para o tanque de anólito. Para o controle da condutividade deste banho é instalado um condutímetro em linha para descarte da solução concentrada e para reposição do nível do tanque com água DI. (MONTAGNOLI, 2005; BASF, 2010).

A unidade de ultrafiltração (UF), conforme mostra a Figura 3 e a Figura 5, utilizada em banhos de tinta *E-coat* faz parte de um sistema de membranas seletivas onde ocorre a geração do permeado, ou seja, do ultrafiltrado, o qual é aproveitado para

enxaguar a peça após o processo de eletrodeposição da tinta. O enxágue das peças, por meio do permeato, opera em forma de cascata reversa, isto é, o segundo tanque transborda para o primeiro (permeato 1) e este transborda para o tanque de tinta, permitindo o reaproveitamento da tinta que não aderiu à peça, mas que foi arrastada mecanicamente pela mesma. O uso deste modelo permite a recuperação de quase 100% da tinta, fazendo com que a pintura *E-coat* apresente grande atrativo financeiro. (MONTAGNOLI, 2005; BASF, 2010).

FIGURA 5 - ESQUEMA DO SISTEMA DE UF DA PINTURA KTL



FONTE: VILLAS (2006).

Nos estágios finais do processo de pintura *E-coat* ocorrem as etapas de cura e resfriamento das estruturas submetidas ao processo de eletrodeposição. A cura é realizada em estufa e o aquecimento é feito por meio do uso de gás GLP ou gás natural. Neste tipo de pintura existe a necessidade de aquecimento do filme depositado, de modo que aconteça o processo de cura, sendo que o tempo e a temperatura variam de acordo com o produto utilizado. Como referência tem-se uma temperatura entre 185 °C e 195 °C e um tempo de ciclo aproximado de 15 minutos. (MONTAGNOLI, 2005; ABTS, 2006; BASF, 2010).

Na etapa de resfriamento, o qual ocorre por meio de insufladores de ar, as peças que saíram da estufa são resfriadas, facilitando assim o seu manuseio. (ABTS, 2006; BASF, 2010).

#### 2.2.4 Aplicação do selante

Nesta fase do processo é aplicada uma massa vedante e viscosa à base de PVC e adesivos que tem como maior objetivo a vedação das unidades contra a entrada de pó e sujeiras, além de garantir a estanqueidade contra entrada de água nas cabines. Estas operações são realizadas manualmente ou por intermédio da robótica.

Com o objetivo de prevenir e minimizar os efeitos gerados pelas batidas de pedra, assim como atenuar os ruídos, ainda acontece a aplicação de uma camada fina à base de PVC no assoalho externo dos veículos. (PPG, 2009; HENKEL, 2013).

#### 2.2.5 Aplicação da tinta de fundo (*primer*)

A camada subsequente ao revestimento *E-coat*, estabelecida como preferencial, é a da pintura *primer* ou popularmente conhecida como tinta de fundo. Dentre as principais funções desta camada, tem-se: corrigir alguma imperfeição do processo de eletrodeposição catódica, preparar a superfície para recebimento da tinta de base, aumentar a resistência contra as exigências mecânicas e proteger o revestimento catódico. O processo operacional consiste de aplicação eletrostática e automatizada. Na sequência, a cabine segue para estufa de cura de *primer*. Em função da tecnologia de tinta utilizada é possível trabalhar-se com temperaturas de cura entre 80 e 140 °C, impactando diretamente no consumo de gás GLP ou gás natural. Estas operações são realizadas manualmente ou por intermédio da robótica. (PPG, 2009; BASF, 2010).

Com a crescente demanda mundial por sistemas de pintura de menor impacto ao meio ambiente, foram desenvolvidos vários produtos (*primers*) onde acontece a substituição de grande parte dos solventes orgânicos por água. (ABTS, 2006).

#### 2.2.6 Aplicação da tinta de base (topcoat) e verniz

A tinta de base é a camada mais externa e superficial de uma cabine pintada, a qual tem como funções principais prover uma aparência final do veículo e proteger a camada *primer* e o substrato de danos físicos, quando expostos ao meio ambiente. Nesta etapa do processo de pintura, a cabine ainda recebe a camada de verniz que será responsável pelo brilho da tinta no produto final.

Em ambos os casos, estas operações podem ser realizadas manualmente ou automaticamente, por meio do uso da robótica. Aplicações mistas são utilizadas em algumas plantas automotivas, sendo a pintura em partes internas feitas manualmente e em partes externas automaticamente. Após a aplicação dos revestimentos, ocorre em estufa, a cura do material aplicado sobre a superfície do veículo. Estas operações são realizadas manualmente ou por intermédio da robótica. (STREITBERGER; DÖSSEL, 2008).

#### 2.2.7 Aplicação da cera em cavidades

A cera é aplicada em zonas da carroceria mais expostas a condensação e acúmulo de água, protegendo as cavidades de forma mais efetiva e duradoura, minimizando o efeito de corrosão em partes específicas do veículo. A aplicação acontece em estado líquido por meio de bicos de injeção, de modo que se consiga atingir pequenos orifícios existentes na carroceria e, uma vez aplicada, volta a um estado semi-sólido mantendo-se firmemente aderida as peças. Outra vantagem desta cera é o seu poder isolante, diminuindo o ruído provocado por elementos mecânicos durante a movimentação do veículo. (BASF, 2010).

Na sequência, antes do envio para a montagem final, são instalados obturadores em furações utilizadas ao longo do processo. (PPG, 2009).

### 2.3 PRINCIPAIS PROBLEMAS AMBIENTAIS RELACIONADOS AO PROCESSO DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES NA PRODUÇÃO DE CABINES

Uma pesquisa realizada com o objetivo de identificar o desempenho ambiental de indústrias pertencentes ao segmento automotivo na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), identificou que as montadoras de veículos são os principais consumidores de recursos naturais. (SANTOS, 2007).

Aproximadamente 13% das empresas pesquisadas são responsáveis pelo consumo de 90% de todo volume de água utilizada pelos diversos processos. Outro dado importante obtido indicou que as atividades industriais ligadas a produção representam um consumo de 90% de toda a água, e os outros 10% são para consumo humano. Nas empresas pesquisadas constatou-se que 99,82% de toda água utilizada

nos processos produtivos são fornecidas pela SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) e apenas 0,18% são captadas de poços artesianos. (SANTOS, 2007).

Dentre todas as etapas do processo de pintura de cabines as etapas específicas do TTS apresentam elevados consumos de energia elétrica, água e produtos químicos. (HENKEL, 2013).

Com base em uma análise macro das etapas do processo de tratamento de superfícies (TTS), estão apresentados no Quadro 2, as principais atividades, os principais aspectos e impactos ambientais presentes na fabricação de cabines de caminhões.

QUADRO 2 - ATIVIDADES, ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS IDENTIFICADOS NO PROCESSO DE TTS

ATIVIDADES	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparação de banhos</li> <li>- Lavagem de tanques</li> <li>- Reposição do nível dos tanques para compensar perdas por evaporação</li> <li>- Tratamento de efluentes industriais</li> <li>- Produção de água desmineralizada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geração de resíduos líquidos (efluentes)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo de recursos naturais (água)</li> <li>- Risco de poluição de corpos hídricos e fontes subterrâneas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aquecimento dos banhos</li> <li>- Cura da pintura em estufas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissão de calor e emissões atmosféricas para o meio ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumos de recursos naturais (gás natural ou gás GLP)</li> <li>- Poluição atmosférica</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilização de produtos químicos para preparo da solução dos banhos e para reposição do nível de concentração</li> <li>- Tratamento de efluentes industriais</li> <li>- Pintura por eletrodeposição</li> <li>- Embalagem de peças</li> <li>- Peças rejeitadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geração de resíduos, por exemplo, resíduo industrial não perigoso, sucata metálica, resíduo industrial perigoso sob a forma de borras, contendo Fe, Zn, Mn, Ni, Ti, entre outros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risco de contaminação de solos e de poluição de corpos hídricos e fontes subterrâneas</li> <li>- Consumos de recursos naturais</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bombeamento e recirculação de fluidos</li> <li>- Iluminação</li> <li>- Resfriamento de máquinas e processos</li> <li>- Deslocamento das cabines nos trilhos</li> <li>- Produção de água desmineralizada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo de energia elétrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esgotamento dos recursos naturais</li> </ul>

FONTE: Adaptado de WIEMES (2013).

O Quadro 2 mostra que as atividades realizadas durante as etapas do processo de tratamento de superfícies (TTS) apresentam como principal impacto ambiental o consumo dos recursos naturais, dentre estes os recursos hídricos, demonstrando-se

assim a importância de se buscarem alternativas para a mitigação destes impactos ambientais.

### 2.3.1 Tratamento dos efluentes gerados no processo de pré-tratamento de pintura na fabricação de cabines automobilísticas

De acordo com Santos (2007), as empresas pesquisadas do setor automotivo localizadas na RMC apresentam como principais fontes geradoras de efluentes as águas consumidas nos seus diversos processos produtivos. Uma pequena parcela das empresas (10%) geram entre 1.001 a 2.000 m<sup>3</sup>/dia de efluentes, representando quase 80% de todo efluente produzido por todas as plantas pesquisadas e também observou-se que aproximadamente 94% dos efluentes gerados se concentram em 17% destas empresas.

Em relação ao efluente total gerado nestas empresas pesquisadas, aproximadamente 70% são tratados em ETE própria ou de terceiro e 30% são lançados sem tratamento prévio diretamente na rede coletora da SANEPAR. Em relação aos efluentes gerados nas atividades produtivas e tratados em ETE própria, 60% das organizações declararam que reutilizam o efluente pós-tratamento no processo produtivo e as demais (40%) lançam no corpo receptor. (SANTOS, 2007).

A utilização de água nos processos industriais automobilísticos, em especial no processo de fabricação de cabines, geram correntes de efluentes industriais com características físico-químicas, onde predominam substâncias inorgânicas e oleosas. Os processos de pré-tratamento de pintura introduzem à água, elevadas concentrações de sólidos totais dissolvidos, metais pesados como níquel, manganês, zinco, além de fósforo oriundo do processo de fosfatização. (DE BEM, 2008; ERTHAL, 2011).

De acordo com Asano et al. (2007), com base na importância da qualidade final do efluente tratado, assim como um possível reúso deste efluente em diversas aplicações, faz com que diferentes tecnologias de tratamento de efluentes sejam utilizadas, de modo singular ou em modelos combinados, garantindo-se assim o nível desejado de remoção dos contaminantes presentes no efluente, conforme apresentado no Quadro 3.

QUADRO 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS ESTÁGIOS USADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

TECNOLOGIA DE TRATAMENTO	OBJETIVO
Preliminar	Remoção de materiais grosseiros (panos, areia, plásticos) que possam acarretar problemas de manutenção e operacionais ao sistema de tratamento de efluentes.
Primário	Remover uma parte dos sólidos suspensos e matéria orgânica presentes no efluente.
Primário Avançado	Acelerar o processo de remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica presentes no efluente por meio da adição de produtos químicos ou filtração.
Secundário	Remover matéria orgânica biodegradável (em solução ou suspensão) e sólidos suspensos. Normalmente desinfecção também é incluído na definição de um tratamento secundário convencional.
Secundário com remoção de nutrientes	Remover orgânicos biodegradáveis, sólidos suspensos e nutrientes (nitrogênio e fósforo).
Terciário	Remover sólidos suspensos residuais (após o tratamento secundário). Normalmente são utilizados filtração granular média, filtração superficial e membranas. Desinfecção também pode ser incluída como parte de um tratamento terciário, assim como remoção de nutrientes.
Avançado	Remover sólidos totais dissolvidos e traços de contaminantes. Normalmente são aplicados no reúso de efluentes, em função do tipo de aplicação e característica da água de reúso.

FONTE: Adaptado de ASANO et al. (2007).

O Quadro 4 apresenta as principais operações unitárias ou processos utilizados no tratamento de efluentes, com base nas características dos elementos que devem ser removidos, visando-se até mesmo um posterior reúso deste efluente tratado.

QUADRO 4 - OPERAÇÕES UNITÁRIAS E PROCESSOS USADOS PARA REMOÇÃO DE COMPONENTES PRESENTES EM EFLUENTES

OPERAÇÕES UNITÁRIAS OU PROCESSOS	CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES PRESENTES NO EFLUENTE										TECNOLOGIA DE TRATAMENTO
	Sólidos suspensos	Sólidos coloidais	Matéria orgânica particulada	Matéria orgânica dissolvida	Nitrogênio	Fósforo	Micropoluentes	Sólidos totais dissolvidos	Óleo	Metais	
Filtração profunda											Terciário
Filtração superficial											Terciário
Microfiltração											Terciário
Ultrafiltração											Terciário
Flotação por ar dissolvido											Primário
Nanofiltração											Terciário
Osiose reversa											Terciário
Adsorção com carvão											Terciário/Avançado
Troca iônica											Terciário
Oxidação avançada											Avançado
Desinfecção											Terciário
Precipitação											Primário avançado

FONTE: Adaptado de ASANO et al. (2007)

Os metais pesados, entre eles, zinco, níquel e manganês são os principais contaminantes presentes nos efluentes gerados no processo de pré-tratamento de pintura e, como mostra o Quadro 4, podem ser removidos por precipitação. Desta forma, no próximo item esta tecnologia, que é adotada nas indústrias automobilísticas, está apresentada.

### 2.3.2 Remoção de metais em efluentes gerados no processo de pré-tratamento de pintura na fabricação de cabines automobilísticas

Segundo Gregory (2006), coagulação e floculação são processos físico-químicos que podem ser utilizados como pré ou pós-tratamento de efluentes industriais, objetivando:

- a) Clarificação de despejos contendo sólidos em suspensão ou material coloidal;
- b) Redução parcial de carga orgânica antes de um tratamento biológico;
- c) Remoção de metais pesados, cianeto, fluoretos, fósforo.

Os coagulantes ou floculantes, normalmente aplicados nos processos físico-químicos, são compostos por cátions polivalentes ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  dentre outros), os quais neutralizam as cargas elétricas das partículas em suspensão. Por meio da adição de produtos químicos ocorre o processo de coagulação e floculação, ou seja, promovem a aglutinação e o agrupamento das partículas a serem removidas. Estes flocos podem ainda ter seus tamanhos aumentados com a adição de polieletrólitos, os quais geram pontes entre a partícula floculada e a cadeia de polímeros, tornando o peso específico destes flocos maior que o da água, potencializando o processo de decantação. (FU; WANG, 2011).

Os metais pesados solúveis presentes nos efluentes industriais são removidos por meio da precipitação química, levando-se em consideração a concentração do metal e o pH da água. Esta remoção ocorre com ajustes de pH, normalmente com o uso de um álcali, conseguindo-se assim diminuir a solubilidade de metais dissolvidos e conseqüentemente a sua precipitação na forma de hidróxidos metálicos. É importante salientar que cada metal possui pH ótimo de insolubilidade, sendo possível fazer sucessivas precipitações seletivas. Entre pH variando de 7 a 9, precipitam como hidróxidos o ferro e o cobre. Em relação ao zinco o ponto de menor solubilidade

encontra-se na faixa de pH 9 a 9,5. Níquel e cádmio precipitam muito bem em pH entre 10 e 11. (CAVALCANTI, 2012).

Além dos processos convencionais para precipitação de metais pesados, observa-se que as tecnologias de separação por membranas estão recebendo uma atenção especial em relação ao emprego de vários tipos de membranas de filtração, por exemplo ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa com o objetivo de remover metais pesados de efluentes industriais. (GUNATILAKE, 2015).

## 2.4 REÚSO DE EFLUENTES

A norma 13.969 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de setembro de 1997, a qual não é específica para reúso, tem um item dedicado ao tema, inclusive com a definição de classes de água de reúso, sendo a primeira regulamentação que tratou de reúso não potável de água no Brasil. Na norma, o reúso é abordado como uma opção à destinação de esgotos de origem essencialmente doméstica ou com características similares. Os principais tópicos de reúso mencionados são:

- a) Irrigação dos jardins;
- b) Lavagem de pisos;
- c) Lavagem dos veículos automotivos;
- d) Descarga dos vasos sanitários.

Os critérios gerais, modalidades e diretrizes para a prática do reúso direto não potável foram estabelecidos pela Resolução n.º 54, de 28 de novembro de 2005, que amplia a possibilidade de reúso do respectivo recurso em outras atividades além do que explorado pela Norma ABNT 13.969.

No seu artigo 3.º são identificadas as seguintes modalidades para o reúso direto não potável:

- I - reúso para fins urbanos;
- II - reúso para fins agrícolas e florestais;
- III - reúso para fins ambientais;
- IV - reúso para fins industriais;
- V - reúso na aquicultura.

#### 2.4.1 Reúso para fins industriais não potáveis

Os elevados custos da água industrial, influenciados pela curva de demanda e oferta, além dos valores cobrados para lançamento nas redes coletoras, têm levado os diversos segmentos industriais a pensarem em métodos e avaliarem cada vez mais as possibilidades de introduzirem práticas de reúso interno. Este cenário possibilitou o desenvolvimento de diversas tecnologias de tratamento de efluentes com o enfoque na obtenção de efluentes finais tratados com características satisfatórias para o reúso. (SIMATE *et al.*, 2011).

É importante que, independentemente da estratégia utilizada, a prática de reúso seja devidamente planejada, sendo sustentável ao longo do tempo. (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

##### 2.4.1.1 Reúso direto (em cascata)

Nesta categoria de reúso, o efluente gerado em uma determinada etapa de um processo industrial é diretamente utilizado, sem a necessidade de um tratamento prévio, em um outro processo, pois suas características são compatíveis com o perfil de água demandado. (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Desta forma, quando se pretende avaliar o potencial do reúso de água em cascata, é fundamental que se faça um levantamento individual das principais correntes geradoras de efluentes, buscando-se conhecer os principais parâmetros presentes no efluente. (GARDONI; CATENACCI; ANTONELLI, 2015).

Outro aspecto importante para o reúso em cascata diz respeito à forma de gerenciamento de efluentes, principalmente com relação à coleta, na qual o primeiro passo seria avaliar individualmente cada corrente de efluente, por meio de amostras retiradas dos diversos processos e atividades nas quais a água é utilizada. Durante esta avaliação, deve-se priorizar os processos e atividades com elevada geração de efluentes, o que pode, em determinadas situações, indicar efluentes com baixas concentrações de contaminantes e resultar num sistema mais simples e econômico. (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Durante os anos de 2014 e 2015, foi desenvolvido um estudo de caso em escala industrial real com coletas de dados, com o objetivo de avaliar a utilização de correntes internas de efluentes geradas como fonte de reposição de água para

compensar perdas em sistemas de torre de resfriamento, em uma planta petroquímica localizada no sul do Brasil. O estudo demonstrou a viabilidade do reúso interno em cascata, assim como a possibilidade de se reduzir em 385.440 m<sup>3</sup>/ano o consumo de água de reposição e a redução de 201.480 m<sup>3</sup>/ano de efluente gerado. (HANSEN; RODRIGUES; AQUIM, 2016).

