

# Reúso de água: estudo de caso em uma fábrica de cabines de caminhões

## Water reuse: case study in a truck cabin's factory

• **Data de entrada:**  
07/08/2017

• **Data de aprovação:**  
27/07/2018

Samuel Audi Rodrigues dos Santos\*/Mônica Beatriz Kolicheski/Letícia Vitório Garcia/  
Karen Juliana do Amaral/Uwe Bernard Menzel

DOI: 10.4322/dae.2019.023

### Resumo

Dentre as práticas para a racionalização do uso e conservação dos recursos hídricos se encontra o reúso de água, que vem 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. Dados quantitativos sobre demanda de água e geração de efluentes em campo e a caracterização dos efluentes gerados em cada etapa do processo foram obtidos. Dentre as hipóteses avaliadas, a melhor alternativa permitirá uma redução na captação de água de 10.300 m<sup>3</sup>/ano e redução de 47,8% dos efluentes gerados, indicando que a prática de reúso poderia ser implementada nesta unidade.

**Palavras-chave:** Reúso. Balanço hídrico. E-coat.

### Abstract

*Among the practices to rationalize the use and conservation of water resources is the reuse of water, which has gained greater visibility with the increase of costs of raw water supply, treatment and final disposal of treated effluents. This work aims at evaluating alternatives for non-potable industrial water reuse from industrial effluents generated in a surface pretreatment line of a truck cab production plant. Quantitative data on water demand and generation of effluents collected in the field and the characterization of the effluents generated in each step of the process were gathered. Among the assumptions evaluated, the best alternative will enable a reduction in water abstraction of 10,300 m<sup>3</sup>/year and a reduction of 47.8% of the effluents generated in the unit, indicating that the reuse practice could be implemented in such unit.*

**Keywords:** Reuse. Hydric balance. E-coat.

**Samuel Audi Rodrigues dos Santos** – Graduado em Administração com ênfase em Gestão Ambiental pela SPEI. Especialização em Gestão Ambiental e Sustentabilidade pela FAE. Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI) pela UFPR. Gerente Técnico na Empresa Permution, possui experiência nas áreas de engenharia sanitária e ambiental.

**Mônica Beatriz Kolicheski** – Engenheira Química formada pela UFPR. Mestre em Tecnologia Química pela UFPR. Doutora em Engenharia pelo PIPE – UFPR. Professora do curso de Engenharia Química e do curso de pós-graduação Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI) da UFPR. Possui experiência em tecnologias para a prevenção da poluição e minimização de resíduos.

**Letícia Vitório Garcia** – Graduada em Engenharia Química pela UFPR. Integrante do projeto de extensão Gestão, Avaliação e Tecnologias em Meio Ambiente (GATMA), vinculado ao Programa de Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI).

**Karen Juliana do Amaral** – Doutora em Engenharia Civil, Recursos Hídricos, COPPE/UFRJ. Engenheira Civil pela UFRJ. Mestre em Engenharia Civil pela COPPE/UFRJ. Pesquisadora da Universidade de Stuttgart no Brasil. Professora do curso de pós-graduação Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI). Possui experiência na área de recursos hídricos.

**Uwe Bernard Menzel** – Engenheiro Civil pela Universität Stuttgart. Doutor em Engenharia Civil e Ambiental - Universität Stuttgart. Chefe de área de trabalho na Universität Stuttgart, possui experiência na área de saneamento ambiental.

\***Endereço para correspondência:** Rua Rodolpho Hatschbach, 1855, CIC - Curitiba - PR - CEP 81.460-030. E-mail: samuel.santos@permution.com.br.

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais imprescindíveis aos processos industriais está a água, sendo a sua demanda no setor industrial estimada em 17% da água consumida no Brasil (WORLD BANK, 2014). No setor automotivo não é diferente; Santos (2007) identificou que as montadoras de veículos são os principais consumidores deste recurso natural.

Assim, o gerenciamento dos recursos hídricos na indústria é cada vez mais importante, tanto do ponto de vista operacional como do ambiental. Dentre as práticas para racionalização do uso e conservação dos recursos hídricos se encontra o reúso de efluentes tratados ou não tratados. Segundo Telles e Costa (2007), a água obtida com a prática de reúso pode ser aplicada de diversas formas, seja como matéria-prima, meio de transporte, agente de limpeza, produção de energia ou em sistema de refrigeração.

De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2005), o reúso de efluentes pode ser direto, também conhecido como reúso em cascata, ou do efluente tratado. No reúso em cascata, o efluente é reutilizado no processo sem nenhum tipo de tratamento; já no reúso de efluente tratado, o mesmo retorna ao processo somente após ter passado por no mínimo um tratamento físico-químico e /ou biológico e, se for necessário, por um tratamento avançado de efluentes.

As técnicas de reúso vêm ganhando visibilidade em função ao incremento dos custos, que podem ser originados pelo abastecimento de água bruta, do tratamento ou da disposição final dos efluentes, e de legislações ambientais cada vez mais rigorosas, intensas e restritivas. Devido a esses fatores, a implementação do reúso pode ser ambiental e economicamente viável para diversos processos industriais (BAGGIO, 2015;

WHIRLPOOL, 2013; LAHNSTEINER et al., 2007; TELLES e COSTA, 2007; JUDD, 2001). Esses processos incluem a indústria automobilística e de autopeças (FÉLIX, 2016; KANEDA, 2016; KIDD, 2015; SILVA, 2010).

A prática do reúso de efluentes industriais permite ainda melhorar a produtividade industrial e reduzir o consumo de recursos hídricos, o que estimula os setores industriais que possuem alto consumo de água a desenvolver essa prática.

