

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA HÍDRICA
GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Diego Batista Nogueira

**Mapeamento do potencial de conservação de água, de um processo galvânico
de cromo duro, em uma indústria de autopeças**

Itajubá
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA HÍDRICA
GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Diego Batista Nogueira

**Mapeamento do potencial de conservação de água, de um processo galvânico
de cromo duro, em uma indústria de autopeças**

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Hídrica, como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Recursos Hídricos.

Prof. Dr. Roberto Alves de Almeida

Itajubá
2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aprovada em: ____ / ____ / _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Alves de Almeida (Orientador)
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva (Avaliador)
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Prof. Dr. Ivan Felipe Silva dos Santos (Avaliador)
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Prof. Dr. Luis Felipe dos Santos Carollo (Avaliador)
Centro Universitário de Itajubá (FEPI)

Dedico este trabalho à minha família e aos meus amigos, que me incentivaram a buscar conhecimento, tiveram paciência durante a minha trajetória e me deram forças para concluir essa etapa.

AGRADECIMENTOS

Aos docentes do IRN-UNIFEI, pela disposição ao nos transmitir conhecimento, proporcionando uma oportunidade de aprendizado único.

Ao meu orientador Roberto Alves, que acreditou, desde o início, no potencial do trabalho e incentivou, como poucos, para que juntos pudéssemos concluir o projeto.

Aos meus colegas da pós-graduação, pelo companheirismo e por terem tornado esse caminho mais leve e agradável.

À minha esposa Lara, pois estive ao meu lado em todos os momentos, incentivando e permitindo que eu me dedicasse aos estudos.

Ao meu filho, que nasceu no meio dessa jornada, trazendo muita alegria e uma nova perspectiva para vida.

Aos meus pais Cleber e Deisemára, pois, há muitos anos, acreditaram no meu potencial e me deram condições, convertidos em oportunidade e direcionamento, para que eu alcançasse meus sonhos.

Aos meus avós João e Terezinha, ela na prática, orando e benzendo meu caminho diariamente, ele olhando por mim lá de cima.

Ao meu amigo Marcos, que por anos apoia meus sonhos e, sempre que possível, me ajuda a convertê-los em realidade.

Por fim, mas não menos importante, à Deus que me dá paciência, saúde e foco para percorrer qualquer caminho que, arbitrariamente escolho pra mim.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.” *Arthur Schopenhauer*

RESUMO

A água, apesar de essencial às atividades industriais, ocupa um espaço de destaque na matriz de custos de uma empresa. Atividades, do ramo de recobrimento metálico, demandam uma quantidade significativa de água e geram efluentes na mesma proporção, o que consome uma fatia considerável do faturamento mensal. O presente trabalho aplica uma metodologia para desenvolver um programa de conservação e reúso de água – PCRA, para o processo de cromação de anéis de pistão, em uma empresa de autopeças. A eficiência hídrica e o reúso de efluentes foram as ferramentas de conservação escolhidas para melhorar o desempenho ambiental e financeiro da planta. Através de uma análise quali-quantitativa das operações fabris, foi possível criar uma matriz hídrica do setor e sugerir ações para conservação de água para 4 fluxos operacionais, os quais representavam 90% da demanda de água e da geração de efluentes do setor. Com a implantação de 2 das ações sugeridas no PCRA, apenas no mês de março de 2020, foram reduzidos 27,69m³/dia na demanda de água (51%) e 5,70m³/dia na geração de efluentes (13%), proporcionando uma economia R\$ 17.653,26 no mês. A projeção de redução de demanda de água e de volume de efluente gerado é de aproximadamente 45%, estimando uma economia superior a R\$470.000,00 no ano.

Em relação à viabilidade econômica, para a implantação das duas ações, o payback calculado foi inferior à 01 mês, ressaltando que com pequenas mudanças operacionais e comportamentais, ganhos significativos puderam ser alcançados. Conclui-se que a metodologia empregada no trabalho foi eficaz na criação de um programa de conservação e reúso de água e que, a implantação do PCRA através da racionalização da água, da redução de desperdícios e do reúso, é fundamental para o setor industrial coexistir em tempos de escassez hídrica e crescentes exigências para o uso consciente da água, uma vez que minimizam impactos ambientais além melhorar os resultados financeiros do negócio.

Palavras chave: conservação de água; reúso de água; cromação; indústria de autopeças.

ABSTRACT

Water, although essential to industrial activities, occupies a prominent place in a company's cost matrix. Activities, in the metal coating industry, demand a significant amount of water and generate effluents in the same proportion, which consumes a considerable slice of monthly revenue. The present work applies a methodology to develop a water conservation and reuse program - WCRP, for the piston ring chromium plating process, in an auto parts company. Water efficiency and effluent reuse were the conservation tools chosen to improve the plant's environmental and financial performance. Through a qualitative and quantitative analysis of manufacturing operations, it was possible to create a water matrix for the sector and suggest actions for water conservation for 4 operational flows, which represented 90% of the water demand and the generation of effluents in the sector. With the implementation of 2 actions suggested in WCRP, only in March 2020, 27,69m³/day in water demand (51%) and 5,70m³/day in the generation of effluents (13%) were reduced, providing savings of R\$ 17,653.26 in the month. The projected reduction in water demand and effluent generated is approximately 45%, estimating savings over R\$ 470,000.00/year. Regarding the economic viability, for the implementation of the 2 actions, the calculated payback was less than 01 month, emphasizing that with small operational and behavioral changes, significant gains could be achieved. We conclude that the methodology used in the work was effective to create a water conservation and reuse program and that the implementation of WCRP through the rationalization of water, the reduction of waste and reuse, is fundamental for the industrial sector to coexist in times of water scarcity and growing demands for the conscious use of water, since they minimize environmental impacts in addition to improving the financial results of the business.

Keywords: water conservation; water reuse; chromium plating; auto parts industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de implantação de um PRCA. Fonte: FIESP (2004).	20
Figura 2 – Anéis de compressão fabricados na Empresa X. a) Anel sem recobrimento de cromo nas faces; b) Anel com cromo depositado sobre a face externa. Fonte: Autoria própria (2020)	25
Figura 3 – Representação das partes que compõe um sistema de eletrólise em tanques de cromação de anéis, gerado no software AutoDesk INVENTOR®, 2018. Fonte: Autoria própria (2020)	26
Figura 4 – Fluxograma das etapas da metodologia do presente trabalho. Fonte: Autoria própria (2020)	28
Figura 5 – Layout do setor da cromação, com indicação de alguns processos estudados no presente trabalho, gerado no software Autocad® Mechanical 2018. Fonte: Autoria própria (2020)	36
Figura 6 – Fluxograma das operações, que compreendem o fluxo principal da cromação de anéis na Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020).....	37
Figura 7 – Fluxograma das etapas que compõe a sequência operacional, da regeneração dos banhos de cromação de anéis, na Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020).....	42
Figura 8 – Fluxograma das etapas que compõe a sequência operacional, da manutenção dos tanques de espera, do setor de cromação, na Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020)	43
Figura 9 – Fluxograma das etapas que compõe a sequência operacional, do sistema de lavadores de gases, do setor de cromação de anéis, na Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020).....	44
Figura 10 – Fluxograma das etapas que compõe a sequência operacional, da lavagem dos no setor de cromação de anéis, da Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020).....	45
Figura 11 – Representação da sequência operacional denominada “Desmontagem de árvores (linha)”, gerado no software Autocad® Mechanical 2018. Fonte: Autoria própria (2020).....	50
Figura 12 – Representação do fluxo de processo da cromação, denominado “Sistema de cromagem de anéis”, gerado no software Autocad® Mechanical 2018. Fonte: Autoria própria (2020)	52

Figura 13 – Representação do fluxo de processo da cromação, denominado “Linha de regeneração dos banhos de cromo”, gerado no software Autocad® Mechanical 2018. Fonte: Autoria própria (2020)	54
Figura 14 – Representação do fluxo de processo da cromação, denominado “Lavador de gases (sistema)”, gerado no software Autocad® Mechanical 2018. Fonte: Autoria própria (2020).....	56
Figura 15 – Indicador de performance: Custo água peça mensal, relativo, referente a demanda de água por anel produzido na Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020)	61
Figura 16 – Análise estatística: Boxplot do Custo água peça mensal, relativo aos 3 períodos temporais do projeto, gerado no software Minitab Statistical® 18. Fonte: Autoria própria (2020)	61
Figura 17 – Análise estatística: Teste t para 2 amostras da média do Custo água peça mensal, dos meses de 2019 que antecederam o início das medições, comparado à média nos meses de 2020, gerado no software Minitab Statistical® 18. Fonte: Autoria própria	62
Figura 18 – Indicador de performance: Custo efluente peça mensal, relativo, referente ao custo com tratamento de efluentes, por anel produzido na Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020)	63
Figura 19 – Análise estatística: Boxplot do Custo efluente peça mensal, relativo aos 3 períodos temporais do projeto, gerado no software Minitab Statistical® 18. Fonte: Autoria própria (2020)	63
Figura 20 – Análise estatística: Teste t para 2 amostras da média do Custo efluente peça mensal, dos meses em que foram realizadas as medições, comparado à média nos meses de 2020, gerado no software Minitab Statistical® 18. Fonte: Autoria própria	64
Figura 21 – Tabela tarifária da COPASA-MG, adaptada do site da Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais - ARSAE-MG. Fonte: (ARSAE-MG, 2019)	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise qualitativa do fluxo principal da cromação, quanto à demanda de água e geração de efluentes. Fonte: Aatoria própria (2020)	46
Tabela 2 – Análise qualitativa do fluxo da regeneração dos banhos de cromagem, quanto à demanda de água e geração de efluentes. Fonte: Aatoria própria (2020) .	47
Tabela 3 – Análise qualitativa do fluxo de manutenção dos tanques de espera, quanto à demanda de água e geração de efluentes. Fonte: Aatoria própria (2020)	47
Tabela 4 – Análise qualitativa do fluxo dos lavadores de gases, quanto à demanda de água e geração de efluentes. Fonte: Aatoria própria (2020)	47
Tabela 5 – Análise qualitativa do fluxo de lavagem dos anodos, quanto à demanda de água e geração de efluentes. Fonte: Aatoria própria (2020)	47
Tabela 6 – Média da demanda de água e efluentes gerados no setor da cromação – Cenário atual. Fonte: Aatoria própria (2020)	48
Tabela 7 – Média da demanda de água e da geração de efluentes no setor da cromação atual e estimativa de redução aplicando as propostas de conservação de água identificadas. Fonte: Aatoria própria (2020).....	58
Tabela 8 – Ganhos monetários efetivos, estimados e análise de <i>payback</i> , referente à implementação das ações do PCRA. Fonte: Aatoria própria (2020)	66

LISTA DE ABREVIATURAS

PIB – Produto interno bruto

PCRA – Programas de conservação e reúso de água

GNV – Gás natural veicular

ETE – Estação de tratamento de efluentes

ARSAE-MG – Agencia Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

pH – Potencial de hidrogênio

é – Elétrons

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	Conservação de água na indústria.....	18
3.2	Indústria de autopeças	24
3.3	Processo de cromação na indústria	25
4	METODOLOGIA.....	28
4.1	Análise conceitual do processo produtivo	29
4.2	Levantamento do cenário atual	29
4.3	Mapeamento de oportunidades de conservação de água e propostas para a redução da água demandada e efluentes gerados.....	30
4.4	Criação de ferramentas de monitoramento e gestão das ações de conservação e reúso de água.....	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1	Estudo de caso – Empresa X.....	36
5.2	Análise hídrica qualitativa dos fluxos da cromação	46
5.3	Matriz hídrica, da água demandada e do volume de efluente gerado, dos fluxos operacionais da cromação	48
5.4	Propostas para conservação e reúso de água.....	49
5.5	Plano de monitoramento hídrico da cromação	59
5.6	Análise de viabilidade econômica	65
6	CONCLUSÕES	67
6.1	Recomendações para trabalhos futuros.....	68
	REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

Em 2017, as indústrias brasileiras demandaram mais de 189 m³/s de água, o que representa 9,1% de todo o consumo nacional, entretanto em situações de baixa disponibilidade de água, o abastecimento urbano, que representou 23,8%, deve ser prioritário (ANA, 2018).