Agana, Orbell e Reeve (2012) aplicaram ferramentas estratégicas para o gerenciamento integrado de água em duas grandes indústrias localizadas na Austrália, sendo uma do segmento automobilístico e a outra do segmento de bebidas. Uma atividade de auditoria em relação ao uso da água foi realizado, afim de se identificar e caracterizar cada etapa consumidora de água, correntes de efluentes gerados no processo, realização do balanço hídrico, identificando-se oportunidades de conservação de água e descartes de efluentes por meio do reúso.

#### 2.4.1.2 Reúso do efluente tratado

O reúso de efluentes tratados compreende: o reúso direto e o reúso após a adoção de tecnologias complementares de tratamento. O primeiro caso consiste em encaminhar o efluente, da estação de tratamento até o local onde será utilizado. O segundo caso é aplicado quando o efluente ainda contiver algum contaminante que comprometa ou inviabilize o reúso direto. (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

A prática de reúso só pode ser adotada caso as características do efluente disponível sejam compatíveis com os requisitos de qualidade exigidos pela aplicação em questão. Dentre os diversos parâmetros de qualidade que ajudam a identificar aplicações potenciais para o reúso de efluentes, a concentração de sólidos totais dissolvidos (TDS) pode ser o mais adequado, pois este é um parâmetro restritivo para o uso da água nas diversas aplicações industriais, além da limitação que os processos de tratamento de efluentes, amplamente adotados nas indústrias, apresentam para remover esse tipo de contaminante. (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

#### 2.4.2 Práticas de reúso industrial não potável no mundo e no Brasil

Diante da preocupação com a elevação da demanda mundial de consumo de água, observa-se que o reúso de efluentes vem sendo uma das alternativas encontradas por diversos segmentos industriais. Com o foco em ilustrar a aplicação

em escala real, de reúso industrial não potável, estão mostrados no Quadro 5 alguns exemplos de indústrias que adotaram o reúso de efluentes industriais.

Segundo Koning *et al.* (2008), as tecnologias, desde as convencionais (filtração simples) até as que aplicam sistemas mais avançados (membranas de ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa), possibilitam a obtenção de uma água de reúso em vários níveis de qualidade e conseqüentemente com a aplicabilidade em diversos processos industriais.

O uso dos processos de separação por membranas (PSM) tem sido uma tecnologia amplamente utilizada nas indústrias que difundem as práticas do reúso não potável (TELLES *et al.*, 2010), conforme o Quadro 5.

Dentre os exemplos apresentados nos Quadro 5, deve-se ressaltar que a planta automobilística localizada nos EUA (New River Valley) utilizou membranas de ultrafiltração (UF) e osmose reversa (OR) para produzir água de reúso de elevada qualidade (DQO inferior a 10 mg/L, Turbidez inferior a 5 NTU e TDS igual a 22 mg/L), tendo como fonte de alimentação um efluente pré-tratado por um sistema físico-químico convencional (FQ), instalado para receber os descartes gerados na linha de pré-tratamento de superfícies e pintura de cabines de caminhões. (KIDD, 2015).

Em relação a planta automobilística instalada no Brasil (Pernambuco), a opção definida para desenvolver o reúso foi promover a junção dos efluentes industriais e dos efluentes sanitários previamente tratados por sistemas FQ e separadores de água e óleo (SAO), submetendo-os a um tratamento por meio de biorreatores de membranas (MBR), membranas estas de ultrafiltração e, em seguida, este efluente de qualidade satisfatória abastece a etapa final de osmose reversa (OR) para produção da água de reúso para ser utilizada no processo industrial. (FÉLIX, 2016).

QUADRO 5 - ALGUMAS PRÁTICAS DE REÚSO NO MUNDO E NO BRASIL

LOCAL	SEGMENTO INDUSTRIAL	TECNOLOGIA UTILIZADA	CAPACIDADE DA PLANTA	TAXA DE RECICLAGEM (%)	USO DA ÁGUA DE REÚSO	FONTE
Alemanha, Eltman	Papel	MBR + NF	200 m <sup>3</sup> /h	90	Máquina de papel	BAGGIO (2015)
Índia, Panipat	Petroquímico	FQ + FA + UF + OR + IX	900 m <sup>3</sup> /h	80	Alimentação Caldeira	LAHNSTEINER <i>et al.</i> (2007)
Alemanha, Karlsruhe	Cosméticos	MBR + OR	120 m <sup>3</sup> /d	75	Processo	BAGGIO (2015)
Espanha, Burgos	Cosméticos	NF	70 m <sup>3</sup> /d	85	Processo	BAGGIO (2015)
EUA, New River Valley	Automobilístico	FQ + UF + OR	150 m <sup>3</sup> /d	90	Processo	KIDD (2015)
Brasil, São Paulo	Eletrodoméstico	FQ + FA + FCA + UF + OR	20 m <sup>3</sup> /h	90	Processo	WHIRLPOOL (2013)
Brasil, São Paulo	Autopeças	FAD + LAV + UF + OR	25 m <sup>3</sup> /h	90	Processos	KANEDA (2016)
Brasil, São Paulo	Autopeças	FQ + LAV + FA + MF + OR	20 m <sup>3</sup> /h	70	Diversos	SILVA (2010)
Brasil, Pernambuco	Automobilístico	FQ +SAO + MBR + OR	120 m <sup>3</sup> /h	90	Processos	FÉLIX (2016)

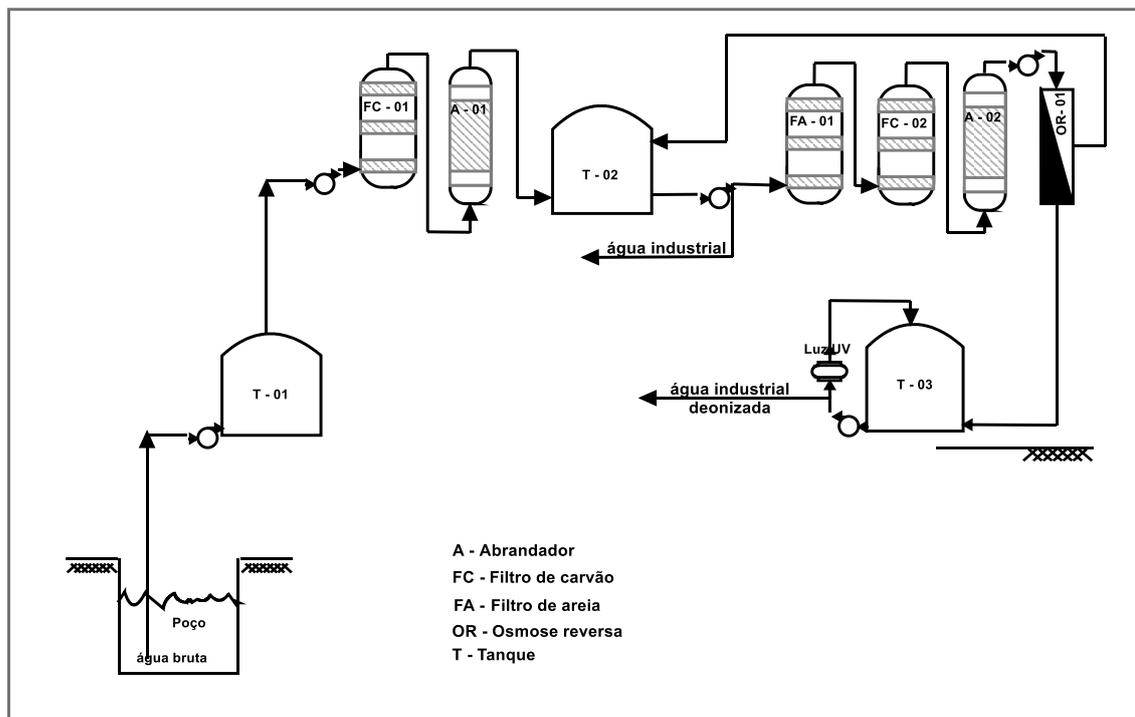
NOTA: MBR – Reator biológico de membrana; NF – Nanofiltração; OR – Osmose reversa; FQ – Físico-químico (coagulação, floculação e sedimentação); FAD – Flotação por ar dissolvido; LAV – Sistema biológico com o uso de lodos ativados; UF – Ultrafiltração; FA – Filtro de areia; FCA – Filtro de carvão ativado; SAO – Separador água e óleo; IX – Troca iônica

### 3 ESTUDO DE CASO

O estudo para avaliação da proposta de reúso de águas residuais foi desenvolvido em uma fábrica de produção de cabines de caminhões localizada em um complexo industrial na cidade de Curitiba (PR).

A escolha desta unidade industrial foi definida em razão da quantidade de água demandada pelos processos de pré-tratamento de pintura, assim como pela existência de uma cisterna de água industrial (T-02) exclusiva para o abastecimento desta fábrica. A Figura 6 apresenta o fluxograma de captação, tratamento da água industrial, produção de água desmineralizada e a distribuição para os processos.

FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUA



FONTE: O autor (2016).

O abastecimento de água industrial para uso no processo de fabricação de cabines de caminhões ocorre por meio da extração de água de dois poços tubulares profundos. A outorga de direito de uso permite uma vazão de extração total de até 14,5 m<sup>3</sup>/h, por um período máximo de 16 h/dia e por 7 dias/semana. Logo, a capacidade máxima de extração possível de água, considerando-se os dois poços, é de 232 m<sup>3</sup>/dia.

Na unidade existem dois filtros de carvão ativado em paralelo (FC-01), para remoção de cloro residual, caso ocorra a necessidade emergencial de utilizar-se água potável clorada em lugar de água industrial.

Na sequência, para reduzir a dureza total (cálcio e magnésio) presente na água subterrânea, minimizando-se desta forma o seu potencial incrustante, existem dois trocadores iônicos (abrandadores A-01) em paralelo que removem os cátions  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  da água antes que a mesma seja enviada para os diferentes pontos de consumo no processo industrial.

No processo existem etapas (passivação, enxague DI, *power wash* e pintura *E-coat*) em que é necessário o uso de água deionizada (T-03) com valor de condutividade inferior a  $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Assim, uma unidade de osmose reversa (OR-01) com capacidade nominal de produção de  $6 \text{ m}^3/\text{h}$  é responsável pelo suprimento desta água com baixa concentração de sais. O pré-tratamento do sistema de osmose reversa (OR-01) é constituído de filtro de areia (FA-01), filtro de carvão ativado (FC-02) e abrandador (A-02).

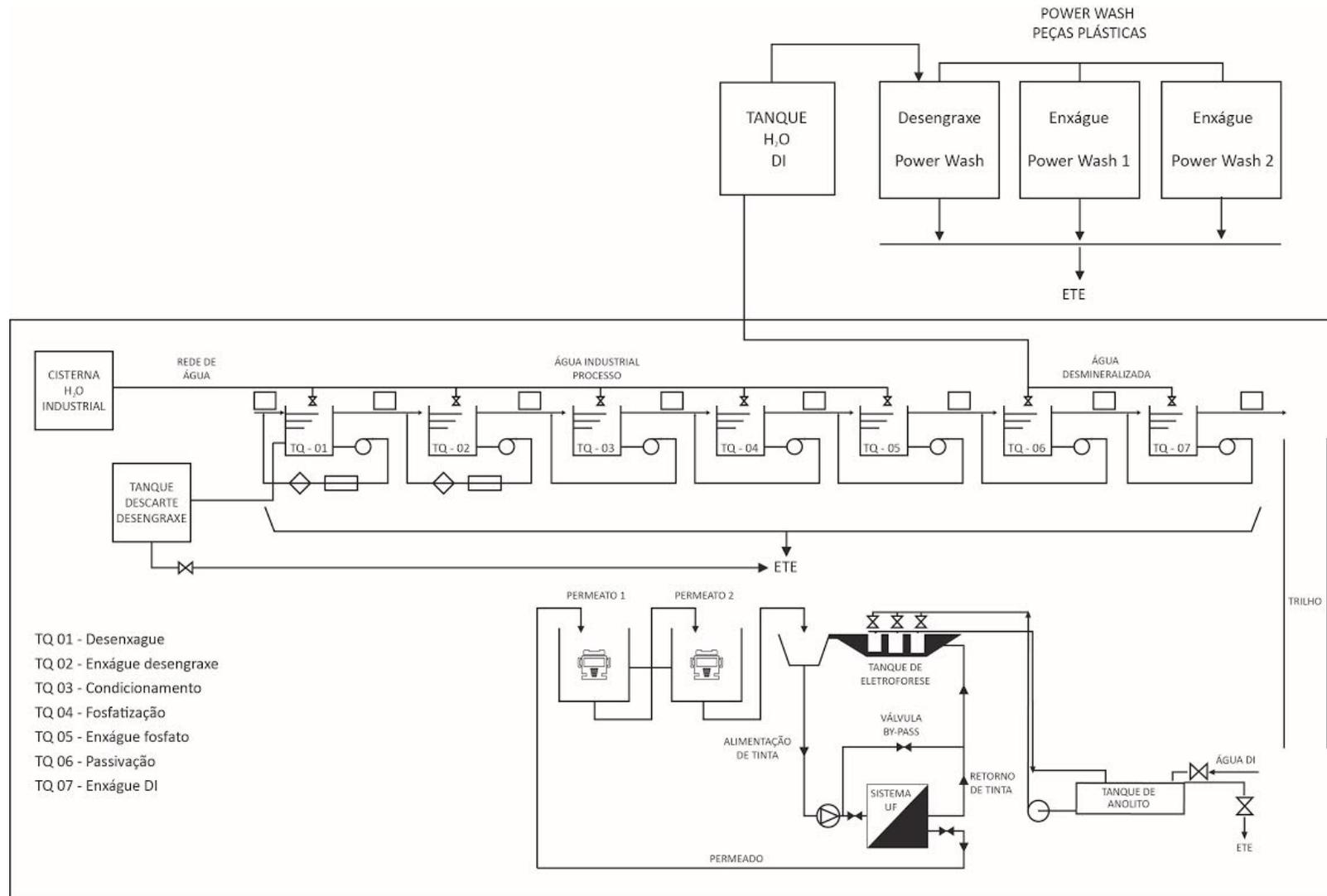
### 3.1 PROCESSO DE PRÉ-TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES E PINTURA POR ELETRODEPOSIÇÃO

O processo de pré-tratamento de superfícies é uma etapa entre a solda e a pintura final das cabines. Nesta etapa do processo de fabricação o objetivo principal é a limpeza da superfície metálica da cabine, de modo que a mesma seja condicionada para receber uma camada de pintura base.

As peças plásticas que compõem a cabine dos caminhões e que recebem pintura também necessitam deste tratamento e, portanto é utilizado um sistema de pré-tratamento específico para esta finalidade, denominado de *power wash*. As etapas são constituídas de desengraxe ácido, enxágues e sopramento para secagem das peças.

A Figura 7 apresenta uma visão geral das etapas, previamente descritas na revisão bibliográfica, que envolvem o caminho percorrido da cabine desde o pré-tratamento de superfície até o processo de pintura por eletrodeposição (KTL ou *E-Coat*).

FIGURA 7 - FLUXOGRAMA DO PRÉ-TRATAMENTO DE PEÇAS METÁLICAS E PLÁSTICAS + E-COAT



FONTE: O autor (2016).

O Quadro 6 apresenta um resumo das principais etapas presentes nos estágios de pré-tratamento de superfície de cabines e peças plásticas (Figura 7).

QUADRO 6 - ESTÁGIOS PRESENTES NA LINHA DE PRÉ-TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE DE CABINES E PEÇAS PLÁSTICAS

ETAPAS	VOLUME NOMINAL DO TANQUE (m <sup>3</sup> )	INSUMOS	FUNÇÃO
TQ-01 Desengraxe	82	Água industrial Desengraxante alcalino tensoativo	Remover todos os contaminantes oriundos do processo de manufatura, por exemplo, óleos, sujeiras e limalhas de ferro.
TQ-02 Enxague após desengraxe	12	Água industrial	Remover o excesso de desengraxante que permanece na cabine.
TQ-03 Condicionamento	82	Água industrial Condicionador a base de sais de titânio	Ativar a superfície metálica para receber a camada de fosfato.
TQ-04 Fosfatização	82	Água industrial Fosfato tricatiônico (Ni, Zn e Mn)	Proteger contra corrosão e permitir a aderência na pintura.
TQ-05 Enxague após fosfatização	82	Água industrial	Retirar os sais provenientes do banho de fosfatização.
TQ-06 Passivação	12	Água desmineralizada Composto ácido a base de zircônio	Selar as porosidades existentes na camada de fosfato.
TQ-07 Enxague com água desmineralizada	82	Água desmineralizada	Remover os sais dissolvidos totais residuais e do excesso de acidez livre remanescente do banho de passivação.
<i>E-coat</i>	90	Água desmineralizada Resina e pasta	Produzir uma camada uniforme, compacta, precisa e altamente protetiva contra corrosão.
Tanque de anolito	2	Água desmineralizada	Controlar o nível de acidez (H <sup>+</sup> ) no tanque de eletroforese.
Enxague após pintura por eletroforese	82	Ultrafiltrado (Permeato 1)	Retirar o excesso de tinta não depositada sobre a cabine.
Enxague após pintura por eletroforese	82	Ultrafiltrado (Permeato 2)	Polimento final.
Desengraxe do <i>Power wash</i>	3	Água desmineralizada Desengraxante ácido para peças plásticas	Remover contaminantes presentes na superfície das peças plásticas.
Enxague após desengraxe <i>Power wash 1</i>	1,5	Água desmineralizada	Remover excesso de desengraxante.
Enxague após desengraxe <i>Power wash 2</i>	1,5	Água desmineralizada	Remover excesso de desengraxante.

FONTE: O autor (2015).

Os efluentes gerados nestas etapas seguem para o sistema de coleta e gerenciamento dos efluentes, realizado por meio de tubulações que coletam os efluentes gerados nos diversos estágios do processo, direcionando-os para duas canaletas. A primeira recebe os efluentes gerados nas etapas TQ-01 (desengraxe), TQ-02 (enxágue desengraxe), TQ-03 (condicionamento), TQ-05 (enxágue fosfato), TQ-06 (passivação), TQ-07 (enxágue DI), desengraxe *power wash*, enxágue *power wash 1* e enxágue *power wash 2*. A segunda canaleta recebe os efluentes gerados na linha de *E-coat* e do tanque de anólito.

### 3.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS DA PLANTA DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES

A ETEI da fábrica de cabines tem capacidade nominal para tratar 10 m<sup>3</sup>/h dos efluentes gerados no processo de fabricação de cabines, principalmente os oriundos das etapas apresentadas no Quadro 6.

Como os principais poluentes são metais pesados a tecnologia utilizada se baseia em um processo convencional físico-químico que permite a remoção de metais pesados pela precipitação de hidróxidos metálicos de zinco, níquel e manganês.