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 essa realidade apresenta benefícios diretos e indiretos para as indústrias. Dentre estes benefícios estão a redução na captação de água e na quantidade de efluentes gerados ao longo dos processos industriais. Porém, como salientam Telles e Costa (2007), essa é uma prática que depende da aprovação mercadológica e de vontade política para que o reúso de água seja adotado de forma sistemática.

Porém, em algumas situações a prática de reúso só é possível devido à implementação em conjunto com tecnologias avançadas de tratamento de efluentes. 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 aplicabilidade em diversos processos industriais.

Para Mierzwa e Hespanhol (2005), é importante que, independentemente da estratégia utilizada, a prática de reúso de água seja devidamente planejada, sendo sustentável ao longo do tempo.

Neste estudo avaliou-se somente o reúso em cascata e de acordo com Gardoni, Catenacci e Antonelli (2015); quando se pretende avaliar o potencial deste tipo de reúso, é fundamental que se faça um levantamento individual das principais correntes geradoras de efluentes, buscando-se conhecer os principais parâmetros presentes no efluente. O conhecimento dos padrões de qualidade do efluente gerado e da água industrial são fatores primordiais para a prática segura do reúso. Pois, de acordo com Silva Filho (2009), a ausência de padrões de qualidade de água de reúso é uma barreira significativa quando se buscam a identificação de oportunidades para implementação desta prática.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar e propor alternativas de reúso em cascata de águas residuais de um processo de tratamento de superfícies (PTS) que antecede a pintura por eletrodeposição de cabines de caminhões.

O PTS permite transformar uma superfície condutiva em uma não condutiva pela deposição química de uma camada de fosfato que serve de base para a pintura por eletrodeposição (*E-coat*) e garante a qualidade final do produto contra corrosão. De uma forma geral, desengraxe, enxágues com água industrial, fosfatização e enxágue final com água deionizada são os principais estágios do PTS (WIEMES, 2003).

As etapas do PTS apresentam como principal impacto ambiental o consumo dos recursos naturais, em especial o consumo de água. E a avaliação da mitigação deste impacto ambiental com o reúso em cascata demonstra-se importante e deve ser estudada.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização da unidade fabril

O estudo para avaliação da proposta de reúso de efluentes industriais \_tratados ou não\_ 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 nos processos de tratamento de superfícies e *E-coat*, e também pela existência de uma cisterna de água industrial exclusiva para o abastecimento desta fábrica com água industrial e desmineralizada.

O abastecimento de água para uso no processo de fabricação de cabines de caminhões ocorre por meio da extração de água de dois poços tubulares profundos, com a capacidade máxima de bombeamento de água de 232 m<sup>3</sup>/dia.

O tratamento preliminar da água subterrânea consiste na filtração (com carvão ativado) e troca iônica (para remoção dos cátions Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>). A água tratada (H<sub>2</sub>O industrial) é armazenada em uma cisterna e desta enviada para os diferentes pontos de consumo no processo industrial e para o sistema de geração de água deionizada (H<sub>2</sub>O DI) da unidade. O sistema de osmose reversa possui uma capacidade de produção de 6 m<sup>3</sup>/h de H<sub>2</sub>O DI com condutividade inferior a 10 µS/cm, valor exigido no processo de pintura. A H<sub>2</sub>O DI é enviada para as etapas de passivação, enxágue com água deionizada (DI), *power wash* (PW) e *E-coat*. Santos (2016) analisou as águas desta unidade e os resultados estão apresentados na Tabela 1.

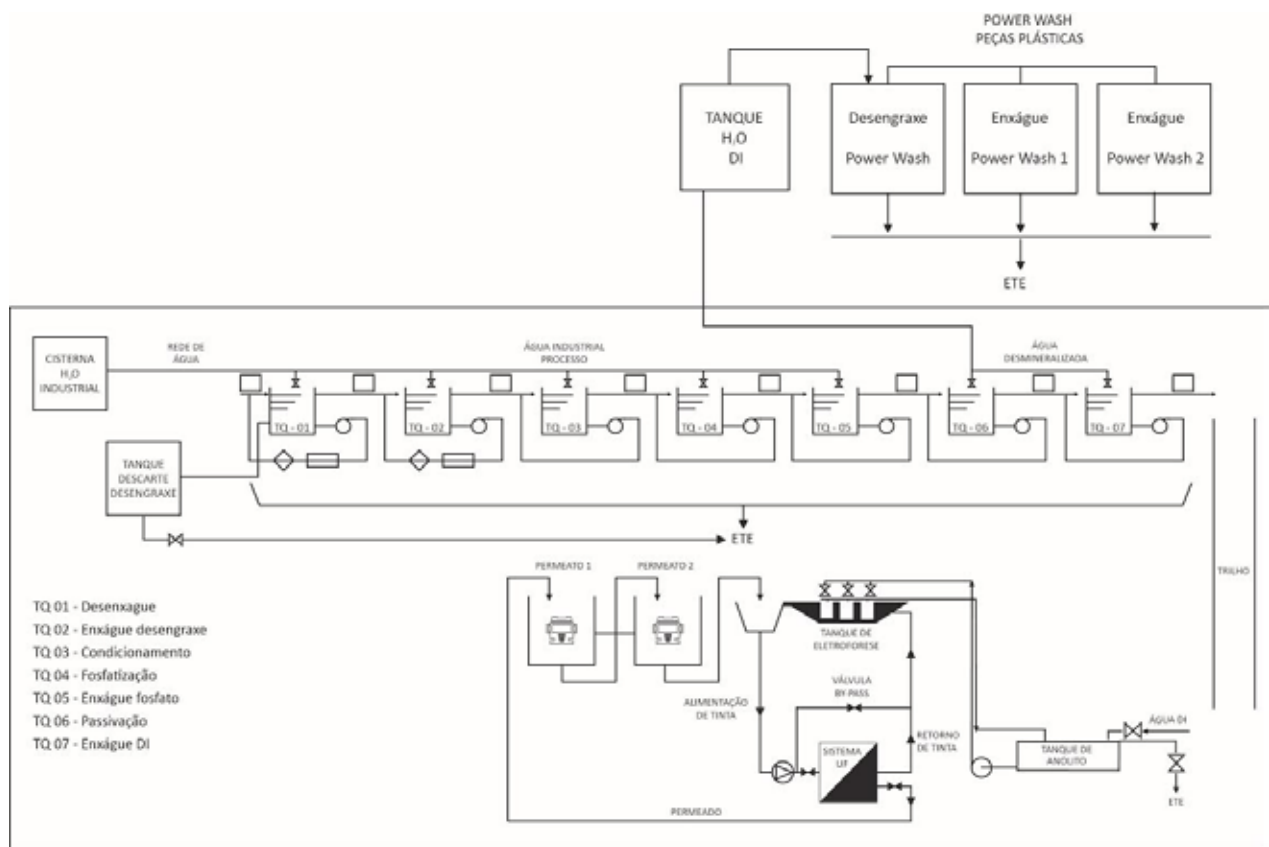
**Tabela 1** - Valores médios da água industrial e deionizada da fábrica de produção de cabines de caminhões (Curitiba – PR)