No setor industrial, a demanda de água e a geração de resíduos são dois pontos que requerem atenção especial das empresas. Apesar de essencial ao ramo industrial, a água tem impacto significativo na matriz de custos de uma empresa, da mesma forma, o tratamento dos efluentes industriais consome uma fatia considerável do faturamento mensal.

Por esse motivo, o sucesso de uma organização depende do conhecimento das reais necessidades produtivas para assegurar o uso consciente dos recursos naturais e da mitigação de efeitos nocivos que possa causar ao ambiente, através da gestão da água e dos efluentes na planta industrial (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

As atividades industriais do ramo de recobrimento metálico, galvânicas principalmente, se destacam negativamente devido à significativa demanda de água em seus processos e à geração, na mesma proporção, de efluentes contendo metais pesados.

A empresa, objeto de pesquisa deste estudo, denominada “Empresa X” é uma indústria multinacional, fabricante de autopeças, que atua na produção e comercialização de componentes de motores à combustão interna e filtros automotivos. No Brasil, possui seis plantas industriais. A planta, onde foi conduzido o estudo, faz parte da unidade de negócios de Componentes para Motores, sendo os anéis de pistão seu principal produto.

Os anéis de pistão passam por processos de usinagem e, dependendo da sua aplicação, demandam um recobrimento metálico por meio de processos galvânicos de cromo duro. A camada de cromo, depositada nos anéis, garante redução do desgaste por atrito, melhora a vedação e aumenta a resistência à quebra.

O tratamento dos efluentes do processo de galvanoplastia, normalmente, é realizado por processos físico-químicos em sistemas de batelada, que além de ser extremamente oneroso à indústria, gera grandes quantidades de lodo contaminado (PACHECO, 2002).

A implantação de programas de conservação de água, através do reúso e da redução de desperdícios, é fundamental para o setor industrial coexistir em tempos de eventos hidrológicos de escassez hídrica, associado às crescentes exigências sociais e ambientais para o uso consciente da água, uma vez que minimizam impactos ambientais, além de melhorar os resultados financeiros do negócio (WERBER *et al.*, 2010).

Entendendo que esse problema industrial requer conhecimento técnico específico, esse trabalho teve como motivação a busca de conhecimento especializado na Universidade, realizando em conjunto uma linha de pesquisa acadêmico/profissional com seu time de Engenharia.

Nos capítulos que seguem, serão apresentados os objetivos do presente trabalho, a metodologia aplicada no estudo de caso e os resultados alcançados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um programa de conservação e reúso de água – PCRA, para o processo de cromação de anéis de pistão, na Empresa X, situada na cidade de Itajubá – MG.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar, quali-quantitativamente, todas as operações que compõe o setor de cromação, quanto à demanda de água e geração de efluentes líquidos;
- Criar um diagnóstico hídrico, com vista aos pontos potenciais de conservação de água, através de uma matriz hídrica das operações;
- Propor ações, econômica e tecnicamente viáveis, para conservação e reúso de água, no setor de cromação;
- Desenvolver ferramentas para o monitoramento e a gestão das ações de conservação e reúso de água;
- Elaborar um desenho, em 3 dimensões, do setor de cromação, utilizando o software AUTOCAD® MECHANICAL 2018, de modo a auxiliar a empresa no entendimento e monitoramento do fluxo hídrico das operações galvânicas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A intensificação do setor industrial nas últimas décadas, faz com que o Brasil possua um enorme e variado parque industrial, que produz desde bens de consumo à tecnologia de ponta (ANA, 2018).

O segmento industrial metal mecânico é responsável pela transformação de metais em produtos manufaturados para as mais variadas cadeias de aplicações, sendo que o setor automotivo ocupa um lugar de destaque entre os clientes, contribuindo em 22% do PIB industrial (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2019).

Na indústria, a água tem papel fundamental, e atualmente a sua demanda representa a terceira maior no Brasil, por finalidade, ficando acima inclusive do consumo de água para abastecimento humano (ANA, 2017).

Em meados de 2015, o cenário da crise hídrica se instalou em diversas partes das áreas mais habitadas do Sudeste. O principal exemplo é a cidade de São Paulo, a maior do Brasil, cujos mananciais não têm seguidamente acumulado água suficiente para atender às demandas (CIRILO, 2015).

Diante do crescente aumento pela demanda de água, o setor industrial tem buscado mecanismos para gerir este recurso natural, de modo a garantir sua oferta, em termos de quantidade e qualidade.

3.1 Conservação de água na indústria

A Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP e o Centro das Indústrias do Estado de São Paulo - CIESP, elaboraram em 2004 um manual com o objetivo de disponibilizar uma orientação para implantação de programas de conservação e reúso de água – PCRA.

De acordo com o manual da FIESP (2004), o PCRA é um conjunto de ações de racionalização do uso da água na unidade industrial, detalhadas a partir da realização de uma análise de demanda e oferta de água, em função dos usuários e atividades consumidoras, com base na viabilidade técnica e econômica de implantação das mesmas.

Ações que propiciam redução na quantidade de água extraída dos corpos d'água, redução no consumo direto de água, redução do desperdício ou perdas de água, são ações características de conservação de água (CNI, 2017).

Segundo Firjan (2006), a implantação de um PCRA na indústria traz benefícios, que vão de socioambientais à econômicos, tais como:

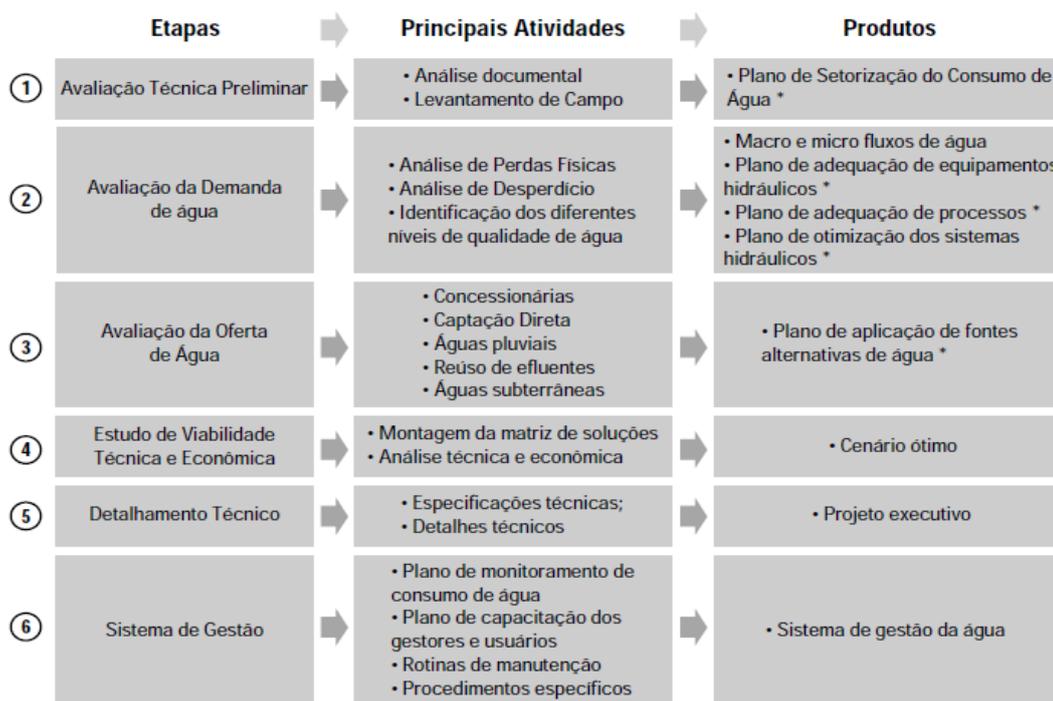
- Redução da captação de águas e do lançamento de efluentes industriais;
- Redução dos custos de produção, tanto de matéria-prima como produtos químicos utilizados nos tratamentos de efluentes;
- Habilitação para receber incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água;
- Reconhecimento da sociedade pela conscientização do setor com relação à preservação ambiental e responsabilidade social.

A implantação de um PCRA deve seguir algumas etapas, iniciando por realizar uma análise sistêmica das atividades onde a água é utilizada e onde ocorre a geração de efluentes, em busca do menor consumo possível para a realização das mesmas atividades, garantindo-se a qualidade da água fornecida e o bom desempenho destas atividades (FIESP, 2004).

Uma vez minimizado o consumo, devem ser avaliadas as possibilidades de utilização de fontes alternativas de abastecimento de água. Por fim as ações propostas no PCRA da indústria devem ser desdobradas em um sistema de gestão permanente, responsável pelo monitoramento contínuo do consumo e pelo gerenciamento das ações de manutenção preventiva e corretiva ao longo do tempo. (FIESP, 2004).

O manual da FIESP (2004), descreve detalhadamente cada uma das 6 etapas para a criação de um PCRA, como demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Etapas de implantação de um PRCA. Fonte: FIESP (2004).



1. Avaliação técnica preliminar

A avaliação técnica é fundamentada na busca de informações preliminares, através da análise dos dados e documentos que envolvem o uso da água, onde pretende-se aplicar o PCRA.

Projetos, plantas, manuais de operação, legislação aplicável, planilhas e indicadores do setor, são exemplos de documentos analisados nessa etapa do trabalho.

Somado à análise documental, o levantamento de campo é iniciado com o objetivo de acompanhar, na prática, os diversos usos da água na indústria.

O produto esperado, nessa primeira fase do projeto, são os macro e micro fluxos da água setorizando os usos, perdas e saídas.

2. Avaliação da demanda de água

Na etapa de avaliação da demanda de água, os objetivos concentram-se na verificação das perdas físicas e desperdícios, como vazamentos e negligências do usuário, além de identificar os requisitos de qualidade de água para cada processo estudado.

Uma matriz do fluxo hídrico atual, é certamente um produto esperado para esse passo do projeto, somado à um plano de ação, frente as falhas identificadas.

3. Avaliação da oferta de água

Para avaliar a oferta de água na indústria, é preciso conhecer as fontes, ao alcance técnico, disponíveis, tais como: água da rede pública; água bruta fornecida por terceiros; captação direta de mananciais; águas subterrâneas; águas pluviais; efluente tratado.