A Figura 8 ilustra a ETEI da fábrica de cabines avaliada neste estudo, a qual possui os estágios de coagulação (TC-01), neutralização (TN-01), floculação (TF-01) e decantação lamelar (DC-01). Os produtos químicos aplicados no tratamento atual são: Cloreto férrico (coagulante adicionado no TC-01), hidróxido de cálcio (alcalinizante para ajuste de pH no TN-01) e polímero aniônico Kurita PA-322 (floculante adicionado no TF-01 para aumentar o tamanho do floco e facilitar a sedimentabilidade).

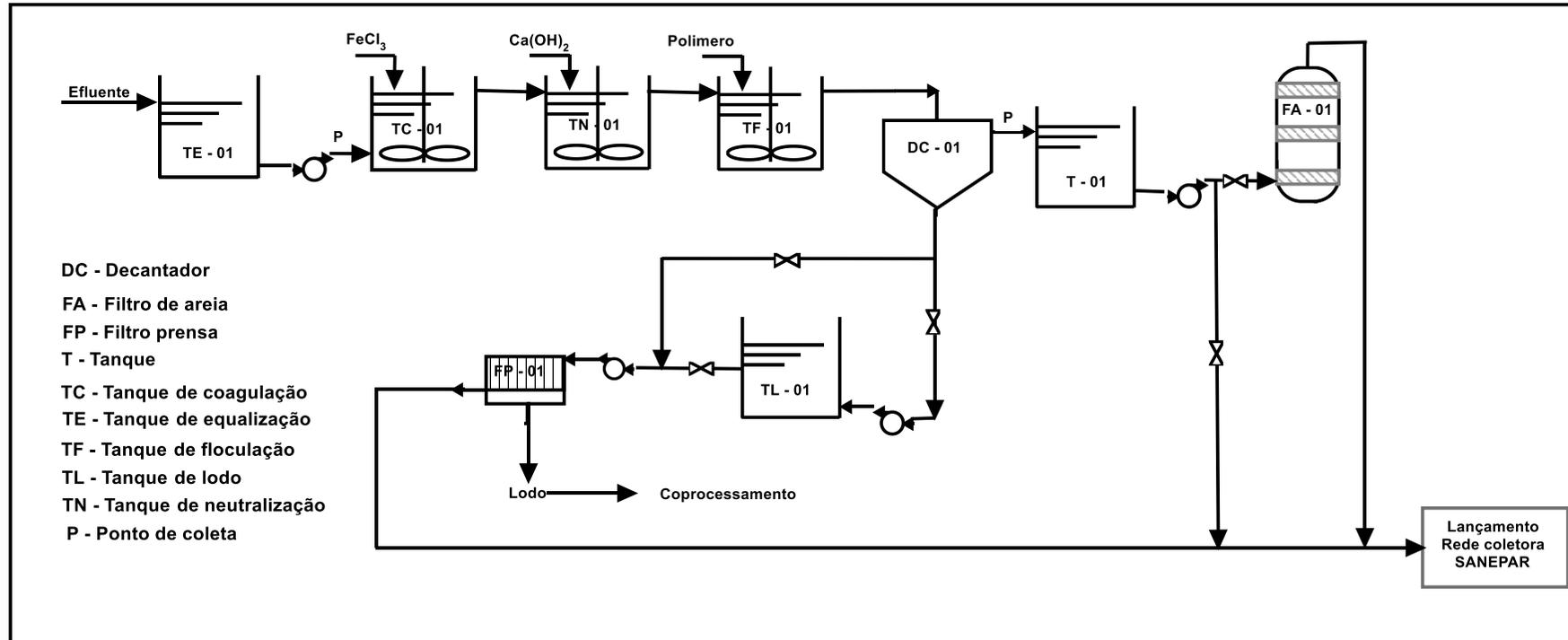
Se necessário, ou seja, em casos que ocorram arraste de lodo no decantador lamelar (DC-01), a ETEI também dispõe de uma etapa de filtração por areia (FA-01) antes do envio final do efluente tratado para rede coletora da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

Cabe destacar que o efluente gerado na linha de *E-coat* e no tanque de anólito é enviado para um tanque específico de 12 m<sup>3</sup>, devido as características destas etapas. Neste tanque ocorre um pré-tratamento para separar a tinta residual, em batelada, utilizando cal hidratada para ajustar o pH para valores entre 10 e 11 e precipitar as partículas de tinta.

Após esta separação, a fase líquida é direcionada para o tanque de equalização (TE-01), seguindo-se o fluxo de tratamento da ETEI, conforme Figura 8.

Todo o lodo gerado na ETEI é desaguado em um filtro prensa e posteriormente é destinado para coprocessamento em fornos de uma indústria de produção de cimento.

FIGURA 8 - FLUXOGRAMA ETEI DA FÁBRICA DE PRODUÇÃO DE CABINES



FONTE: O autor (2016).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA INDUSTRIAL E DA ÁGUA DESMINERALIZADA USADA NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES

Durante o período de janeiro a dezembro de 2014 foram analisadas um total de 49 amostras em cada ponto, com uma frequência de coleta semanal e com o objetivo de identificar o perfil da água industrial e da água DI que abastecem os processos usuários de água na fabricação de cabines, foram coletadas em frascos de polietileno, amostras simples no ponto de entrada de água que alimenta a fábrica, após a cisterna de água industrial (T-02) e no tanque de armazenagem de água DI (T-03).

Análises de pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos (TDS), turbidez e demanda química de oxigênio (DQO) foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (APHA, 2012). Todas as análises foram realizadas no laboratório da empresa.

### 4.2 IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS PONTOS DE USO DE ÁGUA INDUSTRIAL E DE ÁGUA DESMINERALIZADA NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES

Com o objetivo de identificar e quantificar os principais pontos de consumo de água industrial no período de janeiro a dezembro de 2014, foram realizadas leituras semanais dos valores registrados no hidrômetro de água industrial instalado na entrada da rede geral que abastece os TQ-01 (desengraxe), TQ-02 (enxágue desengraxe), TQ-03 (condicionamento), TQ-04 (fosfatização) e TQ-05 (enxágue fosfato).

Para o levantamento do consumo de água nos pontos TQ-06 (passivação), TQ-07 (enxágue água DI) e tanque de anólito, processos abastecidos por água desmineralizada (Figura 7) foram realizadas leituras diárias no hidrômetro de água desmineralizada produzida pelo sistema de osmose reversa (OR-01) para estes processos.

Em relação aos demais processos, também representados na Figura 7, que utilizam água desmineralizada, ou seja, desengraxe *power wash*, enxágue *power*

*wash 1* e enxágue *power wash 2* foram realizadas leituras diárias no hidrômetro exclusivo que registra o consumo de água DI na entrada dos tanques destes processos.

#### 4.3 IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS PONTOS DE GERAÇÃO DE EFLUENTES NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES

Com o objetivo de identificar e quantificar os principais pontos de geração de efluentes no processo de fabricação de cabines (Figura 7) foram considerados os respectivos volumes de cada um dos tanques presentes ao longo do processo de tratamento de superfícies e *E-coat* e a frequência de descarte programada para troca de solução para os TQ-01 (desengraxe), TQ-02 (enxágue desengraxe), TQ-03 (condicionamento), TQ-05 (enxágue fosfato), TQ-06 (passivador), TQ-07 (enxágue água DI), tanque de anólito, desengraxe *power wash*, enxágue *power wash 1* e enxágue *power wash 2*. Para tal as informações dos respectivos volumes nominais dos tanques apresentadas no Quadro 6 foram utilizadas.

Além dos descartes pontuais programados, também foram considerados os descartes contínuos controlados por válvulas e rotâmetros (medidores de vazão) de 130 litros e 260 litros por cabine produzida para os TQ-02 (enxágue desengraxe) e TQ-06 (passivação), respectivamente. O número de cabines de caminhões produzidas no período de janeiro a dezembro de 2014 foi de 24.768 unidades.

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES GERADOS EM CADA ESTÁGIO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES

Nesta fase do estudo, foi avaliada primeiramente e individualmente, cada corrente de efluente presente na linha de pré-tratamento de pintura da fábrica de cabines pela realização de coletas de amostras simples, em frascos de polietileno, nos seguintes pontos geradores de efluentes industriais (Figura 7): tanque de desengraxe (TQ-01), tanque de enxágue do desengraxe (TQ-02), tanque do condicionamento (TQ-03), tanque de enxágue do fosfato (TQ-05), tanque de passivação (TQ-06), tanque de enxágue água DI (TQ-07), tanque de desengraxe *power wash*, tanque de enxágue do *power wash 1*, tanque de enxágue do *power wash 2* e tanque do anólito.

No período entre os dias 11/03/2014 e 19/03/2014 foram coletadas e analisadas um total de 10 amostras para cada ponto gerador de efluente.

Após avaliação da vazão das correntes, foram realizadas coletas nos pontos considerados mais relevantes, devido à quantidade de efluente gerada.

Com o objetivo de identificar o perfil dos efluentes gerados, foram medidos os valores de pH, condutividade, TDS e DQO de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (APHA, 2012).

#### 4.5 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE NA ENTRADA E SAÍDA DA ETEI DA PLANTA DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES

Para avaliar as características físico-químicas do efluente bruto e do efluente tratado da ETEI da planta de cabines foram coletadas um total de 10 amostras e realizadas análises de pH, condutividade, TDS, turbidez e DQO. A amostragem foi realizada por coletas compostas, em frascos de polietileno, nos seguintes pontos: Entrada da ETEI e saída da ETEI, indicados com P na Figura 8.

As coletas foram realizadas entre os dias 11/03/2014 e 19/03/2014. Deve-se ressaltar, que durante o período de coleta não ocorreu alteração no volume de produção da unidade fabril.

#### 4.6 ANÁLISES REALIZADAS

As análises foram executadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (APHA, 2012). Todas as análises foram realizadas no laboratório da empresa.

##### 4.6.1 Determinação do pH

O pHmetro marca Orion, modelo 310 foi utilizado para identificar os valores de pH das amostras coletadas, segundo o princípio da potenciometria.

#### 4.6.2 Determinação da condutividade e sólidos totais dissolvidos (TDS)

A condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e a concentração de sólidos totais dissolvidos ( $\text{mg}/\text{l}$ ) foram determinados com o uso do medidor multiparâmetros da marca Hach, modelo Sension 378.

#### 4.6.3 Determinação da turbidez

A turbidez foi medida com o uso do turbidímetro marca Hach, modelo 2100P, o qual opera em uma faixa entre 0,01 e 1000 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) no modo de operação automática.

#### 4.6.4 Determinação da demanda química de oxigênio (DQO)

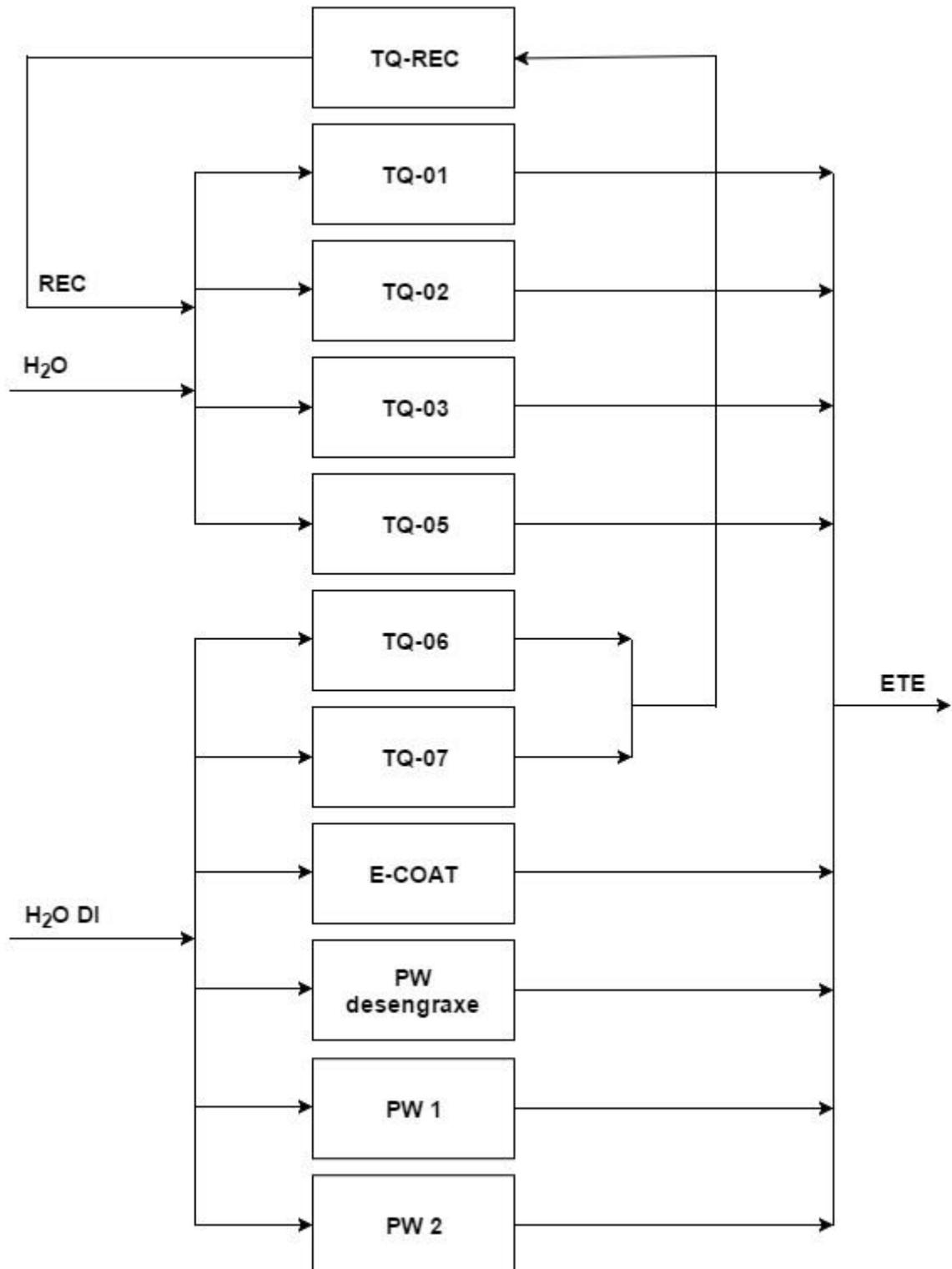
A DQO é um parâmetro utilizado como indicador da concentração de matéria orgânica oxidável. O princípio da análise de DQO consiste na oxidação da matéria orgânica presente em uma amostra em meio ácido, utilizando o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), um agente oxidante forte em excesso, o dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), sendo a reação catalisada por sulfato de prata ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ). Para esta metodologia foi necessário uma alíquota de 2 mL da amostra para determinação do resultado de DQO.

Os equipamentos utilizados foram o reator para DQO Hach e o espectrofotômetro marca Hach, modelo DR 2000.

### 4.7 BALANÇO HÍDRICO NA LINHA DE PRÉ-TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES

Para o balanço hídrico da unidade de fabricação de cabines foi elaborado um diagrama esquemático do processo (Figura 9), o qual foi adaptado para cada opção de reúso avaliada neste estudo. A Figura 9 foi elaborada a partir das informações apresentadas na Figura 7.

FIGURA 9 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES



FONTE: O autor (2016).

Para cada hipótese de reúso idealizada foi necessário estimar a concentração dos parâmetros avaliados tanto na água de reúso como na corrente que seguirá para a ETEI. Na estimativa adotada para a determinação de TDS, DQO, k (condutividade) e

pH foi considerado que não havia nenhuma perda para o ambiente e a mesma está detalhada na sequência.

A concentração de sólidos totais dissolvidos (TDS) e a demanda química de oxigênio (DQO) na corrente resultante foram obtidos utilizando a equação (1).

$$C_R = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i C_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (1)$$

Sendo:

$C_i$  = concentração do parâmetro avaliado na corrente i (mg/L)

$Q_i$  = vazão volumétrica da corrente i (L/dia)

$C_R$  = concentração na corrente resultante (mg/L)

A condutividade elétrica (k) para cada corrente foi determinada com o medidor multiparâmetros (Hach) e a mesma é o dobro da concentração de sais dissolvidos totais (TDS). Assim a condutividade na corrente de reúso e na corrente que seguirá para a ETEI foi estimada pela equação (2).

$$k_R = 2(TDS)_R \quad (2)$$

Sendo:

$(TDS)_R$  = concentração de sais dissolvidos totais resultante (mg/L)

$k_R$  = condutividade elétrica resultante ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

O pH, potencial hidrogeniônico, é um índice que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade e está diretamente relacionado com a quantidade de íons hidrogênio de uma solução. Em soluções diluídas (abaixo de 0,1 mol/L), a relação do pH com a concentração de íons hidrogênio é dada pela equação (3).

$$pH = -\log_{10} [H^+] \quad (3)$$

Sendo:

$[H^+]$  = concentração de íons hidrogênio (mol/L)

Portanto, considerou-se solução diluída e a  $[H^+]$  foi obtida, para cada corrente, utilizando a equação (4).

$$[H^+] = 10^{-pH} \quad (4)$$

Após a determinação da  $[H^+]$  foi utilizada a equação (5) para determinar a concentração de íons  $H^+$  na corrente resultante.

$$[H^+]_R = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i [H^+]_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (5)$$

Sendo:

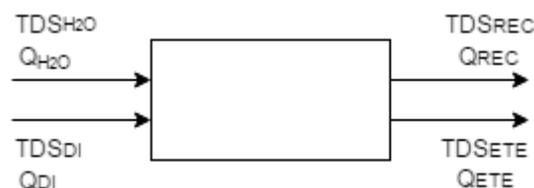
$[H^+]_i$  = concentração de íons  $H^+$  na corrente  $i$  (mol/L)

$[H^+]_R$  = concentração de íons  $H^+$  na corrente resultante (mol/L)

Conhecido o valor da  $[H^+]_R$  utilizou-se a equação (3) para estimar o pH da corrente de reúso e da corrente que seguirá para a ETEI.

Com a implementação do reúso em cascata ocorre um acúmulo na massa de sais ( $G_{sais}$ ) na unidade e este acúmulo foi determinado por meio de um balanço de massa que está esquematizado, de forma genérica, na Figura 10. O parâmetro utilizado para avaliar o acúmulo de sais no sistema foi o TDS.

FIGURA 10 - BALANÇO DE MASSA GENÉRICO PARA A OBTENÇÃO DO ACÚMULO DE TDS NO SISTEMA



FONTE: O autor (2016).