Parâmetro	Água industrial	Água deionizada
pH	8,11	6,40
Condutividade (µs/cm)	300,00	2,88
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	150,00	1,44
Demanda química de oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	< 2	< 2
Turbidez (NTU)	< 1	< 1

Fonte: SANTOS (2016).

A Figura 1 apresenta uma visão geral do uso das águas e das etapas de pré-tratamento de superfície e pintura por eletrodeposição desta fabricação de cabines de caminhão, tanto para peças metálicas como para peças plásticas (*Power wash*).

**Figura 1** – Fluxograma ilustrativo do processo de tratamento de superfície e E-coat para a fabricação de cabines



Fonte: O autor.

A Tabela 2 apresenta de forma resumida a função de cada uma das etapas ilustradas na Figura 1, bem como o tipo de água, os insumos utilizados e a capacidade nominal (V) dos tanques desta unidade.

**Tabela 2** – Função e insumos em cada etapa do processo de tratamento de superfície e *E-coat* para a fabricação de cabines

Etapas	V (m <sup>3</sup> )	Função	Tipo de água	Insumos
TQ-01 Desengraxe	82	Remover todos os contaminantes oriundos do processo de manufatura.	Industrial	Desengraxante, alcalino tensoativo
TQ-02 Enxágue após desengraxe	12	Remover o excesso de desengraxante.	Industrial	-
TQ-03 Condicionamento	82	Ativar a superfície metálica para receber a camada de fosfato.	Industrial	Condicionador a base de sais de titânio
TQ-04 Fosfatização	82	Proteger contra corrosão e permitir a aderência na pintura.	Industrial	Fosfato tricatiónico (Ni, Zn e Mn)
TQ-05 Enxágue após fosfatização	82	Retirar os sais provenientes da fosfatização.	Industrial	-
TQ-06 Passivação	12	Selar as porosidades existentes na camada de fosfato.	Deionizada	Composto ácido a base de zircônio
TQ-07 Enxágue DI	82	Remover os sais dissolvidos residuais e o excesso de acidez.	Deionizada	-
<i>E-coat</i>	90	Produzir uma camada de tinta uniforme, compacta, precisa e altamente protetiva contra corrosão.	Deionizada	Resina e pasta
Tanque de anólito	2	Controlar o nível de acidez no tanque de eletroforese.	Deionizada	-
Enxágue após <i>E-coat</i>	82	Retirar o excesso de tinta.	Ultrafiltrada (Permeato 1)	-
Enxágue após <i>E-coat</i>	82	Polimento final.	Ultrafiltrada (Permeato 2)	-
Desengraxe PW	3	Remover contaminantes presentes nas peças plásticas.	Deionizada	Desengraxante ácido
Enxágue após desengraxe PW 1	1,5	Remover excesso de desengraxante.	Deionizada	-
Enxágue após desengraxe PW 2	1,5	Remover excesso de desengraxante.	Deionizada	-

PW - Power wash

Fonte: O autor.

## 2.2 Identificação dos principais pontos de consumo de água e de geração de efluentes

Com o objetivo de identificar e quantificar os principais pontos de consumo de água industrial ao longo dos processos identificados na Figura 1, foram realizadas leituras semanais e diárias dos valores registrados em hidrômetros para determinação do consumo de água (m<sup>3</sup>/dia) no período de janeiro a dezembro de 2014.

Em relação ao levantamento dos pontos geradores de efluentes, foram considerados os volumes de cada um dos tanques, assim como a frequência de descartes programados para a renovação dos

respectivos banhos químicos utilizados em cada etapa do processo de tratamento de superfícies e pintura por eletrodeposição. Além destes descartes pontuais, também foram levados em consideração os descartes contínuos controlados por válvulas e rotômetros.

Os efluentes gerados nestas etapas seguem para o sistema de coleta e são direcionados para a estação de tratamento de efluentes (ETE), a fim de serem submetidos a um processo convencional físico-químico, o qual permite a remoção de metais (zinco, níquel e manganês).