Com as alternativas conhecidas, o produto dessa fase é configurações possíveis de serem implementadas como fontes para ofertar água ao processo industrial.

4. Estudo de viabilidade técnica e econômica

Uma das etapas decisivas para a continuidade e implantação do PCRA, é o estudo de viabilidade técnica e econômica, pois nessa etapa são traçadas estratégias para alcançar a imediata geração de economias, com baixos investimentos e períodos de retorno atrativos.

As combinações de alternativas, capazes de suprir a necessidade da indústria, são avaliadas de modo a alcançar os melhores resultados, limitando-se aos custos envolvidos.

Um quadro comparativo de alternativas, custos para implementação e tempo para alcançar o *payback* do investimento, é o produto esperado nessa etapa do estudo.

5. Detalhamento técnico

Uma vez escolhido o modelo, técnica e economicamente atrativos para a empresa, as ações são detalhadas em forma de cronograma de implantação, detalhamento de cada intervenção, elaboração de procedimentos para as atividades consumidoras de água, além de manuais de manutenção e operação dos sistemas e equipamentos. Um projeto executivo será o produto dessa fase, contemplando as informações citadas anteriormente.

6. Sistema de gestão

Após a implementação das ações previstas, mesmo que o projeto não tenha sido encerrado em sua totalidade, deve-se criar um sistema de gestão e controle de *performance*, para acompanhar a manutenibilidade dos indicadores de economia obtidos.

Nessa etapa, a capacitação dos gestores e demais profissionais envolvidos, é acompanhada da criação de políticas permanentes de monitoramento do consumo e manutenção preventiva de sistemas e equipamentos a fim de manter operante e eficiente o sistema de gestão da água na indústria.

3.1.1 Aplicações do conceito de conservação de água na indústria

Mierzwa (2002) aplicou os conceitos de uso racional e reúso, como ferramentas de gestão da água, na Empresa KODAK Brasileira – Indústria e Comércio Ltda. As estratégias apresentadas, no estudo de caso, trouxeram resultados expressivos. Embora a prática do reúso dos efluentes tenha apresentado restrições, o potencial de redução no consumo global de água, considerando-se apenas as áreas avaliadas, foi estimado em 14,5%.

Matsumura (2007) realizou um estudo de caso em uma indústria de abate de frangos, com o intuito de identificar possíveis pontos para redução da demanda de água, além de reutilizar o efluente de uma etapa do processamento em outra etapa. A metodologia utilizada baseia-se em uma avaliação racional da água, com vistas à identificar falhas operacionais, propor melhorias e identificar perdas físicas. As ações propostas no estudo possibilitaram a redução global, da demanda de água, em 14,20%, além de 18,09% na redução do volume de efluente gerado.

Alves (2009) apresentou um estudo de caso, mostrando técnicas utilizadas na conservação e reúso de água, no segmento industrial de fabricação de cosméticos. O caso Natura, foi objeto de pesquisa do trabalho que, através de modificações em processos de lavagem de tanques e reatores, controle de perdas, eliminação de desperdícios, conscientização e treinamentos de operadores, alcançou economias substanciais que chegaram à 80 % nos processos de limpeza e sanitização de reatores.

Baum (2011) conduziu um estudo de caso, em uma unidade produtiva de nitrocelulose, no qual aplicou a metodologia baseada na análise conceitual do processo, levantamento do cenário atual e identificação de oportunidades para racionalização e reúso de água, obtendo resultados atrativos. Das cinco alternativas propostas, a denominada “Segregação das drenagens da Homogeneização”, alcançou sozinha 16% de redução na demanda de água da indústria, e quando

somadas, as propostas projetaram uma redução de 39% de toda demanda de água usada na unidade de nitrocelulose.

Trabalhos similares também tem sido desenvolvidos no âmbito internacional.

No Egito, El-Salam e El-Naggar (2010) implementaram medidas de conservação de água em duas indústria produtoras de massas alimentícias. Os resultados mostraram que as modificações adotadas na fábrica, como a instalação de medidores de vazão de água, válvulas de mola nas mangueiras de água e o projeto de um sistema de recuperação de condensado de vapor contribuíram de forma eficiente na economia de água e consumo de energia em todas as fábricas de macarrão. Um benefício anual estimado em U\$ 228.245,00.

Na Turquia, Alkaya e Demirer (2015) investigaram oportunidades de conservação e reutilização de água em uma empresa fabricante de refrigerantes. Com base nas avaliações realizaram práticas de reciclagem e reuso de água nos sistemas de refrigeração. Após aplicar as ações propostas, a geração específica de efluentes da empresa foi reduzida em 57,4% %. Sendo que a economia anual de água alcançada foi de 503.893 m³. Os investimentos em equipamentos foram de aproximadamente U\$56.960,00 e o *payback* de seu em 7 meses.

Pesquisadores da República Checa realizaram um estudo de caso, em uma indústria siderúrgica, visando a melhoria do uso de recursos, a redução da pegada ambiental e o aumento da eficiência geral da produção de aço. O trabalho enfoca propostas para reduzir o uso de água em um processo de resfriamento na fabricação de aço por fundição contínua. Os resultados indicam que a substituição parcial do resfriamento por spray de água, por resfriamento a seco, pode proporcionar um uso de água 48% menor, o que representa uma redução de aproximadamente 1,5 m³/min no consumo de água. O potencial anual de economia de água, em uma usina siderúrgica que opera em três turnos, 24 horas por dia, 7 dias por semana, é de cerca de 2.400.000m³ (KLIMES, L. et al, 2020).

3.2 Indústria de autopeças

A produção mundial de veículos em 2016 foi de 72,1 milhões de unidades, dos quais 1,77 milhões foram produzidos no Brasil, o que o classifica como 10º maior produtor mundial de veículos (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2019).

Os motores de combustão interna, à queima de combustível, transformam energia térmica em energia cinética. Tais motores automotivos, convencionalmente abastecidos à gasolina, álcool, GNV e diesel, são dotados de pistões participando do ciclo de termo-cinético (PICCILLI, 2009).

Cada pistão é dotado de anéis metálicos, normalmente fabricados em ferro fundido ou aço, os quais permitem a movimentação do pistão no interior do motor, com menor atrito (CAMERINI, 2009).

O conjunto de anéis de pistão recebe técnicas específicas de usinagem e recobrimento galvânico, o que lhe proporciona altos índices de eficiência no controle do fluxo de óleo nas paredes dos cilindros dos motores automotivos (RIOSULENSE, 2020).

Os anéis de pistão têm as funções de dissipar o calor, que sobe do pistão para a superfície do cilindro, de controlar o óleo, além da tarefa de selar a câmara de combustão. Como as temperaturas, pressões e velocidades rotacionais continuam a subir, os anéis de pistão estão sujeitos a cargas cada vez mais altas, o que gera uma demanda por conceitos para reduzir o desgaste e o atrito, melhorar a vedação e aumentar a resistência à quebra (PICCILLI, 2009).

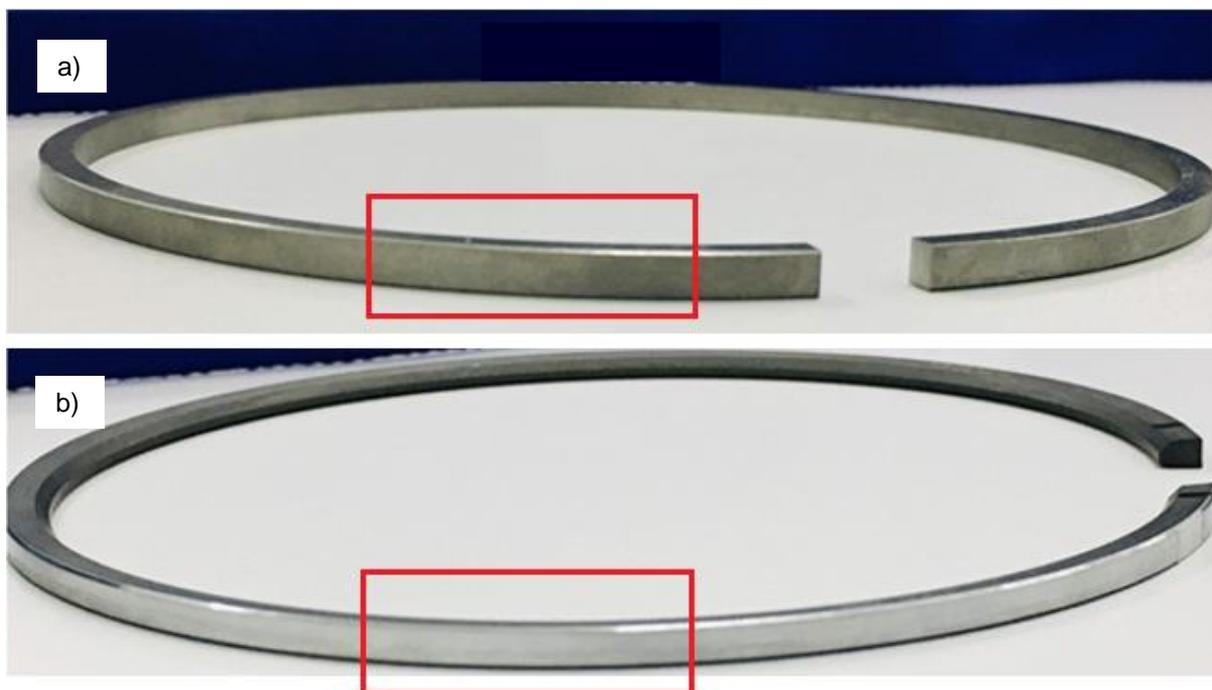
Com o passar dos anos, desafios com relação à *performance* e durabilidade dos anéis vem sendo superados com o aprimoramento tecnológico dos processos de fabricação e o desenvolvimento de novas alternativas de material base, perfis dos anéis e coberturas (PICCILLI, 2009).

Com o objetivo de minimizar os desgastes e aumentar a vida útil dos anéis, utilizam-se, nas faces de trabalho, coberturas/revestimentos com materiais mais duros e resistentes que o material dos anéis. Dentre os materiais mais usados para revestimentos dos anéis pode-se citar o cromo (PICCILLI, 2009).

O cromo é depositado, principalmente na face externa do anel, através de processo eletroquímico, conferindo características como: dureza, alta resistência ao desgaste e a escoriações por abrasão, alto ponto de fusão, aproximadamente 1.800°C, e baixo coeficiente de atrito (PICCILLI, 2009).

A Figura 2 retrata dois anéis de compressão, o primeiro sem cobertura, o segundo com cromo depositado na face externa.

Figura 2 – Anéis de compressão fabricados na Empresa X. a) Anel sem recobrimento de cromo nas faces; b) Anel com cromo depositado sobre a face externa. Fonte: Autoria própria (2020)



3.3 Processo de cromação na indústria

A cromação é uma técnica de galvanoplastia, fundamentada na eletrodeposição não espontânea, em meio aquoso, na qual o catodo é o objeto que recebe o revestimento metálico e está ligado ao polo negativo de uma fonte de corrente contínua, enquanto o anodo é o metal que vai doar o revestimento, ligado ao polo positivo (SANTOS et al., 2000).