Assim o acúmulo da massa de sais no sistema foi obtida pela equação (7).

$$G_{sais} = (Q_{ETE} TDS_{ETE} + Q_{REC} TDS_{REC}) - (Q_{H_2O} TDS_{H_2O} + Q_{DI} TDS_{DI}) \quad (7)$$

Sendo:

$G_{sais}$  = acúmulo da massa de sais (g/dia)

$Q$  = vazão volumétrica (L/dia)

$TDS$  = concentração de sais dissolvidos to (mg/L)

E os subíndices:

$ETE$  = corrente enviada para a ETEI

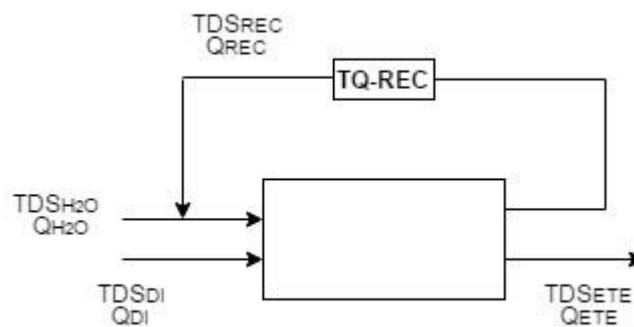
$REC$  = corrente de água de reúso

$H_2O$  = corrente de água industrial

$DI$  = corrente de água DI

Para a determinação do potencial de reúso, ou seja, a concentração máxima de sais que acumula na água de reúso durante o processo, foi realizado um balanço de massa com base no diagrama ilustrado na Figura 11.

FIGURA 11 - DIAGRAMA PARA DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO



FONTE: O autor (2016).

Neste balanço a água de reúso foi utilizada para complementar a necessidade de água industrial do processo de pintura de cabines e de forma que o acúmulo de sais não ultrapassasse a concentração de sais (TDS) da água tratada na planta (Figura 6). Assim foi possível determinar, de forma interativa, o número de vezes que

a água de reúso pode retornar ao processo com qualidade adequada para seu uso . A equação (8) representa o balanço ilustrado na Figura 11.

$$nG_{sais} = (Q_{ETE}TDS_{ETE} + Q_{REC}TDS_{REC}) - (Q_{H_2O}TDS_{H_2O} + Q_{DI}TDS_{DI} + Q_{REC}TDS_{REC}) \quad (8)$$

Sendo:

$n$  = número de vezes que a água de reúso pode retornar ao processo

A equação (8) foi reescrita de forma a determinar a concentração de sais (TDS) na corrente que será enviada para a ETEI para cada  $n$ , como indicado na equação (9).

$$TDS_{ETE} = \frac{nG_{sais} + Q_{DI}TDS_{DI} + Q_{H_2O}TDS_{H_2O}}{Q_{ETE}} \quad (9)$$

A concentração de sais na corrente de reúso foi determinada por meio da relação entre a concentração de sais na corrente de reúso e na corrente que será enviada para a ETEI e obtida com o balanço de massa para determinação do acúmulo da massa de sais esquematizado na Figura 10, ou seja  $\frac{TDS_{REC}}{TDS_{ETE}}$ . Esta relação foi considerada constante para facilitar os cálculos.

Após obtido o valor de  $n$  foi possível obter a capacidade de reúso como indicado na Equação 10.

$$Q_{MAX} = nQ_{REC} \quad (10)$$

Sendo:

$Q_{MAX}$  = vazão máxima de efluente que pode retornar ao processo

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA INDUSTRIAL E DESMINERALIZADA UTILIZADA NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES

A água industrial utilizada na planta estudada provém de poços artesianos e é tratada antes de ser utilizada na fabricação de cabines de caminhões. Diariamente são captados aproximadamente 130 m<sup>3</sup> de água e o tratamento é realizado conforme apresentado anteriormente na Figura 6.

A qualidade da água industrial está de acordo com os padrões exigidos pelos estágios (TQ-01, TQ-02, TQ-03, TQ-04 e TQ-05) abastecidos por este perfil de água (Quadro 6), baseados nos valores de referência (Quadro 7) definidos pelo fornecedor (HENKEL, 2013) dos produtos químicos aplicados na linha de tratamento de superfícies da planta de fabricação de cabines.

Na Tabela 1 são mostrados os valores médios e os desvios obtidos por meio de amostragens simples da água industrial tratada, durante o período de janeiro a dezembro de 2014. Durante este período foram coletadas e analisadas um total de 49 amostras.

TABELA 1 - VALORES MÉDIOS DA ÁGUA INDUSTRIAL DE JANEIRO A DEZEMBRO 2014

PARÂMETRO	MÉDIO	DESVIO PADRÃO
pH	8,11	0,18
Condutividade (µs/cm)	300,00	17,95
TDS (mg/L)	150,00	8,98
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	< 2	--
Turbidez (NTU)	< 1	--

FONTE: O autor (2014).

A demanda de água industrial para esta planta, considerando-se um volume de produção de 24.768 cabines de caminhões ao longo de janeiro a dezembro de 2014 foi de 79 m<sup>3</sup>/dia, sendo que os pontos TQ-01 (desengraxe), TQ-02 (enxágue desengraxe), TQ-03 (condicionamento), TQ-04 (fosfatização) e TQ-05 (enxágue fosfato) utilizaram em conjunto neste período de 2014, em média, 55,50 m<sup>3</sup>/dia de água industrial.

Contudo, a necessidade diária de água industrial estimada para reposição das perdas líquidas (descartes contínuos e descartes para renovação dos banhos) dos processos TQ-01, TQ-02, TQ-03 e TQ-05 foi de 29,80 m<sup>3</sup>/dia (Tabela 2).

TABELA 2 - NECESSIDADE DE ÁGUA INDUSTRIAL ESTÁGIOS TQ-01, TQ-02, TQ-03, TQ-05, DE JANEIRO A DEZEMBRO 2014

PROCESSOS	VAZÃO MÉDIA (m <sup>3</sup> /dia)
TQ-01 Desengraxe	1,14
TQ-02 Enxágue desengraxe	12,30
TQ-03 Condicionamento	1,36
TQ-05 Enxágue fosfato	15,00

FONTE: O autor (2014).

Com base nos valores mostrados e considerando-se que o consumo total de água industrial para reposição das perdas líquidas para os processos indicados na Tabela 2 foi de 29,80 m<sup>3</sup>/dia e o consumo médio diário total de água industrial, para os processos TQ-01, TQ-02, TQ-03, TQ-04 e TQ-05, foi de 55,50 m<sup>3</sup>/dia, observou-se que a diferença de 25,70 m<sup>3</sup>/dia está, provavelmente, relacionada ao volume de água necessário para repor as perdas por evaporação dos TQ-01 (desengraxe) e TQ-04 (fosfatização), processos estes que operam com temperaturas entre 50 e 60 °C, pois esta diferença não é percebida como aumento de volume de efluente tratado na ETEI. Além da perda por evaporação também ocorreram outras possíveis causas que contribuíram para o consumo de água industrial de reposição, como o preparo de soluções de produtos químicos aplicados na ETEI e águas de lavagens.

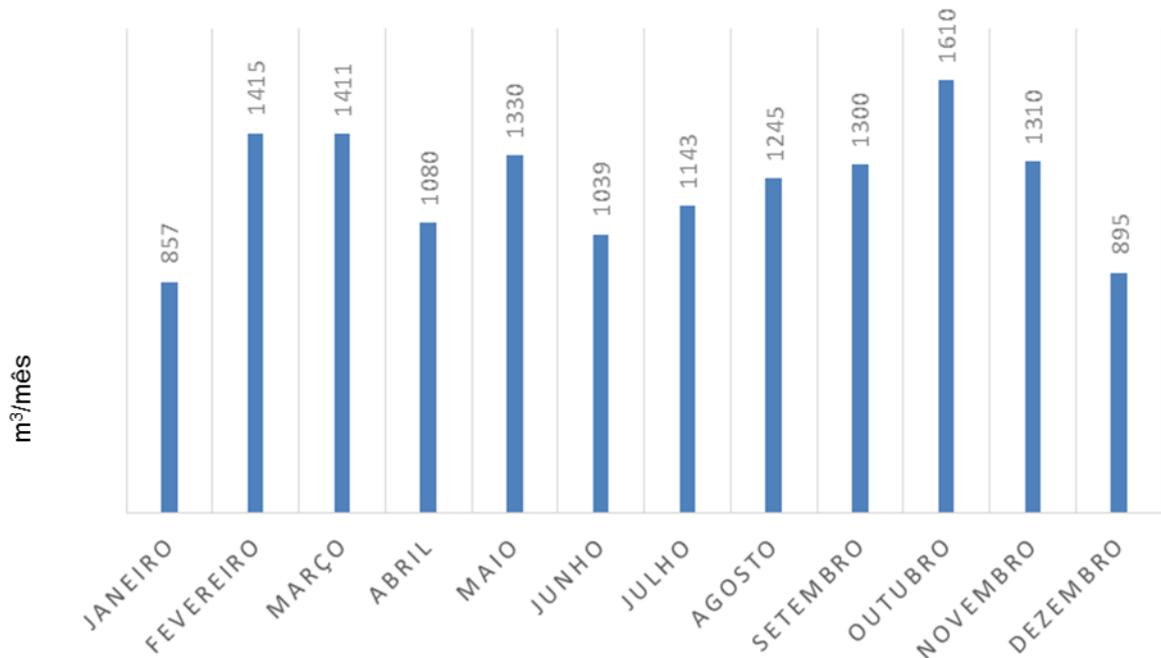
Este levantamento apresenta elevada criticidade em razão da não existência de hidrômetros individuais para medição de reposição de água para cada estágio abastecido por água industrial.

A Figura 12 registra a variação durante o período de janeiro a dezembro de 2014 do consumo mensal em m<sup>3</sup> de água industrial que abastece os estágios de desengraxe (TQ-01), enxágue do desengraxe (TQ-02), condicionamento (TQ-03), fosfatização (TQ-04) e enxágue do fosfato (TQ-05) da linha de pré-tratamento de pintura durante a produção de cabines de caminhões.

As principais causas das variações dos consumos de água devem-se aos dias totais de produção ao longo do mês e necessidades de descartes programados para manutenção dos banhos de solução. O estágio TQ-02 é o único abastecido por água industrial que apresenta um descarte contínuo de água residuária, isto é, 130 litros de água por cabine produzida.

Logo, para fins deste trabalho foram considerados os valores médios de consumo mensal de água industrial, o qual neste caso foi de aproximadamente 1.220 m<sup>3</sup>/mês, considerando-se 22 dias de produção por mês.

FIGURA 12 - CONSUMO MENSAL DE ÁGUA INDUSTRIAL NOS ESTÁGIOS TQ-01, TQ-02, TQ-03, TQ-04 E TQ-05 – JANEIRO A DEZEMBRO DE 2014



FONTE: O autor (2014).

Entretanto, além do uso da água industrial, existem outras etapas, como passivação (TQ-06), enxágue DI (TQ-07), tanque de desengraxe *power wash*, tanque de enxágue do *power wash 1*, tanque de enxágue do *power wash 2* e tanque do anólito da linha de tratamento de superfícies de peças metálicas, plásticas e pintura por eletrodeposição (*E-coat*) que demandam uma água com uma qualidade superior, ou seja a água usada precisa ser desmineralizada. Desta forma, é necessário que a água industrial seja submetida a alguns processos adicionais de tratamento (filtração, abrandamento e osmose reversa), com o objetivo principal de remover íons e sólidos totais dissolvidos presentes na água industrial, conforme indicado anteriormente na Figura 6.

A qualidade da água desmineralizada, apresentada na Tabela 3, mostra que o sistema de produção de água DI, que adota a tecnologia de osmose reversa, atende plenamente a exigência dos estágios de passivação (TQ-06), enxágue DI (TQ-07), *E-coat* / anólito, desengraxe *power wash* e enxágues *power wash 1* e *2*, ou seja, apresenta valores de condutividade inferiores a 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

TABELA 3 - VALORES MÉDIOS DA ÁGUA DESMINERALIZADA DE JANEIRO A DEZEMBRO 2014

PARÂMETRO	MÉDIO	DESVIO PADRÃO
pH	6,40	0,31
Condutividade ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	2,88	0,24
TDS (mg/L)	1,44	0,12
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	< 2	--
Turbidez (NTU)	< 1	--

FONTE: O autor (2014).

A necessidade de água desmineralizada para esta planta, considerando-se um volume de produção de 24.768 cabines de caminhões ao longo de janeiro a dezembro de 2014 foi de 51,00 m<sup>3</sup>/dia, representados pelos pontos TQ-06 (passivação), TQ-07 (enxágue DI), tanque de anolito, desengraxe *power wash*, enxágue *power wash* 1 e enxágue *power wash* 2. A Tabela 4 indica a demanda diária de água desmineralizada para cada um destes processos.

TABELA 4 - DEMANDA DE ÁGUA DESMINERALIZADA ESTÁGIOS TQ-06, TQ-07, E-COAT / ANOLITO, DESENGRAXE POWER WASH, ENXÁGUES POWER WASH 1 E 2 DE JANEIRO A DEZEMBRO 2014

PROCESSOS	VAZÃO MÉDIA (m <sup>3</sup> /dia)
TQ-06 Passivação	24,94
TQ-07 Enxágue DI	1,36
<i>E-coat</i> / anolito	6,45
Desengraxe <i>power wash</i>	6,09
Enxágue <i>power wash</i> 1	6,08
Enxágue <i>power wash</i> 2	6,08

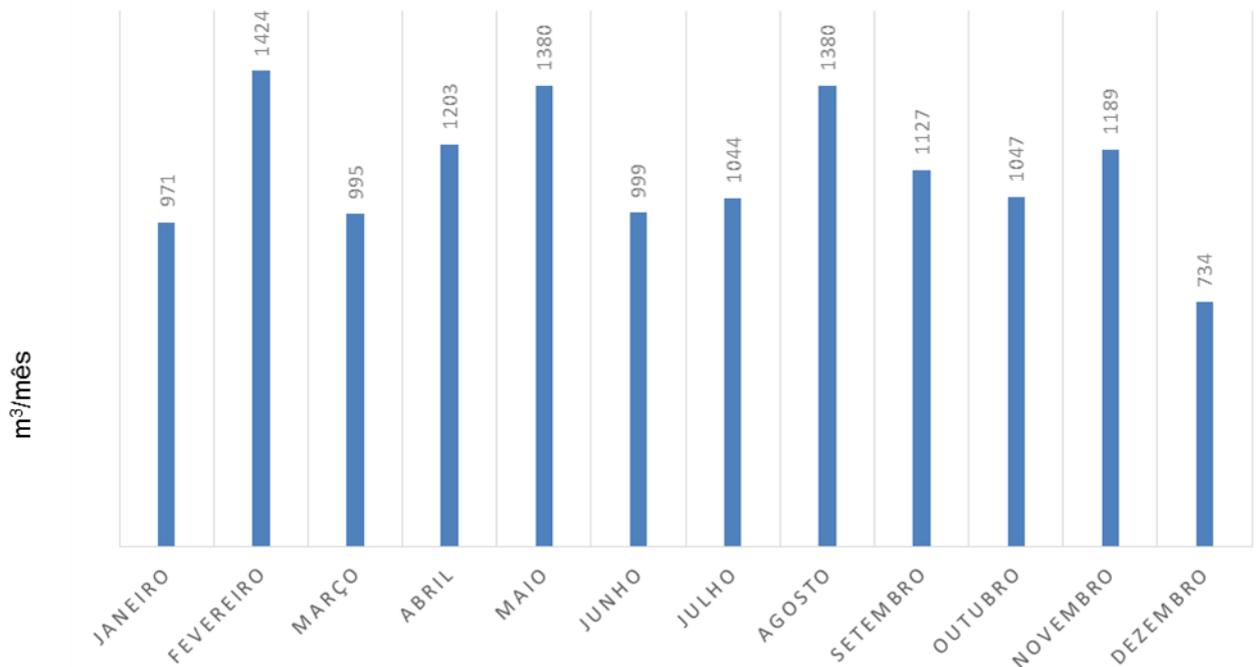
FONTE: O autor (2014).

A Figura 13 registra a variação durante o período de janeiro a dezembro de 2014 do consumo mensal em m<sup>3</sup> de água desmineralizada que abastece os estágios TQ-06 (passivação), TQ-07 (enxágue DI), tanque de anolito, desengraxe *power wash*, enxágue *power wash* 1 e enxágue *power wash* 2 da linha de pré-tratamento de pintura durante a produção de cabines de caminhões.

A principais causas das variações dos consumos de água ocorrem em função dos dias totais de produção ao longo do mês e necessidades pontuais de descartes programados para manutenção dos banhos de solução. O estágio TQ-06 é o único abastecido por água desmineralizada que apresenta um descarte contínuo de água residuária, isto é, 260 litros de água por cabine produzida.

Logo, para fins deste trabalho foram considerados os valores médios de consumo mensal de água desmineralizada, o qual neste caso foi de aproximadamente 1.122 m<sup>3</sup>/mês, considerando-se 22 dias de produção por mês.

FIGURA 13 - CONSUMO MENSAL DE ÁGUA DI NOS ESTÁGIOS 6, 7, E-COAT E PW - 2014



FONTE: O autor (2014).

## 5.2 PRINCIPAIS PONTOS DE GERAÇÃO DE EFLUENTES NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES

Os efluentes gerados ao longo do processo de fabricação de cabines de caminhões são direcionados para uma canaleta que recebe os efluentes descartados nos estágios TQ-01 (desengraxante), TQ-02 (enxágue desengraxe), TQ-03 (condicionamento), TQ-05 (enxágue fosfato), TQ-06 (passivação), TQ-07 (enxágue DI), desengraxe *power wash*, enxágue *power wash 1* e enxágue *power wash 2* e para outra canaleta que recebe os efluentes gerados na linha de *E-coat* e tanque de anólito, processos estes representados anteriormente na Figura 7.

A coleta dos efluentes gerados no setor de pintura de cabines (Figura 7) é enviado para a ETEI da planta (Figura 8), a qual é específica para o tratamento destes efluentes.

Neste estudo foram quantificados os efluentes gerados em cada etapa do processo. Para minimizar as dificuldades encontradas (falta de medidores de vazão para cada tanque da linha de TTS) durante o levantamento da quantidade de efluentes gerados em cada etapa do processo de produção de cabines de caminhões, seria

oportuno a instalação de medidores de vazões individuais para cada estágio do pré-tratamento de pintura.

Com base no levantamento de campo foram identificados e quantificados os seguintes pontos de geração de efluentes como mostrado na Tabela 5.

TABELA 5 - VAZÃO DE EFLUENTES GERADOS NOS PONTOS TQ-01, TQ-02, TQ-03, TQ-04, TQ-05, TQ-06, TQ-07, *E-COAT / ANOLITO*, *DESENGRAXE POWER WASH*, *ENXÁGUES POWER WASH 1 E 2* DE JANEIRO A DEZEMBRO 2014

PROCESSOS	VAZÃO MÉDIA (m <sup>3</sup> /dia)
TQ-01 Desengraxe	1,14
TQ-02 Enxágue desengraxe	12,30
TQ-03 Condicionamento	1,36
TQ-04 Fosfatização	Não existem descartes
TQ-05 Enxágue fosfato	15,00
TQ-06 Passivação	24,94
TQ-07 Enxágue DI	1,36
<i>E-coat/anolito</i>	6,45
<i>Desengraxe power wash</i>	6,09
<i>Enxágue power wash 1</i>	6,08
<i>Enxágue power wash 2</i>	6,08
TOTAL	80,80

FONTE: O autor (2014).