### 2.3 Análises realizadas para caracterização físico-química dos efluentes gerados

Para cada um dos 10 pontos geradores de efluentes foram coletadas 10 amostras simples ao longo do período de janeiro a dezembro de 2014. As amostras obtidas em cada ponto foram analisadas em duplicata para os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica (k), sólidos totais dissolvidos (TDS) e demanda química de oxigênio (DQO), totalizando 800 análises. As análises foram executadas utilizando-se os métodos-padrão, de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), sendo o pH e a condutividade determinados com o medidor multiparâmetros (Hach).

### 2.4 Alternativas de reúso em cascata

Para propor alternativas de reúso em cascata para esta unidade de fabricação de cabines de caminhões, foi elaborado o diagrama esquemático apresentado na Figura 2. Esse diagrama foi obtido a partir das informações apresentadas na Figura 1 e de dados de campo, e a partir do mesmo foram idealizadas três hipóteses de reúso que estão descritas na Tabela 3. As hipóteses foram propostas considerando as quantidades de H<sub>2</sub>O industrial e H<sub>2</sub>O DI consumida e a finalidade destas águas nos

processos, ou seja, que após a aplicação gerassem efluentes com baixa carga de poluentes e vazões relativamente elevadas.

### 2.5 Balanço hídrico

Para cada hipótese de reúso idealizada (Tabela 3) foi necessário estimar a concentração dos parâmetros avaliados tanto na água de reúso como na corrente que seguirá para a ETE, ou seja, TDS, DQO, k e pH.

A concentração de sólidos totais dissolvidos (TDS) e a demanda química de oxigênio (DQO) na corrente resultante foram obtidas utilizando-se a Equação (1).

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

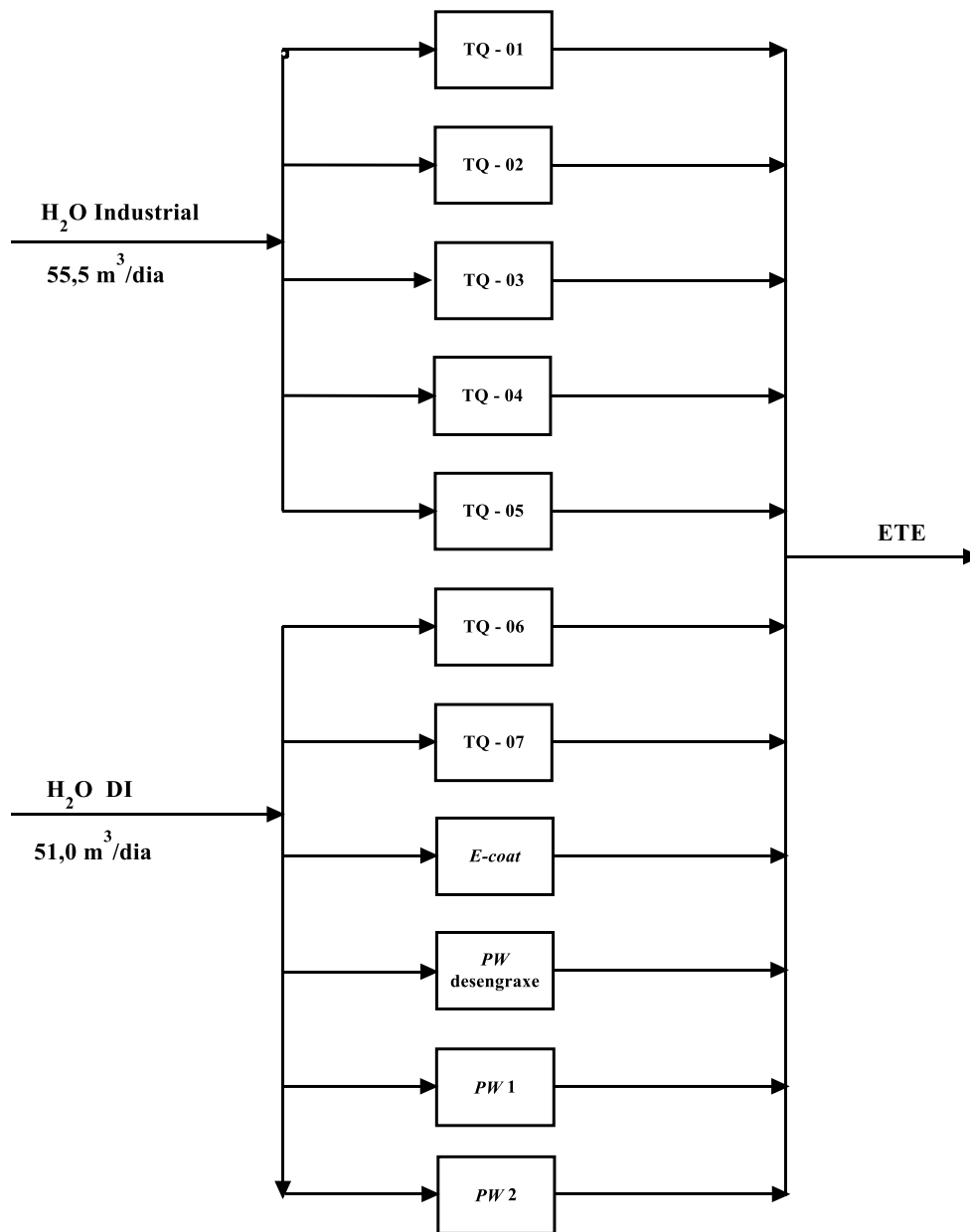
Sendo:

$C_i$  = 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)

**Figura 2** - Diagrama esquemático dos principais pontos de consumo de água e geração de efluentes



Fonte: O autor.