A água é essencial na cromação, seja como solvente dos banhos, como meio de limpeza das peças ou na redução da contaminação em emissões atmosféricas, assumindo um papel fundamental para o processo químico de cromo duro (SARRO, 2007).

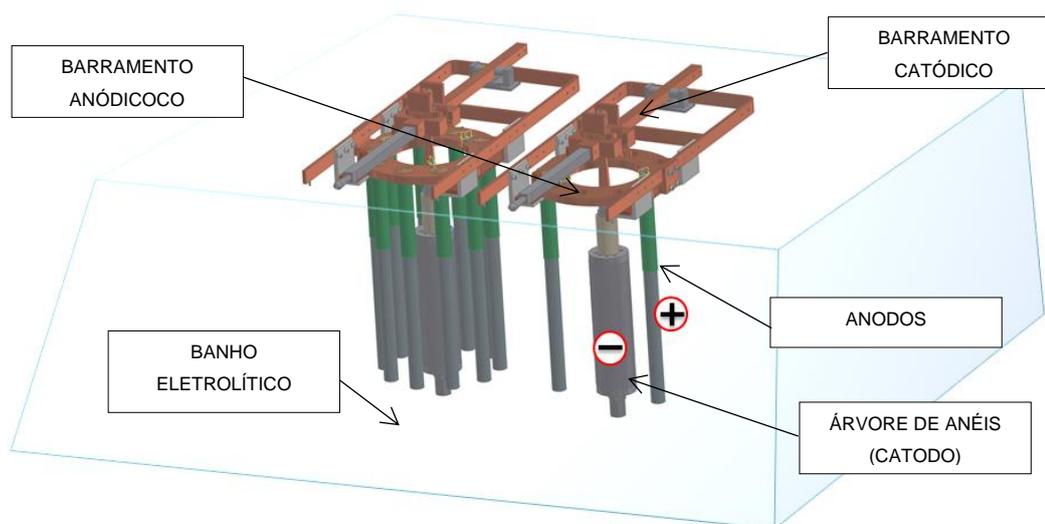
De acordo com Oliver (2006), as etapas do processo da indústria de galvanoplastia se resumem a: acabamento mecânico, desengraxe, lavagem, acabamento fino, decapagem ácida, lavagem e galvanização.

No caso da cromação de anéis de pistão, a solução eletrolítica é o banho de cromo, a base de ácido crômico, ácido sulfúrico e catalisadores. Os barramentos

catódicos são produzidos em cobre enquanto os anodos são de chumbo e estanho. Os anéis, que recebem o recobrimento de cromo, são montados lado a lado formando um cilindro, que são usualmente chamados de árvores de anéis.

A Figura 3 ilustra os constituintes, pertencentes ao processo de eletrólise, dos tanques de cromação de anéis.

Figura 3 – Representação das partes que compõe um sistema de eletrólise em tanques de cromação de anéis, gerado no software AutoDesk INVENTOR®, 2018. Fonte: Autoria própria (2020)



Foldes (1974), sugere que o princípio da deposição de cromo metálico se dá quando os íons metálicos da solução, carregados com energia positiva de determinada valência, transformam-se em átomos de cromo metálicos, recebendo um número de elétrons, correspondentes à sua valência, formando conseqüentemente uma camada de cromo metálico sobre um objeto qualquer.

O revestimento cromo duro é aplicado quando queremos conferir maiores propriedades mecânicas e de resistência ao desgaste, e, para conseguir isso, deve-se aplicar camadas superiores a 10 μ m no metal base, porém o uso final da peça definirá qual a camada necessária para atender essa especificação (SNYDER, 2000).

Segundo Newby (2000), os banhos de cromo duro podem ser classificados em 3 tipos:

- Convencional ou não catalisado, é um banho simples a base de ácido crômico e ácido sulfúrico e que não recebe nenhum tipo de produto formulado para ajudar não seu desempenho ou vida útil;
- Com catalisadores fluoretados, é um banho também a base de ácido crômico e ácido sulfúrico, porém com a adição de catalisadores que

melhoram a dureza, penetração e distribuição da camada eletrodepositada do revestimento cromo duro.

- Catalisados isento de fluoreto, é um banho considerado não corrosivo para a peça, pois não tem o fluoreto em sua composição, dessa forma permite uma vida útil maior. Tem maior velocidade de deposição, maior resistência à corrosão devido aos depósitos serem microfissurados, com ótimo brilho e boa distribuição da camada eletrodepositada.

As reações que acontecem durante a cromagem de peças se baseiam em mecanismos bastante complexos. Alguns autores contradizem a ordem das reações intermediárias, contudo, basicamente todas elas se assemelham às reações seguintes que são apresentadas na forma simplificada por Snyder e Newby (2000):

Reações do banho de cromagem:

- Dissociação do trióxido de cromo em ácido:

$$2 \text{CrO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 (\text{CrO}_4)^{-2} + 2 \text{H}^+$$
- Transformação de ácido a íon dicromato:

$$2 (\text{CrO}_4)^{-2} + 4 \text{H}^+ \leftrightarrow (\text{Cr}_2\text{O}_7)^{-2} + 2 \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$$

Reações no catodo (Anéis, polo negativo):

- Deposição: Redução do íon cromato

$$(\text{Cr}_2\text{O}_7)^{-2} + 14 \text{H}^+ + 12\text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cr}^0 + 7 \text{H}_2\text{O}$$
- Redução de cromo hexavalente a trivalente

$$(\text{Cr}_2\text{O}_7)^{-2} + 14 \text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cr}^{3+} + 7 \text{H}_2\text{O}$$
- Redução do radical livre H^+ a gás hidrogênio

$$2 \text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$$

Reações no anodo (Anodo, polo positivo):

- Oxidação do anodo, gerando óxido de chumbo

$$\text{Pb}^0 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{PbO}_2 + 4 \text{H}^+ + 4\text{e}^-$$
- Oxidação de cromo trivalente a hexavalente

$$2 \text{Cr}^{3+} + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{CrO}_3 + 12 \text{H}^+ + 6\text{e}^-$$
- Oxidação da água a gás oxigênio

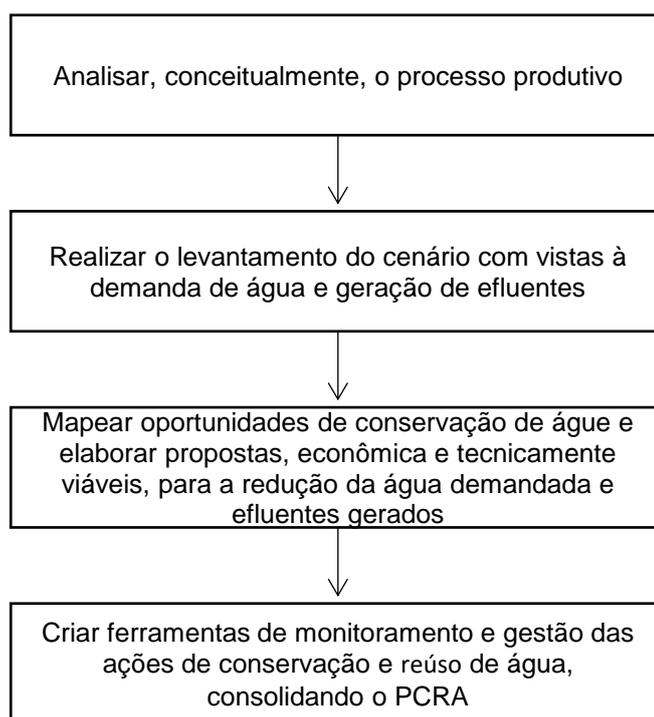
$$2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4\text{e}^- \text{ (SYNDER, 2000, NEWBY, 2000)}$$

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente trabalho, para o desenvolvimento do PCRA, foi uma adaptação da metodologia descrita no manual técnico da FIESP (2004), dividida em 4 etapas principais, a saber: i) Análise conceitual do processo produtivo; ii) Levantamento do cenário atual de demanda de água e geração de efluentes; iii) Mapeamento de oportunidades para conservação de água e elaboração de propostas, econômica e tecnicamente viáveis, para a redução da água demandada e efluentes gerados; iv) Criação de ferramentas de monitoramento e gestão, das ações de conservação e reúso de água, consolidando o PCRA da Empresa X.

A Figura 4 apresenta um fluxograma, que resume as etapas do presente trabalho, as quais serão detalhadas nas seções posteriores da metodologia.

Figura 4 – Fluxograma das etapas da metodologia do presente trabalho. Fonte: Autoria própria (2020)



4.1 Análise conceitual do processo produtivo

O processo de cromação dos anéis foi estudado, através de observação *in loco* da rotina de produção, somado à entrevistas realizadas com os colaboradores do setor. Análises documentais, dos procedimentos operacionais, foram feitas em conjunto com o corpo de engenharia da Empresa X.

Nessa etapa foram identificadas restrições de cada etapa do processo, bem como premissas em forma de requisitos do processo de fabricação.

As operações foram agrupadas em pacotes de trabalho, para facilitar a compreensão do fluxo produtivo e gestão hídrica do processo.

4.2 Levantamento do cenário atual

A matriz hídrica, de demanda de água e volume de efluente gerado, para cada operação do setor, foi montada a partir de dados prévios fornecidos pela Empresa X e medições realizadas *in loco*, a partir de medidores de vazões, instalados para esse fim ou já existentes na planta.

Cada ponto de medição foi monitorado por 10 dias úteis.

- Medidores de vazão adquiridos:
 - 1 hidrômetro para água fria, multijato, magnético, da marca LAO, modelo MJ4B2, de vazão nominal de 2,5m³/h, foi utilizado para medir a demanda de água nas operações que não continham medidores.
 - 2 medidores de vazão tipo Woltmann Horizontal, da marca Genebre, modelo WP- SDC Dn80, de vazão nominal de 40m³/h, foram utilizados para medir o volume de efluente gerado nas operações.
- Hidrômetros já existentes:
 - 16 hidrômetros, das marcas Elster e LAO, todos com vazão nominal de 2,5m³/h, foram utilizados para registrar a demanda de água nas operações, as quais já os tinham instalados.

4.3 Mapeamento de oportunidades de conservação de água e propostas para a redução da água demandada e efluentes gerados

A partir do levantamento de dados para compor a matriz hídrica, foi possível identificar qual a participação de cada pacote de trabalho, assim como quais possuem maior potencial de conservação de água.

A análise quali-quantitativa, apresentada na matriz hídrica de cada processo, subsidiou a realização de um *brainstorming*, com a equipe de engenharia da Empresa X, a fim de montar um banco de sugestões para redução da demanda de água e possível reúso do efluente.

As sugestões foram hierarquizadas através de uma pontuação, de 0 a 10, baseada no esforço, possivelmente demandado para a realização da ação, e o impacto positivo que a execução da ação poderia trazer, limitando-se à viabilidade técnica e econômica para a aplicação. Ações de menor esforço e maior impacto, eram melhores pontuadas, ao passo que ações de alto esforço e baixo impacto obtinham menor pontuação.