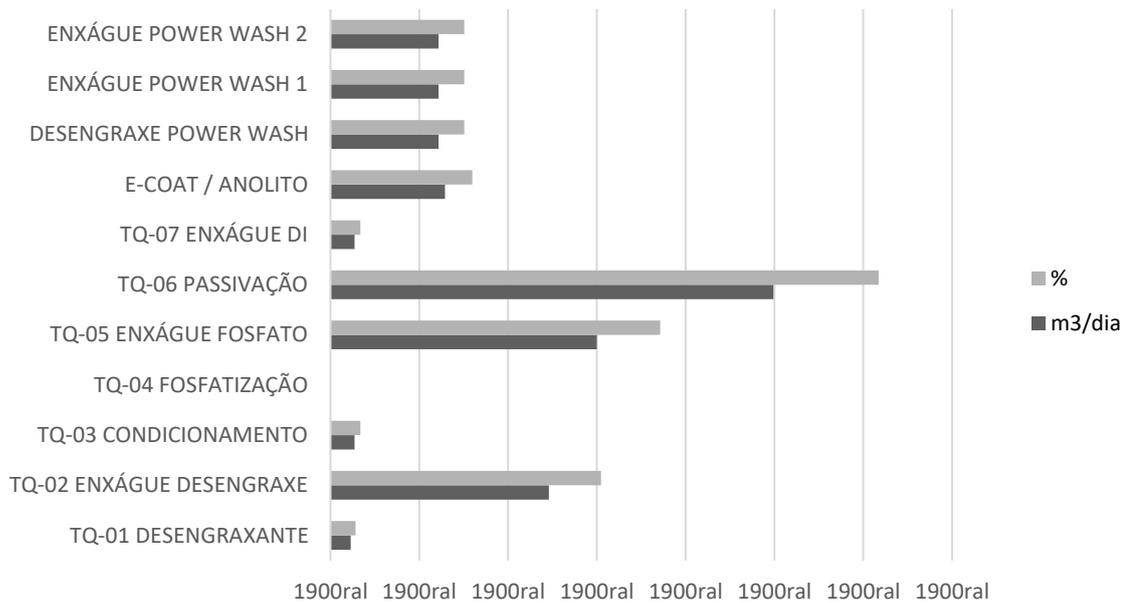
A quantidade total de efluentes gerados que foram enviados para ETEI ao longo de janeiro e dezembro de 2014 foi de aproximadamente 80,80 m<sup>3</sup>/dia.

A Figura 14 mostra a distribuição da vazão de efluentes gerados por etapa do processo de pré-tratamento de pintura.

Os dados mostrados na Figura 14 indicaram que aproximadamente 81% dos efluentes gerados na planta de fabricação de cabines de caminhões são oriundos dos estágios TQ-02, TQ-05, TQ-06, TQ-07, enxágue *power wash 1* e enxágue *power wash 2*, ou seja, etapas de enxágues, o que pode ser um indicativo de correntes com um possível potencial de reúso, principalmente no estágio TQ-06, o qual representa aproximadamente 31% de todo efluente gerado.

Em razão do arraste de produtos químicos presentes nos banhos de um processo de tratamento de superfícies para os estágios responsáveis pelos enxágues, ocorre a necessidade de uma renovação maior da água destes estágios, resultando em uma geração contínua de efluente, a fim de que se mantenha uma qualidade de água aceitável nos estágios de enxágue, garantindo-se assim a eficiência desta etapa fundamental do processo e a qualidade do produto.

FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO DA VAZÃO DE EFLUENTES POR ESTÁGIO



FONTE: O autor (2015).

É importante ressaltar que estágios como o processo de fosfatização (TQ-04), de acordo com a Figura 7, não são geradores de efluentes, pois o objetivo deste processo é manter a concentração da solução do produto químico à base de fosfatos tricatiônicos, não necessitando de descartes para renovações da solução, mas apenas a reposição do produto com base no monitoramento realizado pelo laboratório de qualidade, assim como a reposição de água para compensar perdas por evaporação.

A sistemática atual que promove a mistura de praticamente todas as correntes de efluentes geradas durante o processo de pré-tratamento de superfícies na fabricação de cabines de caminhões, apresenta o inconveniente de unir efluentes de elevada carga orgânica com correntes de baixa carga orgânica e concentração de sais, como as águas de enxágue e lavagens.

Desta forma, a opção de segregação destes efluentes poderiam permitir que estas correntes de boa qualidade sejam reutilizadas novamente no processo produtivo.

Segundo Vajnhandl e Valh (2014) o projeto *AquaFit4Use* foi responsável em avaliar os principais consumidores de água em diversos setores industriais na Europa. O segmento têxtil apresentou uma particularidade em relação ao potencial de tratabilidade e reúso, ou seja, a não segregação das correntes em função da concentração dos contaminantes presentes inviabilizava a produção de água de reúso. Logo, o principal foco do projeto foi segregar as correntes com maior potencial

de reúso e definir as tecnologias adequadas para o tratamento. Como resultado final foi verificado que esta diretriz permitiu a redução de 40% no consumo de água de alimentação.

A segregação dos efluentes desta planta apresenta um potencial de reúso em cascata com a reutilização dos efluentes de baixa carga orgânica e concentração de sais, pois os mesmos possuem características compatíveis com a água industrial utilizada em alguns estágios.

Em um estudo desenvolvido por Gardoni, Catenacci e Antonelli (2015) foram identificadas duas soluções eficientes para obtenção da redução do consumo de água em uma planta italiana de geração de energia a partir de resíduo sólido. A primeira, permitiu a redução de 45% do consumo de água adotando uma configuração de reúso em cascata, sem a necessidade de qualquer tratamento específico. A segunda solução gerou uma redução de 74% no consumo de água, porém com o uso de um reciclo em cascata baseado na utilização de um processo de separação por membranas de osmose reversa.

### 5.3 CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES GERADOS EM CADA ESTÁGIO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES

Os efluentes gerados em cada etapa do processo de pintura de cabines foram caracterizados de forma a verificar a possibilidade de reúso direto (em cascata) destes efluentes, evitando assim que um efluente que possua poucos contaminantes seja enviado para ser tratado na ETEI e seguindo para lançamento final na rede coletora da SANEPAR. Os principais custos operacionais envolvidos nesta fase, segundo informações obtidas internamente e com base no ano de 2015 são: insumos químicos (coagulante, alcalinizante e floculante aniônico) utilizados na ETEI (US\$ 0,41/m<sup>3</sup>), envio de lodo gerado na ETEI para co-processamento (US\$ 0,47/m<sup>3</sup>) e taxa (US\$ 1,41/m<sup>3</sup>) para descarte do efluente na rede coletora da SANEPAR.

De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2005), em razão dos diversos processos industriais existentes, assim como os custos inerentes de uma caracterização completa de um determinado efluente, sugere-se, inicialmente, analisar algum parâmetro crítico, ou então parâmetros gerais que representem um determinado grupo de substâncias. Dentre estes parâmetros pode-se citar: DQO, que representa as substâncias orgânicas oxidáveis, e a condutividade elétrica ou a concentração de sais dissolvidos totais, que

representam com segurança os compostos inorgânicos ionizáveis. Outros parâmetros importantes consistem no pH e na turbidez.

Os resultados obtidos para cada etapa do processo estão mostrados na Tabela 6.

TABELA 6 - CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES GERADOS EM CADA ETAPA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES DE JANEIRO A DEZEMBRO DE 2014

ETAPAS DO PROCESSO	pH	Condutividade (µS/cm)	TDS (mg/L)	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)
TQ-01 Desengraxe	10,62 ± 0,08	13830 ± 692,66	6915 ± 346,33	2207 ± 326,93
TQ-02 Enxágue desengraxe	8,92 ± 0,08	756 ± 22,35	378 ± 11,18	48 ± 12,78
TQ-03 Condicionamento	9,16 ± 0,03	1893 ± 24,37	947 ± 12,19	52 ± 6,33
TQ-05 Enxágue fosfato	7,22 ± 0,49	442 ± 87,47	221 ± 43,72	< 10
TQ-06 Passivação	4,18 ± 0,10	94 ± 11,93	47 ± 5,96	< 10
TQ-07 Enxágue DI	6,27 ± 0,12	11 ± 0,92	6 ± 0,48	< 10
Tanque de anólito	2,29 ± 0,23	2607 ± 1049,39	1303 ± 524,69	1440 ± 296,31
Desengraxe <i>power wash</i>	2,31 ± 0,07	2651 ± 362,71	1326 ± 181,36	921 ± 226,90
Enxágue <i>power wash</i> 1	3,38 ± 0,17	200 ± 43,55	100 ± 21,77	56 ± 19,97
Enxágue <i>power wash</i> 2	3,63 ± 0,75	37 ± 11,01	19 ± 5,51	13 ± 3,90

FONTE: O autor (2014)

Os resultados apresentados na Tabela 6 mostraram que os efluentes gerados nos TQ-05, TQ-06 e TQ-07 possuem características de pH, condutividade, TDS e DQO similares ao perfil da água industrial representada na Tabela 1, o que pode viabilizar o reúso em cascata destas correntes. Entretanto, é importante ressaltar a possibilidade da existência de outros contaminantes presentes nestas correntes, os quais serão discutidos no item 5.5.

Díaz (2007) avaliou uma indústria do segmento têxtil na qual foram mapeados, ao longo do processo produtivo, os setores de maior consumo de água e o volume de efluentes gerados, sendo classificados e quantificados em efluentes com alta e baixa carga orgânica. O efluente de baixa carga representava aproximadamente 70% de todo volume gerado, sendo o mesmo submetido ao tratamento de coagulação e floculação e reciclado no processo.

Neste estudo os efluentes (TQ-05, TQ-06, TQ-07 e *power wash* 2) com baixa carga orgânica (inferior a 10 mg/L) e concentração média de sais dissolvidos (TDS) (75 mg/L) representam aproximadamente 60% do efluente total, indicando a possibilidade de reúso direto e/ou do efluente tratado. Contudo, esta possibilidade deve ser confirmada com a realização de um balanço hídrico detalhado desta unidade, a fim de evitar atitudes precipitadas que possam comprometer a qualidade do produto final.

#### 5.4 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE NA ENTRADA E SAÍDA DA ETE DA PLANTA DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES

A ETEI (Figura 8) foi dimensionada para a planta de produção de cabines com o principal objetivo de tratar o efluente gerado nos diversos estágios presentes ao longo do processo de fosfatização. A unidade foi projetada para uma eficiência de remoção de DQO entre 30 e 50% e acima de 90% para metais.

Na Tabela 7 foram mostrados os dados levantados referentes às vazões de efluentes tratados na ETE no período de janeiro a dezembro de 2014.

TABELA 7 - VAZÕES DE EFLUENTE TRATADO NA ETE FÍSICO-QUÍMICA DA FÁBRICA DE CABINES EM 2014

MÊS	VOLUMES TRATADOS		
	m <sup>3</sup> /mês	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /h
Janeiro	1423,00	64,68	4,04
Fevereiro	1884,00	85,64	5,35
Março	1474,00	67,00	4,19
Abril	2011,00	91,41	5,71
Mai	2218,00	100,82	6,30
Junho	1540,00	70,00	4,38
Julho	1916,00	87,09	5,44
Agosto	2184,00	99,27	6,20
Setembro	2009,00	91,32	5,71
Outubro	1834,00	83,36	5,21
Novembro	1987,00	90,32	5,64
Dezembro	1277,00	55,77	3,49
MÉDIA	1809,00	82,22	5,14

FONTE: O autor (2014)

TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE BRUTO NA ENTRADA E SAÍDA DA ETEI - FÁBRICA DE CABINES, 2014

PARÂMETRO	MÍNIMO		MÁXIMO		MÉDIO		DESVIO PADRÃO	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
pH	4,30	8,67	6,67	10,20	5,61	9,34	1,13	0,60
Condutividade (µs/cm)	515,00	671,00	2970,00	3050,00	1227,50	1450,00	883,97	830,38
TDS (mg/L)	249,00	326,00	1517,00	1562,00	611,67	718,00	458,15	437,59
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	187,00	44,00	982,00	775,00	550,67	379,00	352,66	303,70
Turbidez (NTU)	31,00	15,00	648,00	98,00	274,00	41,00	237,97	36,83

FONTE: O autor (2014)

No momento em que se compara as características do efluente tratado, ou seja, na saída da ETEI que atende o processo de pré-tratamento de pintura (Tabela 8) com o padrão de qualidade da água industrial (Tabela 1) fornecida durante janeiro

a dezembro de 2014 ao processo de pré-tratamento de pintura de fabricação de cabines de caminhão, observou-se que nenhum parâmetro identificado atende os requisitos mínimos necessários para um reúso direto.

De acordo com Kidd (2015) e baseando-se no perfil do efluente na saída do tratamento físico-químico (pH igual a 9,5, condutividade igual a 3.950  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , TDS igual a 2.400 mg/L, DQO igual a 510 mg/L e turbidez igual a 25 NTU) da planta de New River Valley (Quadro 5) fica evidente que tratamentos adicionais, visando-se o reúso do efluente na saída da ETEI, devem ser aplicados. Dentre estas alternativas poderiam ser testadas as tecnologias por separação com membranas, como, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa, pois as mesmas são adequadas para remoção de turbidez, carga orgânica (DQO) e salinidade (TDS), respectivamente.

Os resultados obtidos mostraram que a ETEI estava atingindo a eficiência necessária para atendimento do contrato de lançamento firmado entre a empresa e a SANEPAR.

De acordo com os custos de insumos (produtos químicos), destinação para co-processamento do lodo gerado na ETEI e com a taxa de lançamento de efluente paga a SANEPAR e considerando uma vazão média de 1.809,00 m<sup>3</sup>/mês de efluente tratado, conforme mostrado na Tabela 7, existe para empresa um custo total aproximado de US\$ 49.711,00/ano, sendo 17,9% custos com produtos químicos, 20,5% custos com destinação do lodo e 61,6% custos com taxa de lançamento de efluente na rede coletora da SANEPAR.

Segundo Rodrigues (2005) a criação de regras relacionadas à utilização dos recursos hídricos para diversas finalidades tem como principal objetivo garantir uma relação coerente entre as atividades humanas e o meio ambiente, permitindo-se um melhor equilíbrio de forças entre os múltiplos segmentos da sociedade ou setores econômicos.

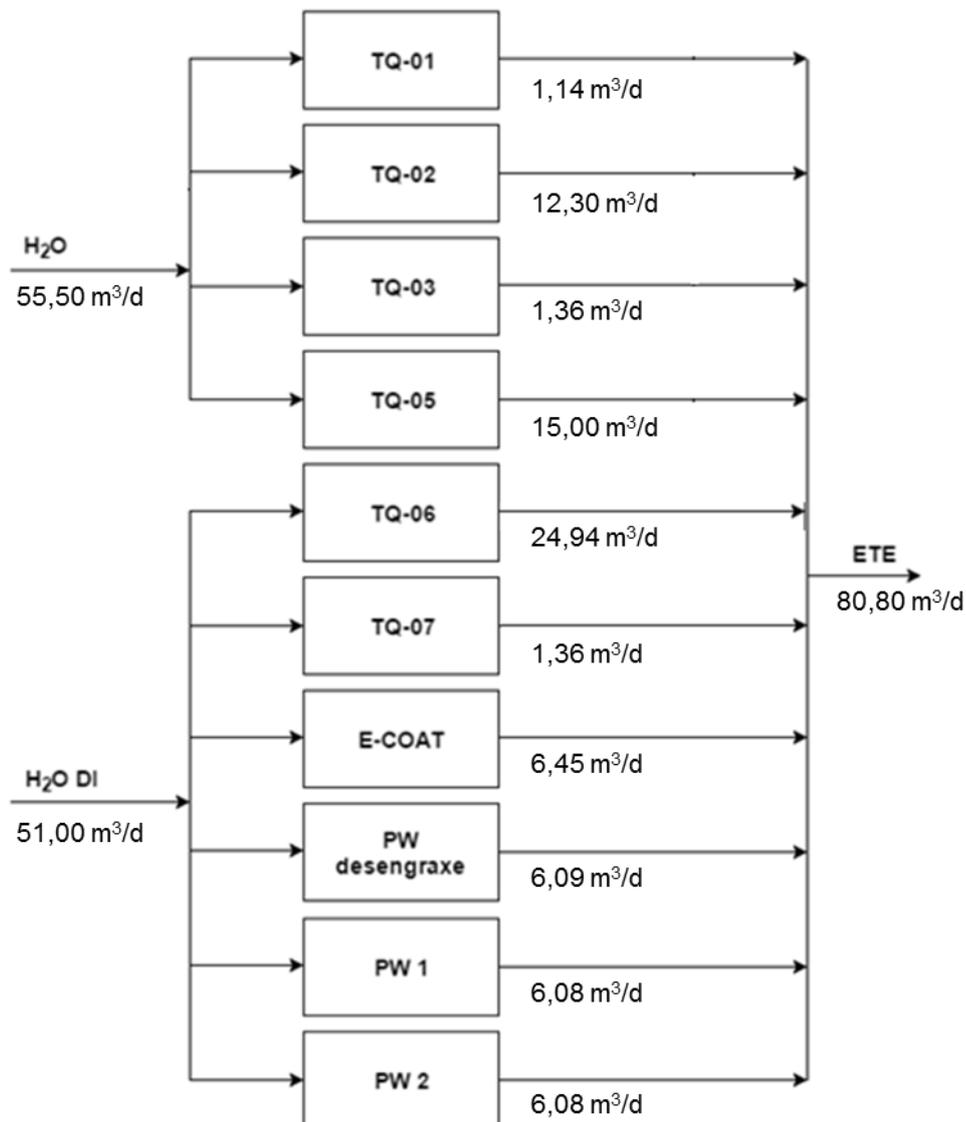
Como sugestão pela busca desta relação coerente, seria oportuno que as indústrias obtivessem incentivos fiscais e econômicos mediante a comprovação de investimentos em processos e tecnologias que permitam o uso de recursos naturais, como a água, de maneira mais sustentável.

É importante que se desenvolvam as relações destes aspectos legais com o reúso e de que forma interferem na disseminação de sua prática, e na elaboração de uma norma específica, a qual deve ser coerente e compatível com a realidade brasileira.

## 5.5 BALANÇO HÍDRICO NA LINHA DE PRÉ-TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES

Com o objetivo do reúso de água para esta planta foi realizado um balanço hídrico que teve como base o diagrama mostrado na Figura 15. Este diagrama foi construído utilizando os dados levantados em campo.

FIGURA 15 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DOS PRINCIPAIS PONTOS DE CONSUMO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES



FONTE: O autor (2016).