**Tabela 3** - Hipóteses de reúso avaliadas

Etapas	Função	Insumos
H1	Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 e TQ-07.	Reúso direto do efluente dos tanques TQ-06 e TQ-07 no processo.
H2	Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06 e TQ-07, além de segregar o efluente do tanque TQ-02.	Reúso direto do efluente dos tanques TQ-06 e TQ-07 no processo e reúso direto do efluente do tanque TQ-02 para usos menos nobres como água de lavagem de pisos ou dos caminhões fabricados.
H3	Segregar e unir os efluentes dos tanques TQ-06, TQ-07, PW 1 e PW 2.	Reúso direto do efluente no próprio processo de pintura de cabines.

Fonte: O autor.

Os valores de sólidos totais dissolvidos (TDS) têm correlação direta e proporcional com a condutividade elétrica (k) devido à concentração de íons presente na água (TUNDISI e TUNDISI, 2008). Neste estudo adotou-se que a condutividade elétrica é o dobro da concentração de sólidos totais dissolvidos. Assim, a condutividade na corrente de reúso e na corrente que seguirá para a ETE foram estimadas pela Equação 2.

$$k_R = 2(TDS)_R \quad \text{(Equação 2)}$$

Sendo:

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

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

O pH foi determinado considerando soluções diluídas (abaixo de 0,1 mol/L), assim a relação do pH com a concentração de íons hidrogênio é dada pela Equação 3.

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

Sendo:

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

Após a determinação da  $[H^+]$  foi utilizada a Equação 4 para determinar a concentração de íons  $H^+$  na corrente resultante  $[H^+]_R$ .

$$[H^+]_R = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i [H^+]_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad \text{(Equação 4)}$$

Sendo:

$[H^+]_i$  = concentração de íons  $H^+$  na corrente i (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 ETE.

Para a estimativa dos valores de TDS, DQO, k e pH considerou-se que não havia nenhuma perda para o ambiente, e para avaliar o acúmulo na massa de sais ( $G_{sais}$ ) que ocorre na unidade devido ao reúso em cascata foi realizado um balanço de massa. Para realizar o balanço de massa e avaliar o acúmulo de sais, o parâmetro utilizado foi o TDS. A Figura 3 esquematiza, de forma genérica, o balanço de massa que foi realizado para a unidade.

**Figura 3** - Balanço de massa genérico para a obtenção do acúmulo de sais no sistema



FONTE: O autor.



Assim, o acúmulo da massa de sais no sistema foi obtido pela Equação 5.

$$G_{sais} = (Q_{ETE} TDS_{ETE} + Q_{REC} TDS_{REC}) - (Q_{H_2O} TDS_{H_2O} + Q_{DI} TDS_{DI}) \quad \text{(Equação 5)}$$

Sendo:

$Q$  = vazão volumétrica (L/dia)

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

E os subíndices:

$ETE$  = corrente enviada para a ETE

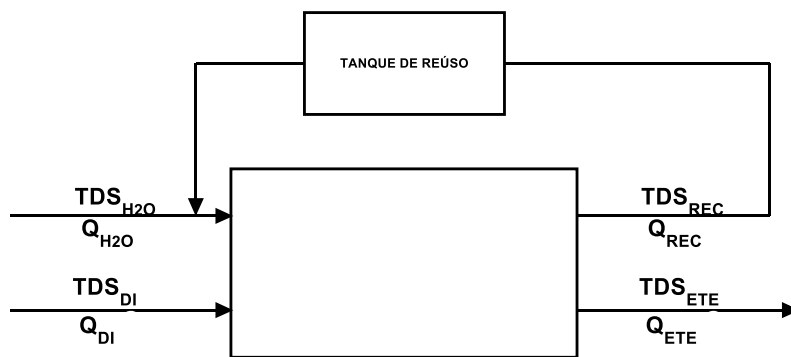
$REC$  = corrente de água de reúso

$H_2O$  = corrente de  $H_2O$  industrial

$DI$  = corrente de  $H_2O$  DI

Para avaliar as hipóteses de reúso propostas para a planta de cabines foi realizado um balanço hídrico considerando o reúso como mostrado na Figura 4.

**Figura 4** - Balanço hídrico genérico para determinar o potencial de reúso



FONTE: O autor.

Com o objetivo de avaliar o número de ciclos ( $n$ ) que são possíveis e a capacidade de reúso para as hipóteses de reúso de água avaliadas no balanço hídrico apresentado na Figura 4, foi possível reescrever a Equação 5 e, considerando que toda a corrente de efluente é reciclada, a Equação 6 foi obtida.

$$nG_{sais} = (Q_{ETE} TDS_{ETE} + Q_{REC} TDS_{REC}) - (Q_{H_2O} TDS_{H_2O} + Q_{DI} TDS_{DI} + Q_{REC} TDS_{REC}) \quad \text{(Equação 6)}$$

Sendo:

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

A Equação 6 foi utilizada, de forma interativa, para determinar a quantidade de água de reúso para complementar a necessidade de H<sub>2</sub>O industrial do processo e o número máximo de reciclo. A avaliação foi realizada considerando que o acúmulo de sais na água de reúso não ultrapassasse a concentração de sais (TDS) da água tratada que alimenta a planta ( $k < 300 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).