4.3.1 Equações e Cálculos hídricos

As equações e cálculos utilizados neste trabalho estão descritas a seguir:

1. Cálculo para demanda média de água em um processo.

O cálculo para demanda média de água em um processo (D_h) foi realizado através da Equação 1.

$$D_h = \frac{V_{o1} + V_{o2} + V_{o3} + \dots + V_{on}}{n} \quad (1)$$

Onde: V_o = volume observado no medidor de vazão, em m^3 , e n = número de dias observados.

2. Cálculo para volume médio de efluente gerado em um processo.

O cálculo para volume médio de efluente gerado em um processo (V_{ef}) foi realizado através da Equação 2.

$$V_{ef} = \frac{V_{o1} + V_{o2} + V_{o3} + \dots + V_{on}}{n} + \frac{V_{d1} + V_{d2} + V_{d3} + \dots + V_{dn}}{n} \quad (2)$$

Onde: V_o = volume observado no medidor de vazão, m^3 , V_d = volume de efluente descartado, sem passar pelo medidor de vazão, em m^3 e n = número de dias observados.

3. Cálculo para estimativa de redução de água em um processo.

O cálculo para determinar qual o percentual de volume de água estimado, para a redução da demanda em um processo (V_{ra}), foi realizado através da Equação 3.

$$V_{ra} = \frac{V_x}{V_{c1} + V_{c2} + V_{c3} + \dots + V_{cn}} \times 100\% \quad (3)$$

Onde: V_x = volume de água estimado como redução, em m^3 e V_c = volume de água contribuído por cada processo dentro da operação, em m^3 .

4. Cálculo do custo água peça mensal, referente ao custo despendido com a demanda de água por anel produzido.

Denominou-se custo água peça, o custo mensal despendido com a quantidade de água demandada nos processos, para produzir uma certa quantidade de anéis no mês.

O cálculo para determinar o custo peça mensal, despendido com a demanda de água por anel produzido (C_{pa}), foi realizado através da Equação 4.

$$C_{pa} = \frac{C_i}{A_i} \quad (4)$$

Onde: C_i = custo despendido com a demanda de água, de um determinado mês, em R\$ e A_i = quantidade de anéis, produzidos nesse mesmo mês.

5. Cálculo do custo água peça mensal, relativo, despendido com a demanda de água por anel produzido.

O cálculo para determinar o custo peça mensal, relativo, despendido com a demanda de água por anel produzido (Ca_r), foi realizado através da Equação 5.

$$Ca_r = \frac{C_{pai}}{C_{pam}} \times 100\% \quad (5)$$

Onde: C_{pai} = custo água peça mensal, de um determinado mês e C_{pam} = custo água peça mensal, do mês que apresentou o maior custo água peça do período.

6. Cálculo da quantidade de anéis produzidos, relativo.

O cálculo para determinar a quantidade de anéis produzidos no mês, de modo relativo (A_r), foi realizado através da Equação 6.

$$A_r = \frac{A_i}{A_m} \times 100\% \quad (6)$$

Onde: A_i = quantidade de anéis produzidos, em um determinado mês; A_m = quantidade de dias trabalhados, desse mesmo mês e A = quantidade de anéis

produzidos, no mês que apresentou a maior quantidade de anéis produzidos do período.

7. Cálculo do custo efluente peça mensal, referente ao custo despendido com tratamento do efluente por anel produzido.

Denominou-se custo efluente peça, o custo mensal despendido com o tratamento com efluentes gerados nos processos, ao produzir uma certa quantidade de anéis no mês.

O cálculo para determinar o custo peça mensal, despendido com tratamento do efluente por anel produzido (C_{pe}), foi realizado através da Equação 7.

$$C_{pe} = \frac{C_e}{A_e} \quad (7)$$

Onde: C_e = custo despendido com tratamento do efluente, de um determinado mês, em R\$ e A_e = quantidade de anéis, produzidos nesse mesmo mês.

8. Cálculo do custo efluente peça mensal, relativo, despendido com a demanda de água por anel produzido.

O cálculo para determinar o custo peça mensal, relativo, despendido com tratamento de efluente por anel produzido (C_{er}), foi realizado através da Equação 8.

$$C_{er} = \frac{C_{pei}}{C_{pem}} \times 100\% \quad (8)$$

Onde: C_{pei} = custo efluente peça mensal, de um determinado mês e C_{pem} = custo efluente peça mensal, do mês que apresentou o maior custo efluente peça do período.

9. Cálculo do valor reduzido com água demandada em um período.

O cálculo para determinar o valor reduzido com água demandada, por um período desejado, (VR_a), foi realizado através da Equação 9.

$$VR_a = R_{ai} \times V_{am} \times D_m \times T_a \quad (9)$$

Onde: R_{ai} = redução no custo de água demanda por anel produzido, em %; V_{am} = volume médio de água demandado por dia, obtido na coleta de dados do estudo, em m^3 ; D_m = quantidade de dias trabalhados no período desejado e T_a = tarifa de abastecimento de água da COPASA, aplicada para indústrias.

10. Cálculo do valor reduzido com custos de tratamento de efluentes em um período.

O cálculo para determinar o valor reduzido com custos de tratamento de efluentes, por um período desejado, (VR_e), foi realizado através da Equação 10.

$$VR_e = R_{ei} \times V_{em} \times D_m \times T_e \quad (10)$$

Onde: R_{ei} = redução no custo com tratamento de efluente por anel produzido, em %; V_{em} = volume médio de efluente gerado por dia, obtido na coleta de dados do estudo, em m^3 ; D_m = quantidade de dias trabalhados no período desejado e T_e = custo do tratamento de efluentes, informado pela Empresa X, em $R\$/m^3$.

11. Cálculo do tempo de retorno para o valor investido - *payback*.

O cálculo de *payback* para determinar o tempo de retorno para um valor investido, por unidade de tempo desejado, (PB), foi realizado através da Equação 11.

$$PB = \frac{I}{R} \quad (11)$$

Onde: I = valor investido, em R\$, por unidade de tempo e R = resultado obtido, em R\$, na mesma unidade de tempo.

4.4 Criação de ferramentas de monitoramento e gestão das ações de conservação e reúso de água

Ferramentas para o monitoramento da água, no setor de cromação, foram criadas para acompanhar a *performance* hídrica e auxiliar a gestão nas tomadas de decisão.

- Conscientização da gestão e dos colaboradores

Foi definido, junto à organização da Empresa X, uma pessoa responsável para realizar a gestão hídrica do setor de cromação de anéis. Gestor e colaboradores foram capacitados ao uso consciente da água no setor e engajados à promover melhorias contínuas no setor.

- Coleta de dados

Foi elaborado um método de trabalho padronizado, a fim de criar uma rotina de coleta de dados, no qual um colaborador, treinado, registra diariamente, ao término do 1º turno de trabalho, o valor indicado em cada medidor de vazão pré-definido.

- Planilha de dados

Foi criada uma planilha, no software Microsoft do Excel®, para alimentar a base de dados, contendo os registros de volume de água demandado, e também volume de efluente gerado em cada etapa do processo.

- Indicadores

A partir do banco de dados criado, foram elaborados indicadores da demanda de água diária, média mensal e demanda mensal acumulada, para cada operação pré-definida, bem como os respectivos volumes de efluente gerados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Estudo de caso – Empresa X

A Empresa X é uma indústria multinacional alemã, fabricante de autopeças, que atua na produção e comercialização de componentes de motores à combustão interna e filtros automotivos. Atualmente conta com aproximadamente 140 plantas industriais em 5 continentes, 10 centros de pesquisa e desenvolvimento, e cerca de 65 mil colaboradores.

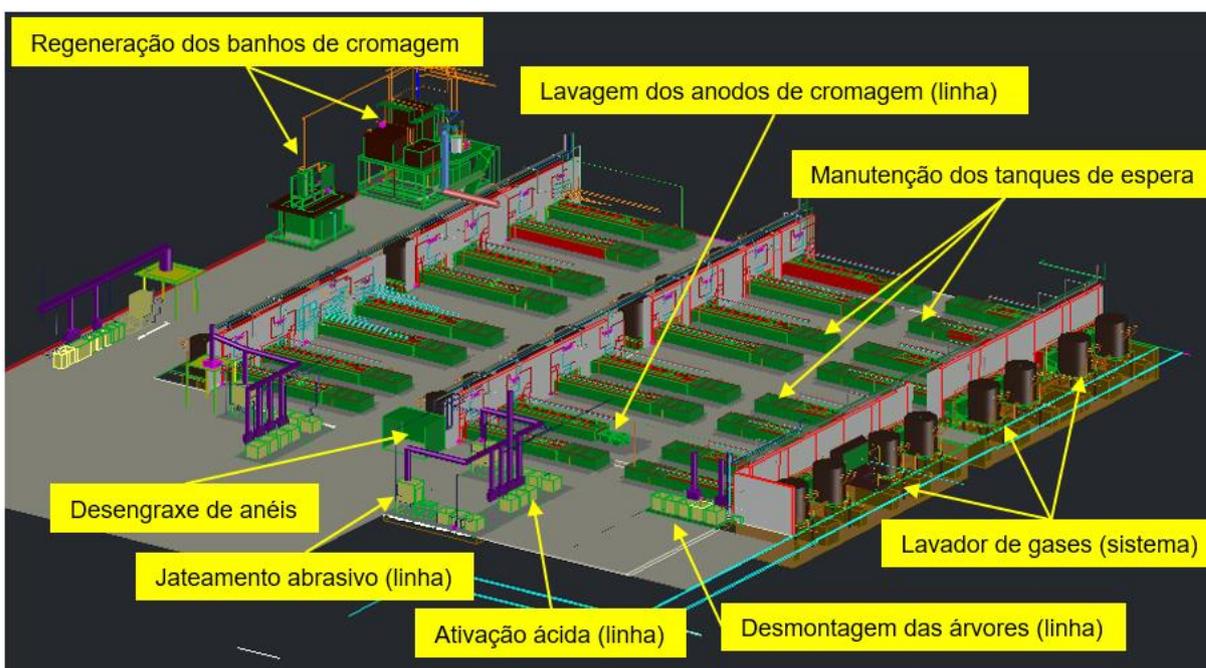
A planta industrial estudada faz parte da unidade de negócio de componentes de motores a combustão interna, sendo os anéis de pistão seu principal produto.

5.1.1 Descrição da unidade industrial

Toda a água utilizada na unidade industrial, objeto do estudo, é proveniente exclusivamente do abastecimento realizado pela concessionária da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA.

A área denominada cromação, da Empresa X, é composta por diversos processos físico-químicos ligados direto ou indiretamente à deposição de cromo nos anéis. Alguns desses processos estão destacados na Figura 5, a qual ilustra o *layout* do setor de cromação, onde o estudo foi conduzido.