Com o levantamento de dados em campo e em laboratório também foi possível obter o Quadro 7, no qual estão apresentados os dados referentes ao tipo de água de alimentação utilizada em cada etapa do processo, os parâmetros e os respectivos

valores máximos permitidos (VMP) definidos pelo fornecedor (HENKEL, 2013), responsável pelo fornecimento e acompanhamento da *performance* dos produtos químicos aplicados em alguns estágios (TQ-02, TQ-03, TQ-04, TQ-06 e *desengraxe power wash*) da linha de pré-tratamento e *E-Coat*, as características dos principais contaminantes presentes nos banhos do processo e as vazões de efluentes descartados nos diversos estágios do processo de pré-tratamento de pintura da fábrica de cabines.

Os dados mostrados no Quadro 7 bem como a Figura 13 foram usados como base para a proposição de alternativas de reúso em cascata.

Em relação as características da água de alimentação necessária para o atendimento do processo de tratamento de superfícies de pintura é importante ressaltar que os dados apresentados foram os únicos obtidos durante a pesquisa.

Com base no Quadro 7 foi verificado que as características dos efluentes gerados nos Tanque 1 (*desengraxe*), *E-coat* e *power wash* (*desengraxe*) apresentaram valores de TDS e DQO muito acima dos valores especificados pelo fornecedor (HENKEL, 2013) para uma água industrial como fonte de abastecimento para o processo de TTS, inviabilizando assim qualquer tentativa de um reúso direto destas correntes de efluentes.

Entretanto, identificou-se que as correntes geradas pelos estágios (Tanque 6, Tanque 7 e Enxáguas 1 e 2) mostraram características de salinidade (TDS) e carga orgânica (DQO) melhores que os valores aceitáveis pelo fornecedor (HENKEL, 2013) para uma água industrial, o que pode ser um indicativo de um possível potencial para o reúso direto.

Os dados mostrados indicam que seis estágios do TTS dependem do fornecimento de água DI para o preparo dos seus banhos. Logo, possíveis hipóteses de reúso possibilitariam apenas a substituição da água industrial pela água de reúso.

QUADRO 7 - COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA EXIGIDA PARA OS PROCESSOS DE TTS E CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE GERADO NOS MESMOS PROCESSOS

continua

PROCESSOS	ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO	QUALIDADE DE ÁGUA (VMP) ESPECIFICAÇÃO (HENKEL, 2013)			EFLUENTE POR PROCESSO	
					Características	Vazão (m <sup>3</sup> /dia)
Pré-Tratamento						
Tanque 1 Desengraxe	Água industrial	pH – 5,0 a 8,0 Condutividade < 600 µS/cm TDS < 300 mg/L	Alumínio total < 10 mg/L Manganês < 5 mg/L Zinco < 50 mg/L	Sílica < 100 mg/L Sulfatos < 50 mg/L Nitratos < 10 mg/L	pH = 10,62 ± 0,08 Condutividade (µS/cm) = 13830 ± 692,66 TDS (mg/L) = 6915 ± 346,33 DQO (mg/L) = 2207 ± 326,93 Óleos e Graxas (%) ≤ 0,5 Tenso ativo (%) = 9 a 18	1,14
Tanque 2 Enxágue Desengraxe	Água industrial	Alcalinidade total < 150 mg/L	Óleos e Graxas < 10 mg/L	Fósforo Total < 10 mg/L	pH = 8,92 ± 0,08 Condutividade (µS/cm) = 756 ± 22,35 TDS (mg/L) = 378 ± 11,18 DQO (mg/L) = 48 ± 12,78	12,30
Tanque 3 Condicionamento	Água industrial	Dureza total < 150 mg/L DQO < 70 mg/L	Ferro total < 50 mg/L	Contagem geral de bactérias heterotróficas (CGBH) < 10 <sup>3</sup> UFC/ml	pH = 9,16 ± 0,03 Condutividade (µS/cm) = 1893 ± 24,37 TDS (mg/L) = 947 ± 12,19 DQO (mg/L) = 52 ± 6,33 Titânio livre = 3 a 12 mg/L	1,36
Tanque 4 Fosfato	Água industrial				Teor de zinco (g/L) = 0,7 a 2,7 Teor de níquel (g/L) = 0,4 a 1,2 Teor de manganês (g/L) = 0,4 a 1,0 Teor de flúor (mg/L) > 200	Não existe descarte deste banho
Tanque 5 Enxágue Fosfato	Água industrial				pH = 7,22 ± 0,49 Condutividade (µS/cm) = 442 ± 87,47 TDS (mg/L) = 221 ± 43,72 DQO (mg/L) = < 10 Presença de metais	15,00

QUADRO 7 - COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA EXIGIDA PARA OS PROCESSOS DE TTS E CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE GERADO NOS MESMOS PROCESSOS

PROCESSOS	ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO	QUALIDADE DE ÁGUA (VMP) ESPECIFICAÇÃO (HENKEL, 2013)		EFLUENTE POR PROCESSO	
				Características	Vazão (m <sup>3</sup> /dia)
Tanque 6 Passivador	Água DI	pH – 5,5 a 7,5 Condutividade < 10 µS/cm TDS < 5 mg/L	Dureza total < 1 mg/L Sílica < 1 mg/L Contagem geral de bactérias heterotróficas (CGBH) < 100 UFC/ml	pH = 4,18 ± 0,10 Condutividade (µS/cm) = 94 ± 11,93 TDS (mg/L) = 47 ± 5,96 DQO (mg/L) = < 10 Zircônio	24,94
Tanque 7 Enxágue Água DI	Água DI	pH – 5,5 a 7,5 Condutividade < 10 µS/cm TDS < 5 mg/L	Dureza total < 1 mg/L Sílica < 1 mg/L Contagem geral de bactérias heterotróficas (CGBH) < 100 UFC/ml	pH = 6,27 ± 0,12 Condutividade (µS/cm) = 11 ± 0,92 TDS (mg/L) = 6 ± 0,48 DQO (mg/L) = < 10	1,36
<i>E-COAT</i>					
Anolito + águas de lavagens de filtros	Água DI	pH – 5,5 a 7,5 Condutividade < 10 µS/cm TDS < 5 mg/L	Dureza total < 1 mg/L Sílica < 1 mg/L Contagem geral de bactérias heterotróficas (CGBH) < 100 UFC/ml	pH = 2,29 ± 0,23 Condutividade (µS/cm) = 2607 ± 1049,39 TDS (mg/L) = 1303 ± 524,69 DQO (mg/L) = 1440 ± 296,31	6,45

QUADRO 7 - COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA EXIGIDA PARA OS PROCESSOS DE TTS E CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE GERADO NOS MESMOS PROCESSOS

PROCESSOS	ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO	QUALIDADE DE ÁGUA (VMP) ESPECIFICAÇÃO (HENKEL, 2013)	EFLUENTE POR PROCESSO		conclusão
			Características	Vazão (m <sup>3</sup> /dia)	
<i>POWER WASH</i>					
Desengraxe	Água DI	pH – 5,5 a 7,5 Condutividade < 10 µS/cm	pH = 2,31 ± 0,07 Condutividade (µS/cm) = 2651 ± 362,71 TDS (mg/L) = 1326 ± 181,36 DQO (mg/L) = 921 ± 226,90	6,09	
Enxágue 1	Água DI	TDS < 5 mg/L Dureza total < 1 mg/L	pH = 3,38 ± 0,17 Condutividade (µS/cm) = 200 ± 43,55 TDS (mg/L) = 100 ± 21,77 DQO (mg/L) = 56 ± 19,97	6,08	
Enxágue 2	Água DI	Sílica < 1 mg/L Contagem geral de bactérias heterotróficas (CGBH) < 100 UFC/ml	pH = 3,63 ± 0,75 Condutividade (µS/cm) = 37 ± 11,01 TDS (mg/L) = 19 ± 5,51 DQO (mg/L) = 13 ± 3,90	6,08	
TOTAL				80,80	

FONTE: O autor (2016).

## 5.6 PROPOSTAS DE REÚSO COM A FINALIDADE DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA E DE EFLUENTES PARA A PLANTA DE FABRICAÇÃO DE CABINES DE CAMINHÕES

Para o reúso de efluentes direto, foi necessária a avaliação das características dos efluentes disponíveis, assim como dos requisitos de qualidade exigidos para a entrada do processo mostradas no Quadro 7. Pois, qualquer que seja a estratégia avaliada, é fundamental que a prática de reúso seja muito bem planejada, a fim de proporcionar os máximos benefícios ambientais possíveis com a manutenção da qualidade do produto final.

Desta forma, inicialmente foram avaliados os parâmetros de qualidade que ajudam a identificar aplicações potenciais para o reúso de efluentes como recomendado por Mierzwa e Hespanhol (2005). Dentre os parâmetros avaliados neste estudo a concentração de sólidos totais dissolvidos (TDS) foi escolhido como o mais adequado, pois é um parâmetro restritivo para o uso da água nas diversas aplicações industriais e está correlacionado com a condutividade, que é principal parâmetro para a qualidade da água dos banhos do processo de pintura eletrofóretica adotada na produção de cabines de caminhões.

Assim, foram avaliadas algumas hipóteses de reúso a fim de minimizar a quantidade total de efluente gerada no setor de pintura desta unidade. O Quadro 8 resume as possibilidades avaliadas.

Em razão das características específicas dos efluentes gerados nas etapas de enxágue do fosfato (TQ-05), desengraxante *power wash* e enxágues 1 e 2 e das dificuldades presentes para adequação destes efluentes para um reúso no próprio tanque, optou-se por descartar as hipóteses 1 e 2 como alternativas para este estudo.

Para a análise das hipóteses 3 a 7, mostradas no Quadro 8, o diagrama esquemático dos principais pontos de consumo de água e geração de efluentes (Figura 15) e os resultados estão mostrados no Apêndice. Com base nestes diagramas as possibilidades de reúso foram avaliadas.

E assim, para cada uma destas hipóteses foi possível realizar o balanço hídrico e estimar a vazão e a qualidade da água de reúso como mostra a Tabela 9.

QUADRO 8 - HIPÓTESES DE REÚSO AVALIADAS

HIPÓTESE	OBJETIVO	DIFICULDADES
1 Segregar o efluente do tanque TQ-05 (enxágue do fosfato)	Reúso no próprio tanque	Necessidade de remoção de metais (Zn, Ni, Mn) e investir em um sistema de osmose reversa para permitir o reúso no próprio tanque Espaço físico limitado
2 Segregar os efluentes do desengraxe power wash e utilizar as águas dos enxágues 1 e 2	Reúso direto do efluente no próprio processo de TTS	Instalar um tanque para recebimento do efluente dos enxágues 1 e 2, direcionando o efluente do desengraxe para ETEI
3 Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 (passivação) e TQ-07 (enxágue DI)	Reúso direto do efluente no próprio processo de pintura de cabines ou retornar o efluente para o processo de tratamento da água bruta e reusar o efluente na produção de água industrial ou DI	Necessidade de correção de pH. Espaço físico para construção alocação de um tanque de reúso Necessidade de tubulações e bombas para implementação do reúso
4 Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 (passivação) e TQ-07 (enxágue DI) Segregar o efluente do tanque TQ-02 (enxágue desengraxe)	Reúso direto do efluente dos tanques TQ-06 e TQ-07 no próprio processo de pintura de cabines Reúso direto do efluente do tanque TQ-02 para usos menos nobres como água de lavagem de pisos	Necessidade de investimento em infraestrutura para instalação de 2 tanques para armazenamento de efluente, tubulações e bombas. Espaço físico limitado Mudanças de <i>lay-out</i>
5 Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 (passivação), TQ-07 (enxágue DI), e tanques de enxágue 1 e 2 do <i>power wash</i>	Reúso direto do efluente no próprio processo de pintura de cabines	
6 Segregar e unir os efluentes dos tanques 02, 06 e 07 e enxágues 1 e 2 do <i>power wash</i>	Reúso no processo de pintura	
7 Segregar e unir os efluentes dos tanques 02, 05, 06 e 07 e enxágues 1 e 2 do <i>power wash</i>	Reúso no processo de pintura	
8 Submeter o efluente que deixa a ETEI a um sistema de tratamento avançado	Tratar o efluente da saída da ETEI utilizando processo de UF e osmose reversa e reusar no processo industrial (reuso do efluente tratado)	Elevado custo de investimento e operacional para implantação de uma planta de UF e osmose reversa

FONTE: O autor (2016).

TABELA 9 - PROPRIEDADES DA CORRENTE DE REÚSO EM CASCATA (OPÇÕES 3, 4, 5, 6 E 7)

HIPÓTESE	pH	k ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	TDS (mg/L)	DQO (mg/L)	VAZÃO ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )
3 - Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 (passivação) e TQ-07 (enxágue DI)	4,20	89,76	44,88	10	26,30
4 - Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 (passivação) e TQ-07 (enxágue DI)	4,20	89,76	44,88	10	26,30
4 - Segregar o efluente do tanque TQ-02 (enxágue desengraxe)	8,92	756	378	48	12,30
5 - Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 (passivação), TQ-07 (enxágue DI), e tanques de enxágue 1 e 2 do <i>power wash</i>	3,84	99,00	49,50	17,75	38,46
6 - Segregar e unir os efluentes dos tanques 02, 06 e 07 e enxáguas 1 e 2 do <i>power wash</i>	3,96	258,21	129,10	25,08	50,76
7 - Segregar e unir os efluentes dos tanques 02, 05, 06 e 07 e enxáguas 1 e 2 do <i>power wash</i>	4,07	300,13	150,06	21,64	65,76

FONTE: O autor (2016).

Com base no Quadro 7 e Tabela 9 foi observado que as etapas de desengraxe (TQ-01), enxágue desengraxe (TQ-02), condicionamento (TQ-03) e fosfato (TQ-04) apresentam exigências para a qualidade da água de alimentação inferior à qualidade da água obtida com a segregação do processo, exceto para o pH. Assim, a implementação do reúso em cascata seria para suprir a água industrial utilizada nestes processos.

Em razão da diferença de qualidade dos efluentes segregados na hipótese 4, existe a necessidade de dois tanques de reúso, visto que a concentração total de sais dissolvidos da água de reúso é muito inferior à concentração do efluente do tanque 02. Portanto, um tanque foi alimentado com a corrente de reúso de boa qualidade (TQ-06 e TQ-07), selecionada para o retorno no processo, e outro com a corrente de média qualidade (TQ-02), a qual pode ser designada para lavagem de pisos, reposição de água para o tanque de decapagem alcalina, entre outras finalidades.

Na hipótese 7, como a vazão de saída da corrente resultante para o reciclo foi maior que a vazão necessária para a entrada do processo, 15,6% dessa corrente pode ser usada em outra finalidade.

De uma forma geral todas as hipóteses apresentam uma qualidade de água compatível com o perfil da água desejável (Quadro 7), sendo necessário apenas pequenas correções no valor de pH. Em termos de vazões, observou-se que com

exceção da hipótese 7, para todas as outras ainda será necessário uma complementação de água industrial para atendimento do processo.

Para cada uma das hipóteses também foi estimada, por balanço hídrico, a vazão e a qualidade do efluente, caso o reúso dos efluentes for adotado. Os resultados estão mostrados na Tabela 10.

TABELA 10 - PROPRIEDADES DA CORRENTE DO EFLUENTE A SER ENVIADO PARA A ETEI COM A IMPLEMENTAÇÃO DO REÚSO EM CASCATA (HIPÓTESES 3, 4, 5, 6 E 7)

HIPÓTESE	pH	k ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	TDS (mg/L)	DQO (mg/L)	VAZÃO ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )
3 - Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 (passivação) e TQ-07 (enxágue DI)	2,91	1260,13	630,07	342,11	54,50
4 - Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 (passivação) e TQ-07 (enxágue DI) e segregar o efluente do tanque TQ-02 (enxágue desengraxe)	2,80	1407,07	703,54	427,83	42,20
5 - Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 (passivação), TQ-07 (enxágue DI), e tanques de enxágue 1 e 2 do <i>power wash</i>	2,83	1587	793,93	430,45	42,34
6 - Segregar e unir os efluentes dos tanques 02, 06 e 07 e enxáguas 1 e 2 do <i>power wash</i>	2,68	1928,48	964,24	587,05	30,04
7 - Segregar e unir os efluentes dos tanques 02, 05, 06 e 07 e enxáguas 1 e 2 do <i>power wash</i>	2,38	3411,00	1705,50	1162,56	15,04

FONTE: O autor (2016).

Contudo, a utilização do reúso em cascata, ou seja, o reúso direto do efluente nos tanques TQ-01, TQ-02, TQ-03 e TQ-4 do processo de pintura de cabines, faz com que ocorra um aumento na concentração de sais (TDS), pois uma carga de sais vai sendo incorporada à água industrial conforme a reutilização do efluente.

De acordo com a norma NBR – 13.969/97 da ABNT, deve-se utilizar uma rede hidráulica separada e com cores diferentes e armazenar a corrente de reúso em um tanque separado devidamente identificado, transportado através de bombas. Além disso, análises laboratoriais, no mínimo trimestralmente, devem ser realizadas para se aferir as condições de funcionamento dos equipamentos e se os parâmetros, principalmente o restritivo, estão dentro do limite.

Logo, foi avaliado o aumento da concentração de sais no sistema, o que permitiu determinar o potencial máximo de reúso de efluentes, sem ultrapassar os padrões de qualidade requeridos, que neste caso foi considerado que o limite para o TDS devia ser inferior a 300 mg/L.

Para tal as equações 7 a 10 mostradas na metodologia foram resolvidas de forma interativa e os resultados estão mostrados na Tabela 11. Os diagramas utilizados para o balanço hídrico de cada caso avaliado estão mostrados no Apêndice.

TABELA 11 - COMPARAÇÃO DA CARGA DE TDS INCORPORADA NO SISTEMA ( $G$ ) COM A IMPLEMENTAÇÃO DO REÚSO EM CASCATAS (HIPÓTESES 3, 4, 5, 6 E 7)

HIPÓTESE	$G$ (g/dia)	$TDS_{REC}$ (mg/L)	$TDS_{ETE}$ (mg/L)	$\frac{TDS_{REC}}{TDS_{ETE}}$	$n$	$Q_{MAX}$ (m <sup>3</sup> )
3 - Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 (passivação) e TQ-07 (enxágue DI)	27.120,53	289,39	4.062,71	0,0712	8	210,40
4 - Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 (passivação) e TQ-07 (enxágue DI) e segregar o efluente do tanque TQ-02 (enxágue desengraxe)	27.120,53	289,39	4.536,45	0,0638	9	347,40
5 - Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 (passivação), TQ-07 (enxágue DI), e tanques de enxague 1 e 2 do <i>power wash</i>	27.120,53	283,44	4.545,89	0,0623	7	269,22
6 - Segregar e unir os efluentes dos tanques 02, 06 e 07 e enxáguas 1 e 2 do <i>power wash</i>	27.120,53	245,25	1.831,74	0,1339	2	101,52
7 - Segregar e unir os efluentes dos tanques 02, 05, 06 e 07 e enxáguas 1 e 2 do <i>power wash</i>	25.577,27	177,81	1705,50	0,1042	1	65,76

FONTE: O autor (2016).