A Equação 6 foi reescrita de forma a determinar a concentração de sais (TDS) na corrente que será enviada para a ETE para cada reciclo ( $n$ ), como indicado na Equação 7.

$$TDS_{ETE} = \frac{nG_{sais} + Q_{DI}TDS_{DI} + Q_{H_2O}TDS_{H_2O}}{Q_{ETE}}$$

(Equação 7)

A concentração de sais na corrente de água de reúso ( $TDS_{REC}$ ) foi determinada pela relação

$$\frac{TDS_{REC}}{TDS_{ETE}},$$

a qual foi obtida com o balanço hídrico (Equação 5) e considerada constante para facilitar a análise. Na sequência foi possível obter a capacidade de reúso ( $Q_{MAX}$ ) como indicado na Equação 8.

$$Q_{MAX} = nQ_{REC} \quad (\text{Equação 8})$$

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização dos efluentes gerados

Com base nos dados obtidos de janeiro a dezembro de 2014 na unidade de produção de cabines de caminhões de vazões médias diárias e das análises de pH, k, TDS e DQO nos pontos de geração de efluentes em cada etapa do processo (Figuras 1 e 2) foi possível obter a Tabela 4.

**Tabela 4** – Caracterização dos efluentes gerados na unidade (janeiro a dezembro 2014)

Etapas	Vazão média (m <sup>3</sup> /dia)	pH	k (μS/cm)	TDS (mg/L)	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)
TQ-01	1,14	10,62 ± 0,08	13830 ± 692,66	6915 ± 346,33	2207 ± 326,93
TQ-02	12,30	8,92 ± 0,08	756 ± 22,35	378 ± 11,18	48 ± 12,78
TQ-03	1,36	9,16 ± 0,03	1893 ± 24,37	947 ± 12,19	52 ± 6,33
TQ-04	Não existem descartes	-	-	-	-
TQ-05	15,00	7,22 ± 0,49	442 ± 87,47	221 ± 43,72	< 10
TQ-06	24,94	4,18 ± 0,10	94 ± 11,93	47 ± 5,96	< 10
TQ-07	1,36	6,27 ± 0,12	11 ± 0,92	6 ± 0,48	< 10
E-coat	6,45	2,29 ± 0,23	2607 ± 1049,39	1303 ± 524,69	1440 ± 296,31
PW desengraxe	6,09	2,31 ± 0,07	2651 ± 362,71	1326 ± 181,36	921 ± 226,90
PW 1	6,08	3,38 ± 0,17	200 ± 43,55	100 ± 21,77	56 ± 19,97
PW 2	6,08	3,63 ± 0,75	37 ± 11,01	19 ± 5,51	13 ± 3,90
TOTAL	80,80	-	-	-	-

FONTE: O autor.

No power wash (PW desengraxe, PW 1 e PW 2) desta unidade industrial não existe medidor individual de vazão para cada tanque, apenas para o sistema como um todo. Assim, a vazão foi considerada praticamente a mesma em cada tanque. Logo, para

minimizar as dificuldades encontradas durante o levantamento da quantidade de efluentes gerados em cada etapa do processo, seria oportuno a instalação de medidores de vazões individuais para cada etapa do pré-tratamento de pintura.

Na etapa de fosfatização (TQ-04) não são gerados efluentes, pois o objetivo deste processo é manter a concentração da solução de fosfatos trivalentes, não necessitando de descartes para renovações da solução, mas apenas a reposição de fosfato para manter a concentração, a qual é monitorada no laboratório de qualidade da unidade, assim como a reposição de água para compensar perdas por evaporação (Figura 1). Porém, essa reposição não foi considerada neste estudo, como indicado na Figura 2.

Os resultados de vazão, mostrados na Tabela 4, 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, PW 1 e PW 2, ou seja, etapas de enxágues (exceto TQ-06), o que pode ser um indicativo de correntes com possível potencial de reúso de água, principalmente na etapa TQ-06, que representa aproximadamente 31% de todo efluente gerado.

De acordo com Santos (2016), o mapeamento de um processo industrial é fundamental para que se consiga identificar as características dos usuários de água e geradores de efluentes, a fim de que se conheçam as possíveis oportunidades e possibilidades de desenvolver o reúso de águas residuais.

Para Mierzwa e Hespanhol (2005), em razão dos diversos processos industriais existentes, assim como dos custos inerentes de uma caracterização completa de um determinado efluente para que seja aplicado o reúso de água, sugere-se, inicialmente, analisar algum parâmetro crítico, ou então parâmetros gerais que representem um determinado grupo de substâncias. Dentre esses parâmetros, podem-se citar: DQO, que representa as substâncias orgânicas oxidáveis, e a condutividade elétrica (k) ou a concentração de sais dissolvidos totais (TDS), que representam com segurança os compostos inorgânicos ionizáveis, assim como o valor de pH.

Os resultados mostrados na Tabela 4 também indicaram 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 captada (Tabela 1), o que pode viabilizar o reúso de águas residuais a partir dessas correntes. Entretanto, é importante ressaltar a possibilidade da existência de outros contaminantes presentes nestas correntes.

Neste estudo, os efluentes com baixa DQO (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 em cascata e/ou do efluente tratado dos tanques TQ-05, TQ-06, TQ-07 e PW 2.

Contudo, a sistemática atual da unidade, 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 (Figura 1), apresenta o inconveniente de unir efluentes de elevada DQO com correntes de baixa DQO e TDS, como as águas de enxágue e lavagens.

### 3.2 Balanço hídrico

Para avaliar a possibilidade de reúso de água em cascata, foi necessária a avaliação das características dos efluentes disponíveis (Tabela 4), assim como os requisitos da qualidade de água de reposição exigidos para a entrada do processo. Neste estudo foram considerados os parâmetros definidos pelo fornecedor do processo de tratamento químico de superfícies (HENKEL, 2013), pois a literatura atual não apresenta estes parâmetros para o processo de pré-tratamento de pintura por eletroforese.