Figura 5 – Layout do setor da cromação, com indicação de alguns processos estudados no presente trabalho, gerado no software Autocad® Mechanical 2018. Fonte: Autoria própria (2020)



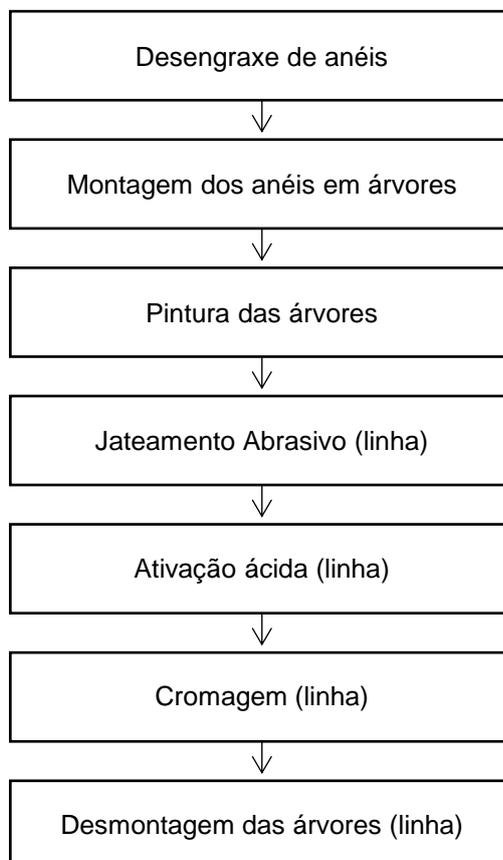
Processos químicos, tais como desengraxe, ativação ácida, cromagem, neutralização e passivação, atuam diretamente na transformação do produto para, efetivamente, cromar os anéis. Essa sequência de operações foi chamada de fluxo principal.

Outros processos químicos são auxiliares à cromagem, são pacotes de trabalho que contribuem na manutenção do processo principal, porém não participam das etapas de transformação do produto. Esses fluxos foram chamados de auxiliares.

a) Fluxo principal

O fluxo principal da cromação de anéis compreende desde as operações em que o anel é preparado para receber o depósito de cromo, até o momento em que o anel está cromado, pronto para seguir para as operações de usinagem. A Figura 6 apresenta um fluxograma que ilustra essa sequência de operações.

Figura 6 – Fluxograma das operações, que compreendem o fluxo principal da cromação de anéis na Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020)



A finalidade e as particularidades, de cada etapa desse fluxo, estão listadas a seguir:

1. Desengraxe de anéis

A operação de desengraxe consiste na remoção da sujidade da peça, advinda das operações anteriores, tais como resíduo de óleo, resíduo de fluidos de corte, poeira, cavaco, entre outros.

Os anéis são dispostos em varas de inox e estas são dispostas em raques, os quais passam pela ação de um banho de desengraxante alcalino disposto em uma sequência de imersões, banhos de desengraxe e enxágue em linha, ou em máquinas fechadas, como uma lava-louças. Ao final as peças sofrem um aquecimento de modo que o fluido residual seja evaporado e a peça apresente-se limpa e seca para as etapas seguintes.

2. Montagem dos anéis em árvores

A operação de montagem dos anéis, em árvores, é responsável por empacotar uma quantidade de anéis, de mesmo diâmetro, sobre um conjunto de ferramentais, por meio de uma prensa hidráulica que exerce forças axiais e tangenciais, de modo que os anéis se aproximem uns dos outros concentricamente, toquem as pontas e apresentem-se como um cilindro oco. Esse conjunto de anéis, empacotado em forma cilíndrica, é chamado de árvores de anéis.

A finalidade dessa etapa é possibilitar às etapas seguintes realizar operações para um conjunto de anéis ao mesmo tempo, ao invés de realizar as operações anel por anel. Essas árvores podem conter normalmente de 30 a 500 anéis, dependendo da espessura de cada anel.

3. Pintura das árvores

A operação de pintura das árvores, consiste em aplicar uma fina camada de tinta laca no interior das árvores de anéis, através dos orifícios dos ferramentais, a fim de proteger a face interna dos anéis contra a corrosão química, uma vez que ao depositar cromo na face externa dos anéis por imersão, a face interna ficaria exposta ao ataque químico do banho de cromo.

4. Jateamento Abrasivo (linha)

A operação de jateamento abrasivo é realizada pela incidência forçada de partículas de óxido de alumínio contra a face externa dos anéis, dentro de uma câmara onde as árvores de anéis giram concentricamente, enquanto os bicos de jateamento passeiam a superfície da árvore de anéis.

Após o ciclo de jateamento, as árvores passam por dois tanques de enxágue, subsequentes em linha. O primeiro por spray de água e o segundo por imersão em água, a fim de remover o excesso de óxido de alumínio retido na face dos anéis.

A finalidade dessa etapa é aumentar a rugosidade da face do anel, o que aumenta a aderência do metal.

5. Ativação ácida (linha)

Similar ao jateamento, a ativação ácida é uma operação em linha, na qual as árvores de anéis são imersas em um banho de ácido sulfúrico diluído, a fim de garantir a remoção de possíveis pontos de oxidação, presentes na face do anel, tornando-o ávido a receber o depósito de cromo.

Após completar o tempo de imersão no banho, as árvores passam por três etapas de enxágue, sendo as duas primeiras por imersão em água, enquanto a terceira é realizada manualmente por mangueira e água corrente.

Os dois primeiros tanques de enxágue são interligados por cascadeamento.

6. Cromagem (linha)

A cromação dos anéis, pela imersão das árvores em banho de cromo, acontece em bateladas e é precedida por uma etapa de imersão das árvores de anéis em um tanque de água limpa, chamado tanque de espera.

Os tanques de espera são tanques auxiliares, agregados aos tanques dos banhos de cromo, que tem por finalidade manter os anéis umedecidos, enquanto aguardam o descarregamento da batelada anterior de árvores, *setup* dos retificadores de corrente e o carregamento das árvores da batelada atual. Normalmente uma batelada de cromagem é feita com 08 árvores de anéis por tanque de cromação.

Uma vez que as árvores de anéis estão dispostas no banho de cromação, inicia-se a deposição de cromo, de acordo com a corrente e o tempo parametrizados no retificador de corrente. O banho de cromação opera acima dos 60°C, sendo indispensável um sistema de exaustão de gases, dotado de um lavador de gases.

O tempo em que as árvores permanecem recebendo a deposição de cromo é função da espessura da camada de cromo desejada. Quanto maior a camada desejada, maior o tempo de operação. Essa etapa pode levar de alguns minutos, camadas milésimas, à várias horas, camadas decimais.

Ao término do ciclo de cromagem, as árvores cromadas são descarregadas do tanque de cromo e são submetidas, sequencialmente, à dois banhos de enxágue.

O primeiro banho de enxágue recebe o arraste de cromo mais concentrado, vindo do banho de cromação, já o segundo, recebe o arraste do primeiro tanque de enxágue, com uma concentração menor de cromo.

O tanque de espera é abastecido periodicamente com água limpa, através de um sistema eletrônico ligado à uma válvula solenoide e o transbordo do tanque de espera é direcionado ao segundo tanque de enxágue, que por sua vez cascadeia seu efluente ao sistema do lavador de gases, ligado à exaustão do tanque de cromo.

O primeiro tanque de enxágue não participa do cascadeamento de efluentes, sendo que seu volume é controlado pelo colaborador da cromação, periodicamente parte do volume é descartado à ETE e completado com água limpa, a fim de baixar a concentração de cromo e melhorar a eficiência do enxágue.

7. Desmontagem das árvores (linha)

A etapa final do fluxo de cromagem de anéis acontece na linha de desmontagem das árvores, onde passam por dois banhos de enxágue para eliminar quaisquer resíduos de cromo, oriundos da etapa anterior, e na sequência são imersas em um banho de neutralização, à base de hidróxido de sódio, que tem a finalidade de remover a tinta da face interna dos anéis, aplicada na etapa da pintura, além de neutralizar o pH das peças.

Ainda na linha, as árvores passam por um terceiro enxágue, a fim de remover o excesso de neutralizador e na sequência passam pelo banho de passivação, com a finalidade de proteger as faces dos anéis que não receberam o depósito de cromo e por isso estão suscetíveis à oxidação.

Os três banhos de enxágue da linha estão interligados por cascadeamento, do último para o primeiro enxágue.

Por fim, as árvores são dispostas em uma bancada onde são desmontadas, os ferramentais removidos e os anéis cromados são dispostos em varas de inox, alocadas em carros pirâmide de transporte entre operações.

b) Fluxos auxiliares

Os demais pacotes de trabalho, executados no setor cromação, mas que não estão diretamente ligados ao depósito de cromo duro no anel, também foram mapeados e estão descritos a seguir:

1. Regeneração dos banhos de cromagem

Os banhos de cromagem são compostos por ácido crômico e catalisadores, contudo, o processo de eletrólise para deposição de cromo duro produz, no banho, metais como chumbo, oriundo dos anodos, e ferro, oriundo dos próprios anéis.

Esses metais, dissolvidos no banho de cromagem, provocam uma redução da condutividade do banho, essencial para o bom desempenho do depósito de cromo.

Ao atingir uma concentração limite de metais contaminantes no banho, é necessário realizar um processo de descontaminação do banho. O processo de descontaminação de banhos, utilizado na Empresa X, é o sistema de decationização por meio de resinas de troca iônica.

O ciclo de regeneração de um banho, contaminado com cátions metálicos, inicia-se com a diluição do banho de cromo, para uma concentração de cromo que não degrade a resina catiônica. Para cada litro de banho, adiciona-se 3 litros de água limpa.

O banho de cromo contaminado, diluído, é submetido ao processo de troca iônica. Enquanto os cátions metálicos ficam aderidos à resina catiônica, o cromo e demais catalisadores saem purificados do equipamento.

A resina tem um número finito de sítios ativos, capazes de reter os contaminantes. Uma vez saturado, a resina catiônica precisa ser desidratada pela ação do ácido sulfúrico concentrado, de modo que retome as características de origem, ativa para uma nova retenção de contaminantes.

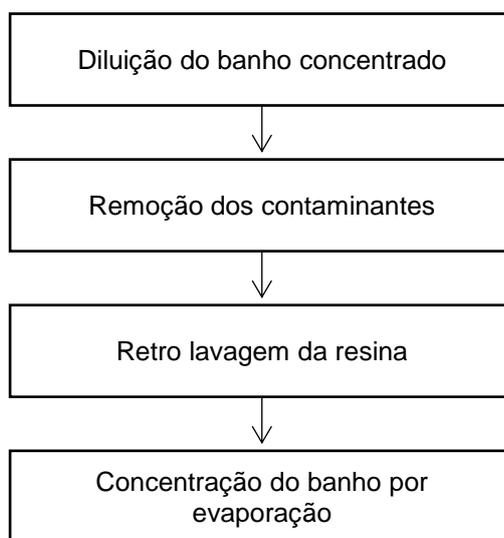
Antes de iniciar um novo ciclo de regeneração de banho de cromo, a resina precisa ser lavada com água limpa em abundância para remover o excesso de ácido sulfúrico utilizado anteriormente. Até que o volume total de um banho de cromo seja descontaminado, esse ciclo se repete.

Após completar os ciclos de descontaminação do banho, o resultado é um banho sem contaminantes, porém diluído, sendo necessário remover o excesso de água, adicionado no início do processo, para reutilizá-lo no processo.

A remoção de água se dá em um evaporador à vácuo, dotado de um vaso de pressão onde é criado vácuo, permitindo a evaporação da água excedente. O vapor d'água arrasta partículas de cromo, quando evaporado, e, ao passar pelo condensador, o resultado é um efluente direcionado à ETE.