NOTA:  $n$  - número máximo de reciclos;  $TDS_{REC}$  - concentração de sais na água de reúso;  $TDS_{ETE}$

- concentração de sais na corrente enviada para a ETE;  $\frac{TDS_{REC}}{TDS_{ETE}}$  - relação entre as concentrações

das correntes de saída;  $Q_{MAX}$  - vazão máxima de reúso.

O aumento da concentração de TDS na unidade avaliada justificou o uso deste parâmetro para auxiliar na avaliação do potencial de reúso, pois uma carga de sais vai sendo incorporada à água conforme a reutilização do efluente. Logo, foi preciso avaliar devidamente a ascensão da concentração de sais no sistema, o que permitiu determinar o potencial máximo de reúso de efluentes, sem ultrapassar os padrões de qualidade requeridos.

Logo, baseando-se numa concentração máxima de 300 mg/L de TDS na água de reúso foi possível determinar o número máximo de reciclos ( $n$ ) que o sistema

suporta. Os dados da Tabela 11 mostram que a hipótese 4 representa uma capacidade de no máximo 9 reciclos, tendo que, em seguida, as correntes serem encaminhadas para o tratamento de efluentes.

Por fim, a capacidade de reúso da hipótese 4 pôde ser determinada por meio da multiplicação do número de reciclos pela vazão da corrente reciclada, correspondendo a um valor de 347,40 m<sup>3</sup>.

Desta forma, com base nas informações da Tabela 11 foi possível obter uma comparação entre as hipóteses avaliadas, as quais estão mostradas no Quadro 9.

Em relação à minimização da quantidade de efluente a ser enviado para a ETEI e a maximização da capacidade de reúso, verificou-se, analisando o Quadro 9, que a hipótese de unir os efluentes dos tanques 06 e 07 para o reúso no processo e utilizar o efluente do tanque 02 para outras finalidades apresentou o maior valor (347,40 m<sup>3</sup>) disponível para um possível reúso direto. Entretanto, deve-se ressaltar que outros componentes, como estrutura e modificações necessárias na planta precisam ser levados em consideração para uma tomada de decisão, de modo que se alcance os melhores resultados, reduzindo-se o consumo de água e os impactos ambientais negativos.

De acordo com os dados mostrados no Quadro 9, foi verificado que esta hipótese de reúso permite uma redução diária aproximada de 39 m<sup>3</sup>/dia de efluente a ser tratado na ETEI e conseqüentemente lançado na rede coletora da SANEPAR.

Logo, com base nos custos envolvidos para o tratamento de efluentes, ou seja, insumos, destinação do lodo e taxa para lançamento de efluente na rede coletora da SANEPAR, foi verificado que esta alternativa indica um potencial de redução de custo de aproximadamente US\$ 23.500,00 / ano, além de uma redução estimada de 10.300 m<sup>3</sup>/ano de água industrial.

Uma das hipóteses mostradas no Quadro 8 foi a possibilidade de se realizar um tratamento avançado (opção 8), de modo que se consiga recuperar aproximadamente 75% de todo o efluente tratado na ETEI existente na planta de fabricação de cabines de caminhões, ou seja, aproximadamente 60 m<sup>3</sup>/dia.

QUADRO 9 - COMPARATIVO DAS HIPÓTESES DE REÚSO

HIPÓTESE	QUANTIDADE DE EFLUENTE ENVIADO PARA A ETE (m <sup>3</sup> /dia)	QUANTIDADE DE ÁGUA PARA REÚSO NO PROCESSO (m <sup>3</sup> /dia)	QUANTIDADE DE ÁGUA INDUSTRIAL NO PROCESSO (m <sup>3</sup> /dia)	QUANTIDADE DE ÁGUA PARA OUTRAS FINALIDADES (m <sup>3</sup> /dia)	CAPACIDADE DE REUSO (m <sup>3</sup> )
3 - União dos efluentes dos tanques 06 e 07	54,50	26,30	29,20	0,00	210,40
4 - União dos efluentes dos tanques 06 e 07 para reciclo e utilizar o efluente do tanque 02 para outras finalidades	42,20	26,30	29,20	12,30	347,40
5 - União dos efluentes dos tanques 06 e 07 e enxáguas 1 e 2 do <i>power wash</i>	42,34	38,46	17,04	0,00	269,22
6 - União dos efluentes dos tanques 02, 06 e 07 e enxáguas 1 e 2 do <i>power wash</i>	30,04	50,76	4,74	0,00	101,52
7- União dos efluentes dos tanques 02, 05, 06 e 07 e enxáguas 1 e 2 do <i>power wash</i>	15,04	55,50	0,00	10,26	65,76

FONTE: O autor (2016).

Entretanto, por meio de contato com fabricantes de equipamentos para reúso de efluentes em plantas com processos similares ao estudo de caso e baseando-se no perfil de efluentes (Tabela 8) foi sugerido a configuração apresentada na Figura 16 como uma tecnologia adequada para a obtenção de uma água de reúso que atenda as características mínimas de uma água industrial para uso no processo de TTS, conforme definido pelo fornecedor (HENKEL, 2013) e apresentado no Quadro 7.

Em razão do cenário específico desta fábrica, isto é, abastecimento de água industrial oriundo de poço artesiano (sem custo) e baixo custo (US\$ 1,41/m<sup>3</sup>) para o lançamento do efluente tratado na ETEI na rede coletora da SANEPAR, observou-se pouca atratividade para que se invista em uma unidade de tratamento avançado para reúso do efluente tratado.

A planta de reúso proposta (Figura 16) foi dimensionada com base nas características do efluente tratado na saída da ETEI (Tabela 8), a fim de garantir, segundo o fornecedor dos equipamentos, uma qualidade de água de reúso com o seguinte perfil: pH entre 6 e 7, condutividade inferior a 50 µS/cm, TDS inferior a 25 mg/L, turbidez inferior a 1 NTU e DQO inferior a 10 mg/L. (KIDD, 2015).

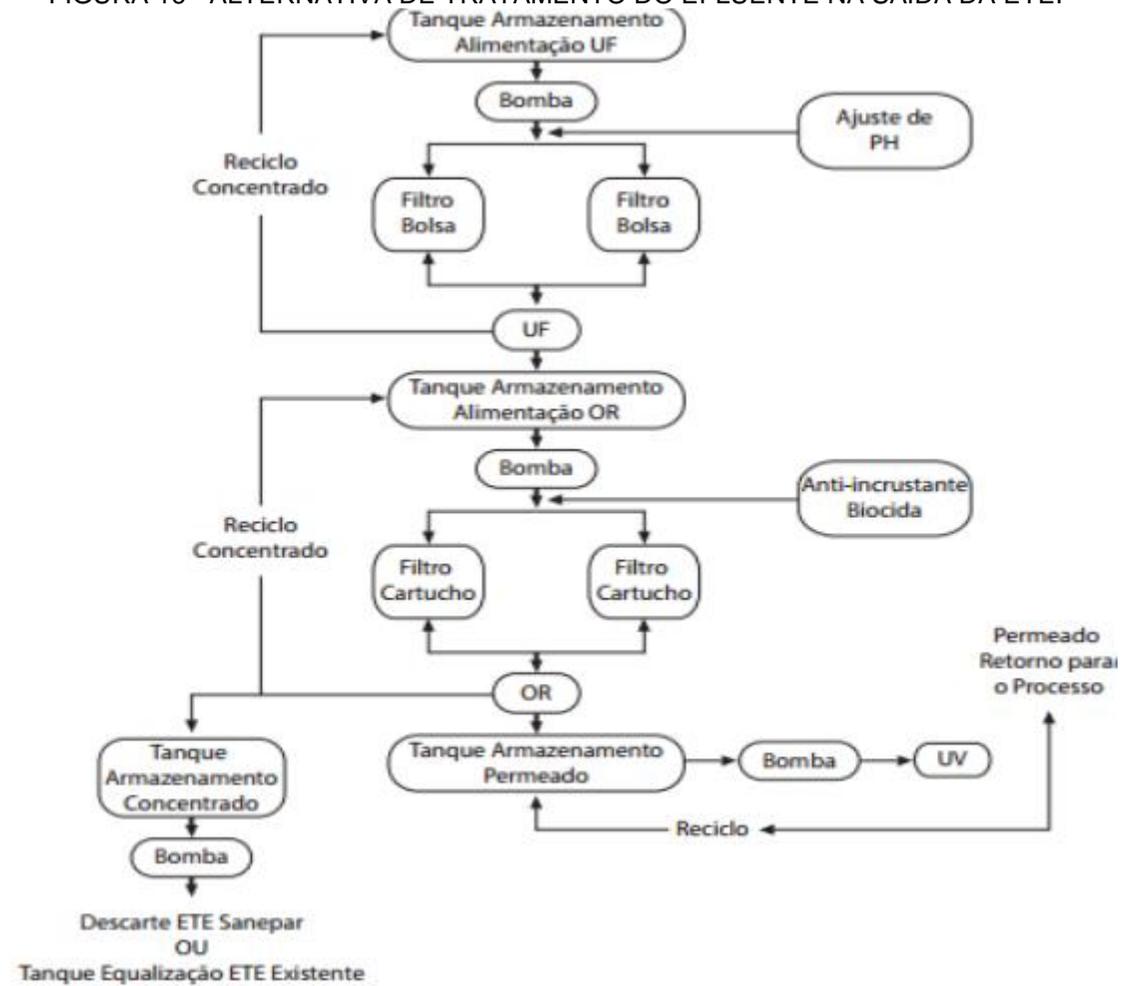
O custo de investimento para esta planta de reúso (Figura 16) foi estimado pelo fornecedor de equipamento em aproximadamente US\$ 600.000,00, além de um custo operacional, envolvendo substituição de membranas e uso de produtos químicos, de US\$ 70.000,00 / ano. (KIDD, 2015).

O benefício obtido pela implementação da planta seria a redução de US\$ 24.000,00/ano em lançamento de efluente na rede coletora e de aproximadamente 16.000 m<sup>3</sup>/ano em água captada, porém ainda seria verificado um custo operacional total de US\$ 95.711,00 / ano.

Desta forma, considerando o cenário atual e os gastos (US\$ 49.711,00 / ano) envolvidos para captação de água de poço, produtos químicos utilizados na ETEI e descartes do efluente tratado na rede coletora da SANEPAR, verifica-se a pouca atratividade desta alternativa.

Entretanto, nada impede que em mudanças de cenários, ou seja, escassez hídrica, necessidade de compra de água e impossibilidade de descartes em rede coletora, esta hipótese possa ser reavaliada.

FIGURA 16 - ALTERNATIVA DE TRATAMENTO DO EFLUENTE NA SAÍDA DA ETEI



FONTE: Adaptado de KIDD (2015).

## 6 CONCLUSÃO

O mapeamento de um processo industrial é fundamental para que se consiga identificar as características dos usuários de água e geradores de efluentes dentro desse sistema, a fim de que se conheçam as possíveis oportunidades e possibilidades em se desenvolver o reúso de efluentes industriais, seja o reúso em cascata ou o reúso de efluente tratado. Neste último, em geral, os efluentes gerados são submetidos a tratamentos adicionais com o objetivo de se atender a qualidade de água de reúso exigida pelo processo consumidor.

Desta forma, a prática do reúso de efluentes industriais objetiva melhorar a produtividade industrial, estimulando os consumidores de água a desenvolver cada vez mais práticas de consumos sustentáveis.

Este estudo de caso se desenvolveu em uma fábrica de produção de cabines de caminhões. De acordo com os levantamentos realizados, verificou-se que os estágios responsáveis por enxágues representam aproximadamente 81% de todo o efluente gerado neste processo industrial e conseqüentemente são os principais usuários de água.

Neste estudo foram comparadas as características do efluente tratado na ETEI com os requisitos da água industrial utilizada no processo, e observou-se que o efluente tratado nesta planta necessita de um tratamento adicional, de modo que se alcance um grau de qualidade requerido pelo consumidor final. Estes tratamentos adicionais não atuam apenas na remoção de poluentes específicos, mas também exercem o papel de barreiras múltiplas.

Uma das hipóteses avaliadas neste estudo foi a implementação de uma unidade de tratamento avançado (ultrafiltração e osmose reversa) com o potencial de recuperar 75% do efluente tratado, ou seja, aproximadamente 60 m<sup>3</sup>/h. Entretanto, em função do cenário da planta estudada, isto é, o uso de água de poço como fonte de abastecimento para os processos usuários de água, esta alternativa apresenta pouca atratividade em razão do alto capital de investimento e alto custo operacional. Logo, este estudo se concentrou em buscar alternativas que valorizassem o reúso em cascata.

A caracterização da água industrial e da água desmineralizada mostrou que as características destes dois tipos de águas estavam compatíveis com os requisitos

considerados. O valor de 300 mg/L para o parâmetro sólidos totais dissolvidos (TDS) na água industrial serviu como referência para as simulações do reúso em cascata.

O levantamento das características de cada corrente de efluente por meio de análises de pH, condutividade, TDS e DQO identificou que as correntes de tanques de enxágues apresentaram na sua grande maioria baixa carga orgânica (DQO inferior a 10 mg/L) e baixa salinidade (TDS de 75 mg/L), representando um perfil similar ao da água industrial, potencializando o reúso em cascata.

Dentre as várias hipóteses avaliadas para o reúso em cascata consideradas verificou-se que a alternativa mais interessante, se implementada, possibilitará o reúso de aproximadamente 347 m<sup>3</sup> de água. Com base nos custos envolvidos no gerenciamento dos efluentes com produtos químicos, destinação do lodo e lançamento final na rede coletora da SANEPAR será possível obter uma redução de custo de até US\$ 23.500,00/ano, além de uma redução na captação de água de 10.300 m<sup>3</sup>/ano.

Quando se busca a prática do reúso de efluentes industriais deve-se levar em consideração não apenas os níveis de concentrações destes contaminantes, mas também uma reduzida variabilidade destas concentrações.

Este trabalho mostrou a importância de se projetar e construir uma planta de TTS pensando-se sempre na importância de segregação das diversas correntes de efluentes, o que pode facilitar e viabilizar o reúso de água no processo industrial.

Além das questões tecnológicas que envolvem um processo industrial, este estudo contribui com a sociedade, por meio de propor alternativas que minimizam os impactos ambientais relacionados ao consumo dos recursos naturais, os quais não são infinitos.

Esta dissertação mostra que mesmo em plantas industriais que já atuam em conformidade com padrões de excelência reconhecidos, é possível sempre identificar oportunidades de melhorias, quando profissionais inseridos nos processos estão dispostos a desenvolver um aprendizado contínuo e aproveitar os diversos desafios propostos pelo ambiente corporativo.

Desta forma, os resultados obtidos por meio deste estudo, permitem alertar que nem sempre o aproveitamento do efluente tratado é a opção mais produtiva para o reúso de efluentes industriais, o que em muitos momentos, pela falta de conhecimento dos usuários e oportunidades de muitas empresas de equipamentos, acabam resultando em investimentos com baixo retorno.

Com a intenção de continuidade deste trabalho de pesquisa, recomenda-se para estudos futuros:

- Desenvolver testes com plantas piloto *in situ* simulando-se a proposta apresentada como alternativa para o tratamento avançado do efluente tratado na ETEI;
- Caracterizar outros parâmetros nas correntes de efluentes;
- Avaliar outras tecnologias para o reúso do efluente tratado;
- Avaliar tecnicamente e economicamente novas possibilidades para o tratamento do efluente gerado no processo de tratamento de superfícies.

## REFERÊNCIAS

- AGANA, B. A.; ORBELL, J. D.; REEVE, D. A case study involving two large manufacturing companies based in Australia. **Journal of Environmental Management**, v.114, p. 445-460, 2012.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater**. 22.ed. Washington: APHA, 2012.
- AQUINO, V. Reúso industrial e aproveitamento de águas pluviais: soluções viáveis para tempos de escassez. **Revista TAE**, São Paulo, n. 20, p. 34-38, ago./set. 2014.
- ASANO, T.; BURTON, F. L.; LEVERENZ, H. L.; TSUCHIHASHI, R.; TCHOBANOGLOUS, G. **Water reuse: issues, technologies, and applications**. New York: McGraw Hill, 2007.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969/97: Tanques sépticos - unidade de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, set. 1997.
- ABTS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES. **Apostila de treinamento em processos industriais de pintura**. São Paulo, 2006.
- ANFAVEA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário da indústria automobilística 2016**. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br>>. Acesso em: 1.º mar. 2016a.
- \_\_\_\_\_. **Estatísticas 2016**. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br>>. Acesso em: 1.º mar. 2016b.
- BAGGIO, C. **Membranas no tratamento e reciclagem de efluentes industriais – estudos de casos**: apresentação oral. Trabalho apresentado no 7.º Curso de Extensão Internacional em Meio Ambiente – PPGMAUI. Alemanha: Universität Stuttgart, ISWA, 2015.
- BASF. **Processo de E-coat**. Apostila de Treinamento. Curitiba, 2010.
- CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 2.ed. ampl. São Paulo: Engenho, 2012.
- CDP - CARBON DISCLOSURE PROJECT. Global Water Report. CDP 2014. Disponível em: <<http://www.cdp.net>>. Acesso em: 13 fev. 2016.
- CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Avanços da indústria brasileira rumo ao desenvolvimento sustentável**: síntese dos fascículos setoriais. Brasília: CNI, 2012.

CNRH 54/2005, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cnrh/54\\_2005\\_criterios\\_gerais\\_uso\\_agua.pdf](http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cnrh/54_2005_criterios_gerais_uso_agua.pdf)>. Acesso em: 27 abr. 2015

DE BEM, P. P. T. **Minimização do efluente gerado em pré-tratamento de pintura automotiva**: um caso industrial. 211 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Curitiba, 2008.

DÍAZ, E. M. P. **Segregação de efluentes líquidos industriais**: análise econômica através de decisão multicritério utilizando o método AHP – estudo de caso para o setor têxtil/acabamento de malhas – Minas Gerais. 289 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

DURR. **Processo de *power wash* Volvo**. Apostila de Treinamento. Curitiba, 2012.

ERTHAL, L. A. V. **Avaliação do potencial para reuso do efluente tratado como água de processo na indústria automotiva**. 103 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Curitiba, 2011.

FÉLIX, C. Informações Sistema de ETE + Reuso de Efluente tratado. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por:samuel.santos@permutation.com.br em: 02/03/2016.

FU, F.; WANG, Q. Remove of heavy metal ions from wastewaters: a review. **Journal of Environmental Management**, p. 407-418, 2011.

GARDONI, D.; CATENACCI, A.; ANTONELLI, M. Reuse of process in a waste-to-energy plant: an Italian case of study. **Waste management** (New York, N.Y.), v. 43, p. 196-202, 2015.

GOLDSCHMIDT, A.; STREITBERGER, H. J. **BASF Handbook on Basics of Coating Technology**. Hannover, Germany: Vincentz Network, 2003.