Dentre os parâmetros avaliados neste estudo, a concentração de sólidos totais dissolvidos (TDS) foi escolhida como a mais adequada, pois é um parâmetro restritivo para o uso da água de reúso

nas diversas aplicações industriais e está correlacionado com a condutividade, que é o principal parâmetro para a qualidade da água dos banhos do processo de pintura por eletrodeposição.

Para cada hipótese proposta (H1, H2 e H3) foi realizado o balanço hídrico, o que possibilitou estimar a vazão e a qualidade da água de reúso para esta unidade industrial (Tabela 5).

**Tabela 5** - Características da água de reúso em cascata nas hipóteses avaliadas

Hipótese	pH	k ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	TDS (mg/L)	DQO (mg/L)	Vazão ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )
H1	4,2	90	45	10	26,30
H2A*	4,2	90	45	10	26,30
H2B**	8,9	756	378	48	12,30
H3	3,8	99	49	18	38,46

\*Considerando os tanques TQ-06 e TQ-07.

\*\* Considerando o tanque TQ-02.

Fonte: O autor.

Com os resultados mostrados na Tabela 5 observou-se que a qualidade de água de reúso que poderia ser obtida com a implementação das hipóteses H1 e H3 tem características de k e TDS inferiores ao da  $\text{H}_2\text{O}$  industrial produzida na unidade (ver Tabela 1), porém existe a necessidade de correção de pH, pois o pH estimado para a água de reúso é ácido, enquanto a  $\text{H}_2\text{O}$  industrial possui pH básico. Outro parâmetro que necessitaria de melhor avaliação é a DQO, pois a  $\text{H}_2\text{O}$  industrial apresentou DQO inferior a  $2 \text{ mg/L O}_2$ , valor no mínimo 5 vezes inferior ao estimado para a água de reúso.

Dessa forma, essa água poderia ser utilizada diretamente no próprio processo de pintura de cabines, desde que a qualidade da pintura não seja afetada.

De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2005), não é possível adotar a prática de reúso em cascata se o efluente ainda contiver algum contaminante que comprometa ou inviabilize a prática. Assim, caso não seja possível adotar o reúso direto devido ao valor da DQO, essa água poderia retornar para o processo de tratamento da água bruta e ser utilizada para a produção de  $\text{H}_2\text{O}$  industrial ou  $\text{H}_2\text{O}$  DI, diminuindo assim o consumo de água bruta da unidade em no mínimo  $26,3 \text{ m}^3/\text{dia}$ .

Para a hipótese H2 seria possível obter dois tipos de água de reúso, a primeira com a mesma qualidade da hipótese H1, ou seja, com boa compatibilidade com a  $\text{H}_2\text{O}$  industrial, e a segunda com um valor de pH adequado, porém com k, TDS e DQO superiores aos da  $\text{H}_2\text{O}$  industrial. Assim, essa segunda água de reúso poderia ser utilizada para fins menos nobres, como lavagem de pisos, lavagem dos caminhões ao final do processo ou rega dos jardins da unidade fabril. Para esta hipótese há redução no consumo de água bruta da unidade de  $38,6 \text{ m}^3/\text{dia}$ .

Contudo, a utilização do reúso de água em cascata, que permite o reúso direto do efluente no processo, gera o aumento na TDS, pois uma carga de sais vai sendo incorporada à  $\text{H}_2\text{O}$  industrial conforme é feita a reutilização desta água. Para avaliar o aumento da concentração de sais no sistema, e, conseqüentemente determinar o potencial máximo de reúso, sem ultrapassar os padrões de qualidade requeridos (TDS inferior a  $300 \text{ mg/L}$ ) foi determinada a carga de sais (G) e o número máximo de reciclo possível (n). Os resultados obtidos estão mostrados na Tabela 6.

**Tabela 6** - Carga de sais incorporada ao sistema com a implementação do reúso em cascata para as hipóteses avaliadas

Hipótese	G (g/dia)	$TDS_{REC}$ (mg/L)	$TDS_{ETE}$ (mg/L)	$\frac{TDS_{REC}}{TDS_{ETE}}$	n	$Q_{MAX}$ (m³)
H1	27.120	289	4.063	0,071	8	210,40
H2	27.120	289	4.536	0,064	9	347,40
H3	27.120	283	4.546	0,062	7	269,22

Fonte: O autor.

Com o balanço hídrico também foi possível obter as características do efluente que seria gerado com a implementação das hipóteses de reúso de água residual (Tabela 7).

**Tabela 7** - Características do efluente a ser enviado para a ETE com a implementação das hipóteses de reúso em cascata avaliadas

Hipótese	pH	k (µS/cm)	TDS (mg/L)	DQO (mg/L)	Vazão (m³/dia)
H1	2,91	1260	630	342	54,50
H2	2,80	1407	703	428	42,20
H3	2,83	1587	794	430	42,34

Fonte: O autor.

Santos (2016) caracterizou o efluente desta unidade de fabricação de caminhões e os valores médios para pH, k, TDS e DQO são, respectivamente, 5,61, 1.277,50 µs/cm, 611,67 mg/L e 550,67 mg O<sub>2</sub>/L. Isso indica que a característica do efluente gerado na unidade com a implementação da prática de reúso de água não seria alterada, exceto para o pH. Contudo, a implementação do reúso nesta unidade permitiria reduzir a geração de efluentes em no mínimo 32,5%, o que para a indústria é muito vantajoso, pois a mesma lança os efluentes na rede coletora da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e paga pelo tratamento.