A Figura 7 apresenta a sequência de processos que compõe esse fluxo operacional.

Figura 7 – Fluxograma das etapas que compõe a sequência operacional, da regeneração dos banhos de cromação de anéis, na Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020)



2. Manutenção dos tanques de espera

Embora os tanques de espera tenham sido considerados no fluxo principal, o pacote de trabalho destinado à manutenção dos tanques de espera se enquadra na diretriz de fluxo auxiliar.

O banho do tanque de espera é composto somente por água limpa, visto que a finalidade é manter os anéis umedecidos durante o *setup* do retificador para cromagem.

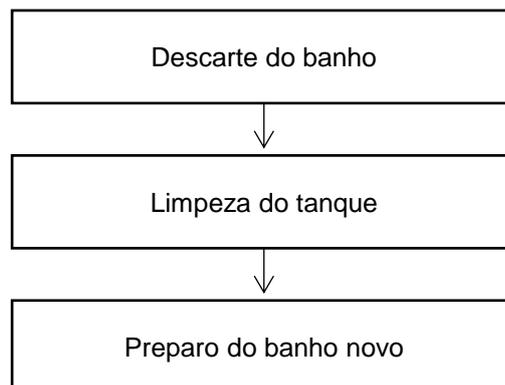
Ao longo do dia, várias bateladas de cromação são realizadas e as árvores já cromadas movimentam-se por trilhos suspensos, que passam sobre os tanques de espera, ocasionando a contaminação da água com respingos e arraste dos banhos de cromação. Além disso, a área da cromação possui grandes portas, que permitem a ventilação do local, entretanto propiciam a entrada de poeira, provocando a sujidade do banho.

Esses fatores somados a contaminações oriundas das tubulações de água, provocam a necessidade de realizar o descarte do banho, limpeza do tanque e

reposição com água limpa, o que ocorre até 3 vezes por semana. O efluente é direcionado à ETE.

A Figura 8 apresenta a sequência de processos que compõe esse fluxo operacional.

Figura 8 – Fluxograma das etapas que compõe a sequência operacional, da manutenção dos tanques de espera, do setor de cromação, na Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020)



3. Lavadores de gases

O sistema dos lavadores de gases é essencial para o controle de emissões atmosféricas. Na cromação da Empresa X o sistema é composto por ductos de exaustão, lavador de gases e um tanque de concentração – *sump tank*.

Os ductos de exaustão são dispostos na parte de cima de cada lado do tanque de cromagem, sendo capazes de exaurir os gases gerados durante o processo de eletrólise química, somados ao vapor oriundo da evaporação do banho, mesmo operando com agentes redutores de vapor, como esferas de PVC que diminuem a taxa de evaporação.

Os gases succionados são direcionados ao lavador de gases, cujo modelo adotado na Empresa X é do tipo coluna de spray, com o princípio de funcionamento baseado no contato do fluxo gasoso, em contracorrente com gotas do líquido, gerados através de sprays presente em um distribuidor de líquidos na coluna.

O líquido, carregado de partículas gasosas, cai por gravidade em um tanque de concentração, chamado de *sump tank*, acoplado ao lavador de gases.

Sump tank e lavador de gases trabalham de maneira cíclica. O líquido, pulverizado no lavador para colidir com os gases exauridos, é bombeado do próprio *sump tank* para o spray, retornando por gravidade para o tanque.

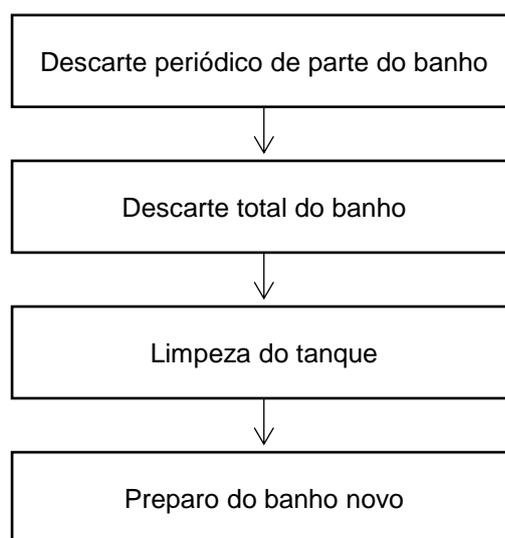
Esse processo concentra o líquido com partículas de cromo a cada ciclo, sendo necessário enviar, de tempos em tempos, parte do volume à ETE e reabastecer o volume de trabalho. O controle de envio de efluentes é dado por um controlador eletrônico, dotado de válvulas solenoide que, a cada duas horas se abre por 30s.

A mesma quantidade de volume, enviado à ETE, entra no sistema de lava gases, oriundo do cascadeamento do tanque de espera e tanque de lavagem, descritos anteriormente no fluxo principal.

Uma vez ao ano, o sistema é totalmente esvaziado para limpeza e manutenções, o efluente correspondente ao volume total do sistema é então enviado à ETE.

A Figura 9 apresenta a sequência de processos que compõe esse fluxo operacional.

Figura 9 – Fluxograma das etapas que compõe a sequência operacional, do sistema de lavadores de gases, do setor de cromação de anéis, na Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020)



4. Lavagem dos anodos de cromagem

Os anodos de cromagem são fabricados em chumbo ligado ao estanho e, na eletrodeposição, representam o polo positivo, sofrendo oxidação durante o processo.

A oxidação do chumbo provoca a formação de uma camada passivante sobre a superfície do anodo, aumentando a resistência elétrica e conseqüentemente reduzindo a eficiência da deposição de cromo.

Preventivamente, os anodos em processo devem passar por um processo de limpeza, com a finalidade de eliminar a camada passivante. O processo é dividido em três etapas principais.

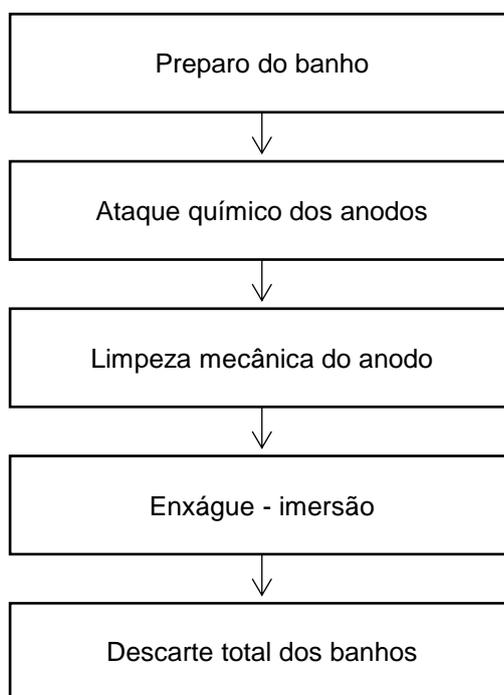
Etapa 1: os anodos são colocados em contato com um banho à base de hidróxido de sódio aquecido, a fim de reagir quimicamente com o óxido de chumbo na face dos anodos.

Etapa 2: os anodos são escovados manualmente com uma escova de aço, para realizar um desbaste mecânico da camada.

Etapa 3: os anodos são enxaguados com água para eliminar o excesso de produtos utilizados na lavagem.

A Figura 10 apresenta a sequência de processos que compõe esse fluxo operacional.

Figura 10 – Fluxograma das etapas que compõe a sequência operacional, da lavagem dos no setor de cromação de anéis, da Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020)



5.2 Análise hídrica qualitativa dos fluxos da cromação

Nesta etapa do trabalho, foi realizado uma análise dos fluxos operacionais, principal e auxiliares, quanto à demanda de água e a geração de efluente industrial.

Os resultados da análise qualitativa do fluxo principal da cromação encontra-se descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise qualitativa do fluxo principal da cromação, quanto à demanda de água e geração de efluentes. Fonte: Autoria própria (2020)

Etapa	Processo	Demanda água	Gera efluente
1	Desengraxe de anéis	Sim	Sim
2	Montagem dos anéis em árvores	Não	Não
3	Pintura das árvores	Não	Não
4	Linha de Jateamento abrasivo	-	-
4.1	Jateamento abrasivo	Sim	Não
4.2	Enxágue 1 - spray	Sim	Sim
4.3	Enxágue 2 - imersão	Sim	Sim
5	Linha de Ativação ácida	-	-
5.1	Ativação ácida	Sim	Sim
5.2	Enxágue 1 - imersão	Sim	Sim
5.3	Enxágue 2 - imersão	Sim	Sim
5.4	Enxágue 3 - manual	Sim	Sim
6	Linha de Cromagem	-	-
6.1	Banho de Cromagem	Sim	Sim
6.2	Enxágue 1 - imersão	Sim	Sim
6.3	Enxágue 2 - imersão	Sim	Sim
7	Linha de Desmontagem das árvores	-	-
7.1	Enxágue 1 - imersão	Sim	Sim
7.2	Enxágue 2 - imersão	Sim	Sim
7.3	Neutralização	Sim	Sim
7.4	Enxágue 1 - imersão	Sim	Sim
7.5	Passivação	Sim	Sim
7.6	Desmontagem	Não	Não

As análises qualitativas, dos fluxos auxiliares à cromação, estão descritas nas Tabelas 2, 3, 4 e 5.

Tabela 2 – Análise qualitativa do fluxo da regeneração dos banhos de cromagem, quanto à demanda de água e geração de efluentes. Fonte: Autoria própria (2020)

Etapa	Processo	Demanda água	Gera efluente
1	Diluição do banho concentrado	Sim	Não
2	Remoção dos contaminantes	Não	Não
3	Retro lavagem da resina	Sim	Sim
4	Concentração do banho por evaporação	Não	Sim

Tabela 3 – Análise qualitativa do fluxo de manutenção dos tanques de espera, quanto à demanda de água e geração de efluentes. Fonte: Autoria própria (2020)

Etapa	Processo	Demanda água	Gera efluente
1	Descarte do banho	Não	Sim
2	Limpeza do tanque	Sim	Não
3	Preparo do banho novo	Sim	Não

Tabela 4 – Análise qualitativa do fluxo dos lavadores de gases, quanto à demanda de água e geração de efluentes. Fonte: Autoria própria (2020)

Etapa	Processo	Demanda água	Gera efluente
1	Descarte periódico de parte do banho	Sim	Sim
2	Descarte total do banho	Não	Sim
3	Limpeza do tanque	Sim	Sim
4	Preparo do banho novo	Sim	Não

Tabela 5 – Análise qualitativa do fluxo de lavagem dos anodos, quanto à demanda de água e geração de efluentes. Fonte: Autoria própria (2020)

Etapa	Processo	Demanda água	Gera efluente
1	Preparo do banho	Sim	Não
2	Ataque químico dos anodos	Sim	Sim
3	Limpeza mecânica do anodo	Não	Não
4	Enxágue - imersão	Sim	Sim
5	Descarte total dos banhos	Não	Sim

5.3 Matriz hídrica, da água demandada e do volume de efluente gerado, dos fluxos operacionais da cromação

Tanto no fluxo principal, quanto nos fluxos auxiliares, foram identificados processos que não fazem uso de água e/ou geram efluentes, ao passo que diversas outras etapas operacionais os fazem.