GREGORY, J. **Particles in Water**: Properties and Processes. London: IWA Publishing/CRC Press, 2006.

GUNATILAKE, S. Q. Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. **Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS)**, v.1, n.1, p.12-18, nov. 2015.

GUNDUZ, G. Chemistry, Materials, and Properties of Surface Coatings, Traditional and Evolving Technologies. **DESTech Publications**, 2016.

HANSEN, E.; RODRIGUES, M. A. S.; AQUIM, P. M. Wastewater reuse in cascade based system of a petrochemical industry for the replacement of losses in cooling towers. **Journal of Environmental Management**, v. 181, p. 157-162, 2016.

HENKEL. **Processo de fosfatização Volvo**. Apostila de Treinamento. Curitiba, 2013.

JACOBI, R. J.; CIBIM, J.; LEÃO, R. S. Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. *Estudos Avançados*, Vol. 29, N. 84, 2015, p. 27- 42.

JUDD, S. **Industrial water reuse by membrane technology//water resource recovery in industry**. The Netherlands: Euro Summer School, 2001.

KANEDA, K. Informação para dissertação mestrado. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por:samuel.santos@permutation.com.br em: 14/01/2016.

KIDD, B. Proposal for WRU System. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: samuel.santos@volvo.com em: 03/03/2015.

KONING, J.; BIXIO, D.; KARABELAS, A.; SALGOT, M.; SHAFER, A. *Characterisation and assessment of water treatment technologies for reuse. Desalination*. Bélgica, n. 218, p. 92-104, 2008.

LAHNSTEINER, J.; KLEGRAF, F.; MITTAL, R.; ANDRADE, P. **Reclamation of wastewater for industrial purposes – advanced treatment of secondary effluents for reuse as boiler and cooling make-up water**. Bélgica, 2007.

MACHADO JR., A. **Melhoria do processo de gestão da manutenção industrial com apoio em sistemas de informação**. 142 p. Dissertação (Mestrado em Informática do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. PUC – Campinas, 2003.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS H. F. dos. **Reuso de água**. São Paulo: Manole, 2003.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MONTAGNOLI, V. Filtração em linhas de pintura por eletrodeposição. **Revista Meio Filtrante**, São Paulo, v.4, n. 17, p. 18-29, nov./dez. 2005.

PPG. Apostila de Treinamento – Processo Eletrocoat, Sumaré, 2009.

RODRIGUES, R. S. **As dimensões legais e institucionais do reuso de água no Brasil**: proposta de regulamentação do reuso no Brasil. 177 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2005.

SANTOS, S. E. **A influência e a percepção do setor automotivo na sustentabilidade ambiental da região metropolitana de Curitiba (RMC)**. 202 p. Dissertação (Mestrado) – UNIFAE – Centro Universitário, Programa Multidisciplinar de Mestrado Acadêmico em Organizações e Desenvolvimento, Curitiba, 2007.

SEIFFERT, M. E. B. **Gestão ambiental**: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental. São Paulo: Atlas, 2007.

SILVA, V. **Reúso de água em indústria de autopeças**. 151 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, 2010.

SIMATE, G. S.; CLUETT, J.; IYUKE, S. E.; MUSAPATIKA, E. T.; NDLOVU, S.; WALUBITA, L. F.; ALVAREZ, A. E. The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art. **Desalination**, v. 273, p. 235-247, 2011.

STREITBERGER, H. J.; DÖSSEL, K. F. **Automotive Paints and Coatings**. Weinheim: Wiley-VCH, 2008.

TELLES, D. A. COSTA, R. H. NUVOLARI, A. TEIXEIRA, E. P. RIBEIRO, F. M. NASCIMENTO, J. E. STANGE, K. BASSOI, L. J. SOUZA, M. O. PAULA, P. N. BRESAOLA JR, R. CARRARA, S. M. **Reuso de água: conceitos, teorias e práticas**. 2.ed. São Paulo.SP: Blucher. 2010.

VAJNHANDL, S.; VALH, J. V. The status of water reuse in European textile sector. **Journal of Environmental Management**, v. 141, p. 29-35, 2014.

VILLAS, M. R. A. **Processo de deposição de tintas catódicas por eletroforese e suas correlações com a qualidade**. 103 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2006.

VOLVO DO BRASIL. Apostila de treinamento – Processo de fabricação de cabines, Curitiba, PR, 2013.

WIEMES, L. **Minimização de resíduos no processo de pintura de uma indústria automobilística**. 102 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

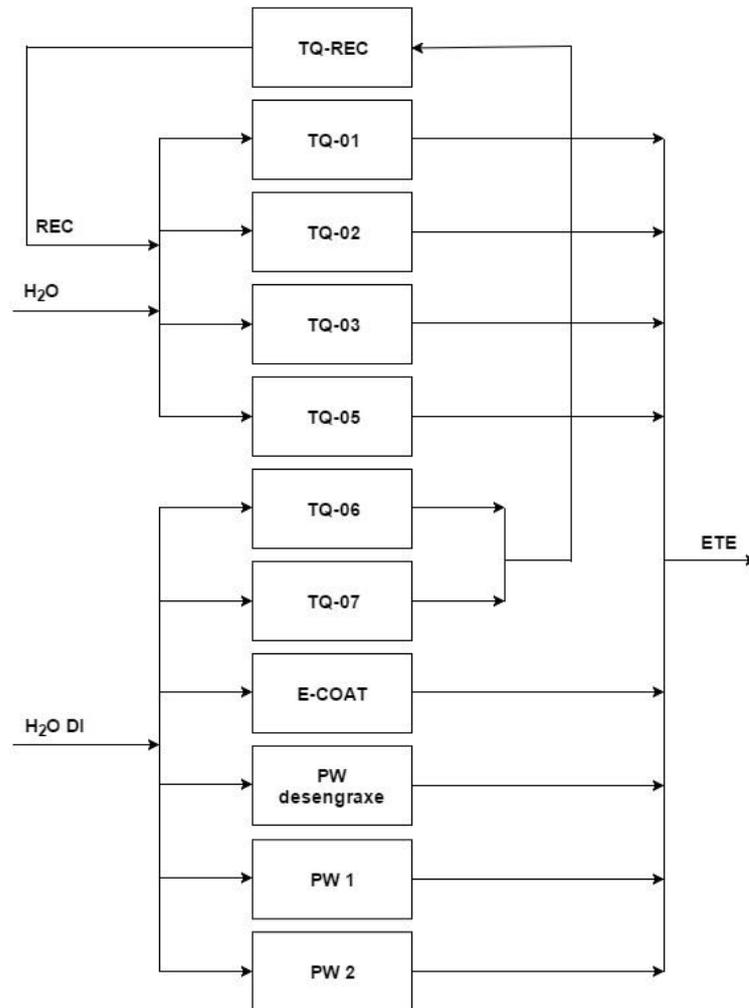
\_\_\_\_\_. **Utilização de lodos da indústria automobilística como componente de valor para fabricação de materiais cerâmicos**. 164 p. Tese (Doutorado) – Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

WORLD BANK. World Development indicators: Freshwater. World Bank 2014. Disponível em: <<http://wdi.worldbank.org/table/3.5>>. Acesso em: 1.º mar. 2015.

WHIRLPOOL. Case: Reúso de água no Centro de Tecnologia de Lavanderias. **8º Prêmio FIESP de Conservação e Reúso de Água**. WHIRLPOOL, São Paulo, 23 p., 2013.

## APÊNDICES

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA OPÇÃO 3: SEGREGAR E UNIR OS EFLUENTES DOS TANQUES TQ-06 (PASSIVAÇÃO) E TQ-07 (ENXÁGUE DI)



DETERMINAR O POTENCIAL DE REÚSO DA OPÇÃO 3 - SEGREGAR E UNIR OS EFLUENTES DOS TANQUES TQ-06 (PASSIVAÇÃO) E TQ-07 (ENXÁGUE DI)

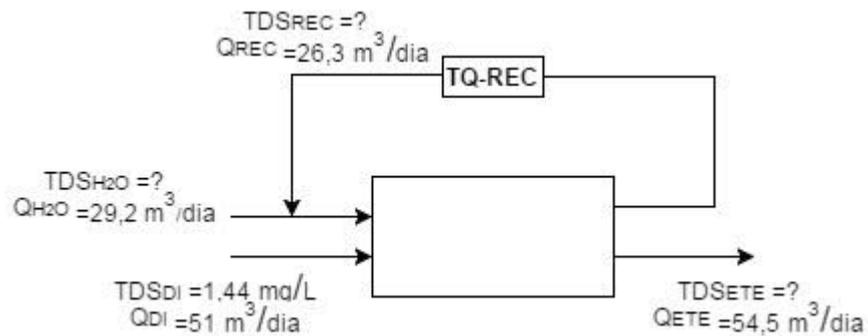


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA OPÇÃO 4 - SEGREGAR E UNIR OS EFLUENTES DOS TANQUES TQ-06 (PASSIVAÇÃO) E TQ-07 (ENXÁGUE DI) E SEGREGAR O EFLUENTE DO TANQUE TQ-02 (ENXÁGUE DESENGRAXE)

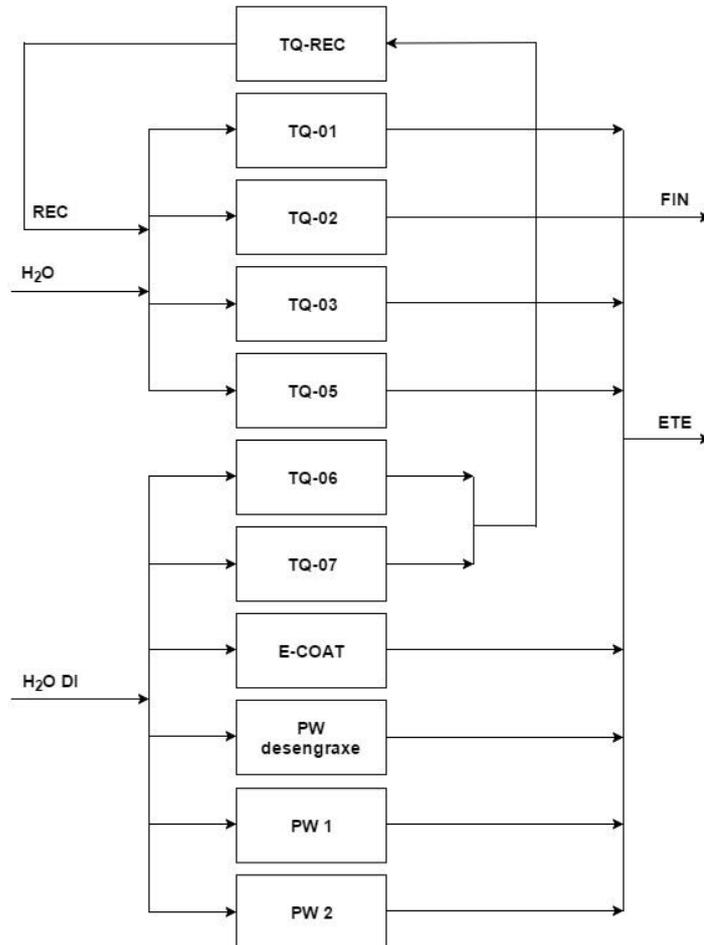


DIAGRAMA PARA DETERMINAR O POTENCIAL DE REÚSO DA OPÇÃO 4 - SEGREGAR E UNIR OS EFLUENTES DOS TANQUES TQ-06 (PASSIVAÇÃO) E TQ-07 (ENXÁGUE DI) E SEGREGAR O EFLUENTE DO TANQUE TQ-02 (ENXÁGUE DESENGRAXANTE)

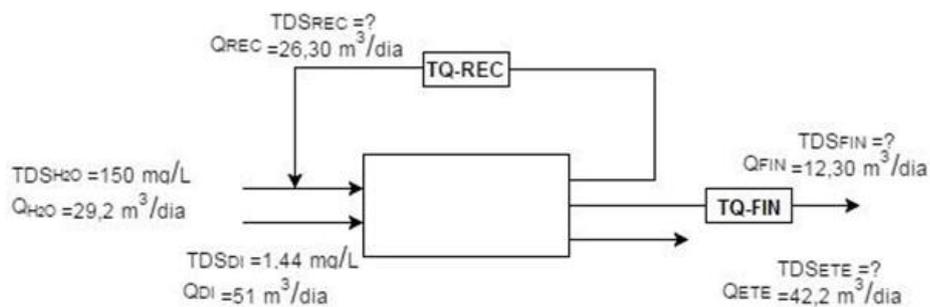


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA OPÇÃO 5 - SEGREGAR E UNIR OS EFLUENTES DOS TANQUES TQ-06 (PASSIVAÇÃO), TQ-07 (ENXÁGUE DI), E TANQUES DE ENXÁGUE 1 E 2 DO POWER WASH

DIAGRAMA PARA DETERMINAR O POTENCIAL DE REÚSO DA OPÇÃO 5 - SEGREGAR E UNIR OS EFLUENTES DOS TANQUES TQ-06 (PASSIVAÇÃO), TQ-07 (ENXÁGUE DI), E TANQUES DE ENXÁGUE 1 E 2 DO POWER WASH

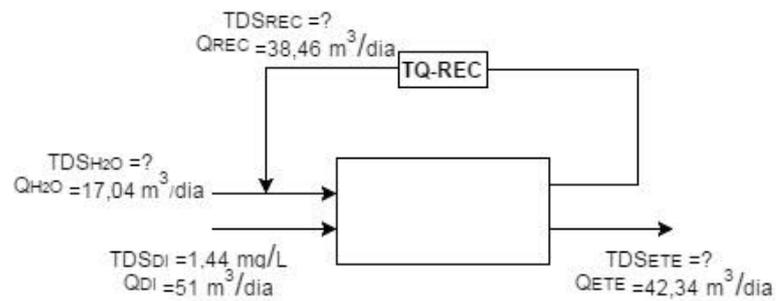


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA OPÇÃO 6 - SEGREGAR E UNIR OS EFLUENTES DOS TANQUES 02, 06 E 07 E ENXÁGUES 1 E 2 DO POWER WASH

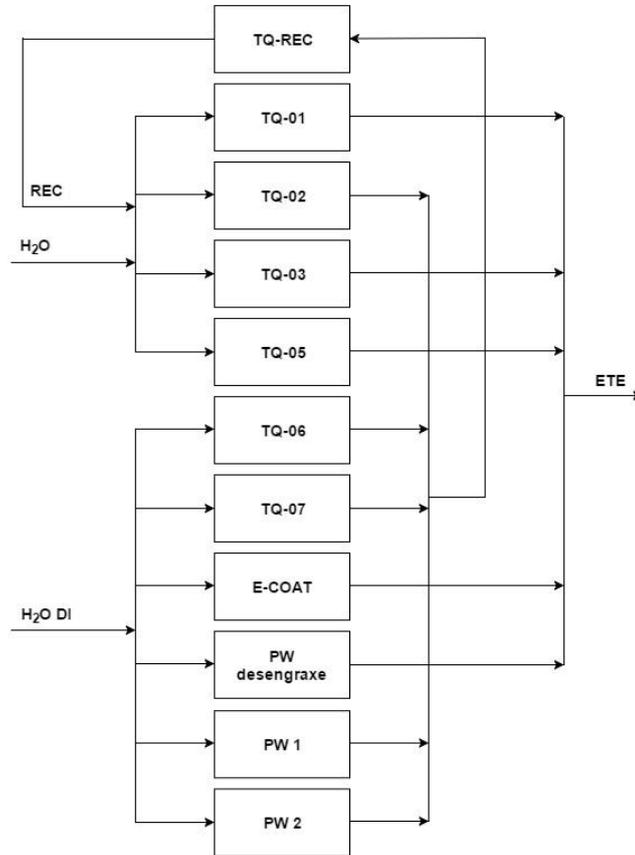


DIAGRAMA PARA DETERMINAR O POTENCIAL DE REÚSO DA OPÇÃO 6 - SEGREGAR E UNIR OS EFLUENTES DOS TANQUES 02, 06 E 07 E ENXÁGUES 1 E 2 DO POWER WASH

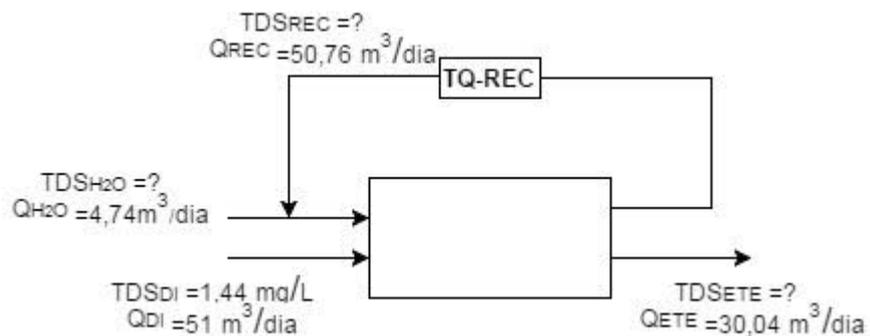


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA OPÇÃO 7 - SEGREGAR E UNIR OS EFLUENTES DOS TANQUES 02, 05, 06 E 07 E ENXÁGUES 1 E 2 DO POWER WASH

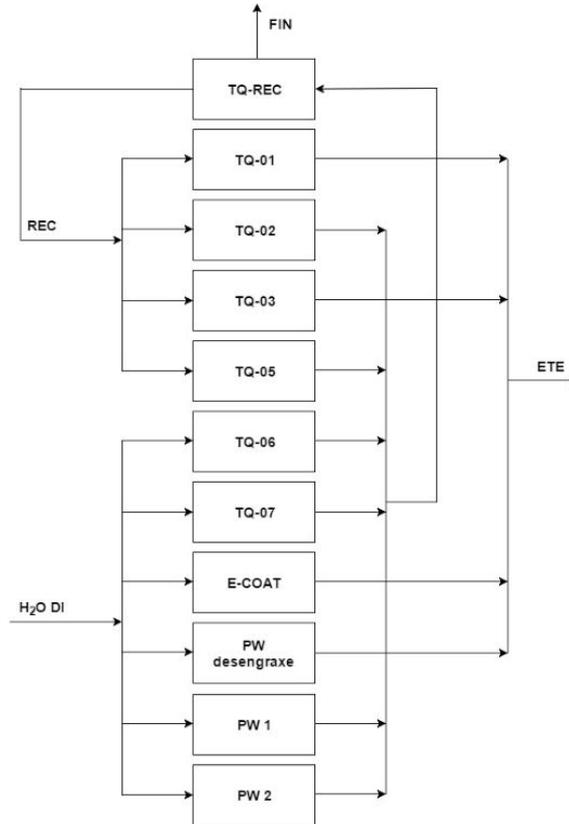


DIAGRAMA PARA DETERMINAR O POTENCIAL DE REÚSO DA OPÇÃO 7 - SEGREGAR E UNIR OS EFLUENTES DOS TANQUES 02, 05, 06 E 07 E ENXÁGUES 1 E 2 DO POWER WASH