### 3.3 Propostas de reúso

Três hipóteses de reúso de água foram avaliadas (ver Tabela 3) com o objetivo principal de minimizar o consumo de água de reposição e a quantidade total de efluente gerada no setor de pintura da unidade de fabricação de cabines de caminhões. Com base nos resultados do balanço hídrico e sabendo que a vazão de H<sub>2</sub>O industrial necessária é de 55,50 m³/dia (Figura 2), foi possível obter uma comparação entre as hipóteses avaliadas, as quais estão mostradas na Tabela 8.

**Tabela 8** - Comparação das hipóteses de reúso de água residual em cascata avaliadas

Hipótese	Vazão (m³/dia)			Efluente	Capacidade de reúso (m³)
	Água				
	Reúso	Industrial	Outras finalidades		
H1	26,30	29,20	-	54,50	210,40
H2	26,30	29,20	12,30	42,20	347,40
H3	38,46	17,04	-	42,34	269,22

A hipótese H1 mesmo permite o reúso direto da água no próprio processo de pintura, com uma capacidade de reúso de 210,4 m<sup>3</sup> (ver Tabela 8) e redução na geração de efluentes de 32,5%, porém apresenta como dificuldades a necessidade de correção de pH, espaço físico para construção e alocação de um tanque de reúso e de tubulações e bombas para implementação do reúso de água no processo.

Para a hipótese H3, a capacidade de reúso de água é aproximadamente 30% superior a H1 e a redução na geração de efluentes é de 47,6%, porém também necessita de correção de pH da água de reúso, além de investimento em infraestrutura para instalação de tanques para armazenamento, tanque, tubulações e bombas para segregação do efluente da unidade de PW que atualmente é inexistente, e mudanças no *lay-out* da unidade, que apresenta espaço físico limitado. Os custos adicionais necessários na hipótese H3 mostram a importância de projetar e construir uma planta de PTS pensando-se sempre na segregação das diversas correntes de efluentes, o que pode facilitar e viabilizar o reúso de água no processo industrial.

Dentre as hipóteses avaliadas para o reúso de água em cascata, verificou-se que a alternativa mais interessante é a H2 (ver Tabela 8). Se implementada, esta hipótese possibilitará o reúso de aproximadamente 347,4 m<sup>3</sup> de água, permitindo uma redução na captação de água de 10.300 m<sup>3</sup>/ano. Contudo, a hipótese H2 necessita de investimento em infraestrutura para instalação de dois tanques para armazenamento de água de reúso, tubulações e bombas, além de mudanças no *lay-out* da unidade, que apresenta espaço físico limitado.

A implementação da hipótese H2 permite ainda reduzir em 47,8% os efluentes gerados e, consequentemente, uma redução de custo de até US\$ 23.500,00/ano, pois o custo de tratamento é, de acordo com Santos (2016), de aproximadamente US\$ 4.142,00/mês.

Vale ressaltar que qualquer que seja a estratégia avaliada, é fundamental que a prática de reúso de água seja muito bem planejada, a fim de proporcionar os máximos benefícios ambientais e econômicos possíveis com a manutenção da qualidade do produto final. De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2005), a prática de reúso em cascata só pode ser adotada caso as características do efluente disponível sejam compatíveis com os requisitos de qualidade exigidos pela aplicação da industrial da água de reúso em questão.

Outro cuidado que se deve ter ao implementar a prática de reúso de água é que, de acordo com a norma NBR 13.969/97 (ABNT, 1997), deve ser utilizada uma rede hidráulica separada, com cores diferentes, o armazenamento da água de reúso deve ser em um tanque separado devidamente identificado e análises laboratoriais, no mínimo trimestrais, devem ser realizadas para aferir as condições de funcionamento dos equipamentos e se os parâmetros, principalmente os restritivos, estão dentro do limite esperado.

#### 4 CONCLUSÃO

Diante da preocupação com a elevação da demanda mundial de consumo de água, o reúso de águas residuais é uma das alternativas encontradas pelos diversos segmentos industriais. Contudo, a prática deve ser planejada, pois mesmo gerando redução no consumo de água e, consequentemente, preservando os recursos hídricos, e possibilitando a redução na geração de efluentes e os gastos com o tratamento dos mesmos, como apresentado neste estudo, o reúso de água pode ser inviabilizado em razão da necessidade de investimento ou pela falta de espaço físico na unidade industrial e/ou adequações no *lay-out*.

Assim, todas as questões tecnológicas que envolvem um processo industrial devem ser avaliadas, de forma a propor alternativas que efetivamente minimizam os impactos ambientais

relacionados ao consumo dos recursos naturais, os quais são finitos.

Mesmo em plantas industriais que já atuam em conformidade com padrões de excelência reconhecidos, como o caso da unidade de fabricação de cabines de caminhões avaliada, é sempre possível 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.

## 5 REFERÊNCIAS

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.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater**. 22.ed. Washington: APHA, 2012.

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.

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

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.

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

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.

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

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

SANTOS, S. A. R. **Proposta de reúso não potável de efluente industrial na indústria automobilística: Estudo de caso para fábrica de cabines de caminhões**. Dissertação (Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

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

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

SILVA FILHO, A. S. **Tratamento terciário de efluente de uma indústria de refrigerantes visando o reúso – estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

TELLES, D. A.; COSTA, R. H. P. G. **Reúso de água: Conceitos, Teorias e Práticas**. São Paulo: Blucher, 2007.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

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

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.

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