As operações que demandam água e/ou geram efluentes foram agrupadas em pacotes de trabalho. A matriz hídrica, do setor da cromação de anéis, foi então construída a partir das médias das medições, realizadas *in loco*, e calculadas por meio das equações 1 e 2.

Para o estudo, foram considerados 16 tanques de cromação em operação.

A Tabela 6 apresenta os dados compilados da média das medições realizadas para a demanda de água e volume de efluentes gerados em cada pacote de trabalho estudado.

Tabela 6 – Média da demanda de água e efluentes gerados no setor da cromação – Cenário atual.

Fonte: Autoria própria (2020)

Pacotes de trabalho	Demanda de água		Geração de efluente	
	Volume (m ³ /dia)	Participação (%)	Volume (m ³ /dia)	Participação (%)
Desmontagem das árvores (linha)	21,70	40,0	17,30	39,4
Manutenção dos tanques de espera	10,90	20,1	8,20	18,7
Regeneração dos banhos de cromagem	9,20	16,9	9,00	20,5
Lavador de gases (sistema)	7,10	13,1	5,00	11,4
Ativação ácida (linha)	2,40	4,4	1,90	4,3
Jateamento abrasivo (linha)	1,80	3,3	1,60	3,6
Lavagem dos anodos de cromagem (linha)	1,10	2,0	0,80	1,8
Desengraxe de anéis	0,10	0,2	0,06	0,1
Total	54,30	100,0	43,86	100,0

Diante dos dados descritos na Tabela 6, pode-se afirmar que, aproximadamente, 40% de toda a demanda de água no setor da cromação é oriunda do processo realizado na linha de desmontagem das árvores.

Da demanda média de 54,30 m³/dia, 90% é atribuído a 4 dos 8 pacotes de trabalho do setor, sendo eles:

- Desmontagem das árvores (linha);
- Manutenção dos tanques de espera;
- Regeneração dos banhos de cromagem;
- Lavador de gases (sistema)

Segundo FIESP (2004), antes de encontrar uso para efluentes tratados, é preciso buscar oportunidades para economia na demanda de água e eliminar desperdícios.

Entendendo que as oportunidades de conservação e reúso de água, nesses 4 fluxos do processo de cromação de anéis de pistão, trariam os resultados mais expressivos, esses pacotes de trabalho foram escolhidos para o estudo as próximas fases do trabalho.

5.4 Propostas para conservação e reúso de água

Para cada um dos 4 pacotes de trabalho do setor de cromação, elencados como mais relevantes, foi realizada uma avaliação conceitual do processo, juntamente com os responsáveis técnicos das operações. Nessa etapa, foram discutidas propostas para a redução da demanda de água e, em alguns casos, foram avaliadas ações para aplicar o reúso do efluente gerado entre as operações.

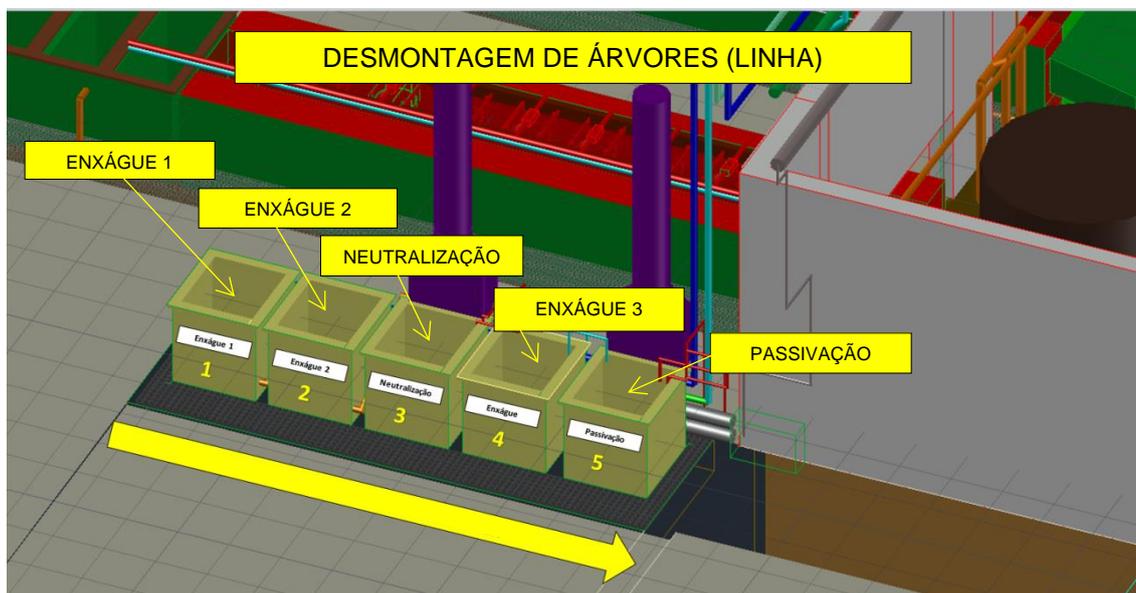
As alternativas mais aceitas foram listadas como sugestões de ações para conservação e reúso de água.

5.4.1 Desmontagem das árvores (linha)

A linha de desmontagem das árvores de anéis é composta por uma sequência de cinco tanques, cada tanque possui 520 litros de volume útil.

Os dois primeiros são destinados à operação de enxágue, seguidos de um tanque de neutralização química, mais um tanque de enxágue e um tanque de passivação química, como ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Representação da sequência operacional denominada “Desmontagem de árvores (linha)”, gerado no software Autocad® Mechanical 2018. Fonte: Autoria própria (2020)



O abastecimento de água da linha ocorre por meio de uma tubulação principal de $\frac{1}{2}$ ", onde está localizado o hidrômetro da linha. A tubulação de água se divide em três para alimentação individual dos tanques 5, 4 e 3, através de registros manuais, enquanto os tanques 2 e 1 recebem o efluente cascadeado do tanque 5.

Para a realização das medições, foi instalado um medidor de vazão adicional na saída do tanque de enxágue 1.

A demanda de água, na linha de desmontagem de árvores, se dá em três etapas do fluxo:

- No tanque de passivação química (tanque 5), que opera acima de 90 °C, demandando reposição de água devido as perdas por arraste e evaporação;
- No tanque de enxágue (tanque 4), o qual é operado com renovação de água constante, a fim de deixar a superfície do banho isente de particulados;
- No tanque de neutralização (tanque 3), que também opera acima de 90 °C, demandando reposição de água devido as perdas por arraste e evaporação.

A geração de efluente líquido se dá em dois momentos:

- No tanque 1, pois recebe o efluente cascadeado dos tanques 2 e 4, consecutivamente;

- No descarte total dos banhos para limpeza dos tanques e montagem de banhos novos, que ocorre duas vezes por semana.

Durante o acompanhamento da operação, para a realização das medições, foi observado que o colaborador da linha de desmontagem realizava a abertura do registro de água que alimenta o tanque de enxágue (tanque 4) no início do seu turno de trabalho e, independente da presença de anéis na operação, a vazão de água era a mesma. O registro só era fechado nos intervalos de refeição, momentos de descarte dos banhos e dias de folgas.

A avaliação conceitual do processo, em conjunto com os responsáveis técnicos, nos permitiu propor a utilização de sensores de presença de carga no tanque 4, ou seja, o registro de água será acionado eletronicamente apenas quando houver árvores de anéis em processo.

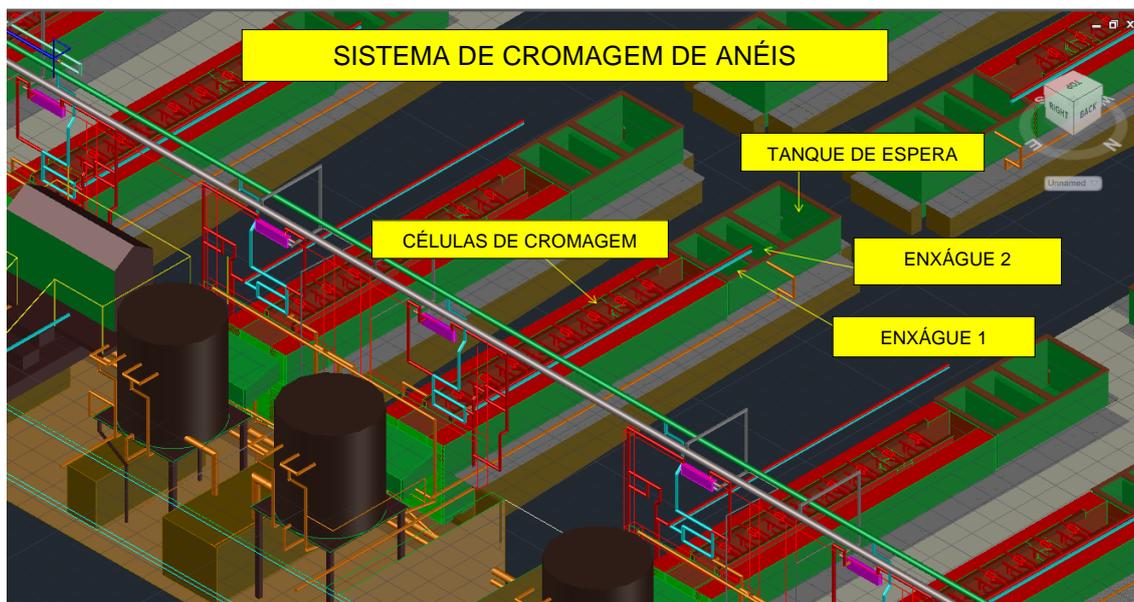
Ainda foi possível verificar que, a vazão de água não precisa ser constante durante todo o tempo de permanência das árvores na operação. O processo preconiza que as árvores fiquem submersas no tanque de enxágue por 3min, contudo 2min, com o registro de água aberto, são suficientes para garantir a renovação de água necessária, atendendo os requisitos do processo para atingir um pH < 8 no último tanque de enxágue.

Esta proposta foi validada, realizando testes por dez dias. Durante os testes, o próprio colaborador da linha realizava a abertura e fechamento manualmente do registro de água. Ao final dos dez dias de testes, as medições no hidrômetro confirmaram a redução em aproximadamente 40% da demanda de água no fluxo e, por consequência, redução também na geração de efluente líquido.

5.4.2 Manutenção dos tanques de espera

O sistema de cromagem de anéis faz parte do fluxo principal da cromação e é composto pela sequência de tanques, iniciado pelo tanque de espera, seguido do tanque de cromação e dois tanques de enxágue das árvores já cromadas, como ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Representação do fluxo de processo da cromação, denominado “Sistema de cromagem de anéis”, gerado no software Autocad® Mechanical 2018. Fonte: Autoria própria (2020)



Cada tanque de espera possui 1.200 litros de volume útil, sendo que o banho constitui-se apenas de água limpa. Nenhum parâmetro químico é monitorado nesse banho, apenas a sujidade da água é monitorada através de um padrão visual.

De acordo com a sujidade do banho, há a necessidade do descarte total para realizar a limpeza das paredes do tanque e montagem de um novo banho. Esse processo é chamado de manutenção dos tanques de espera.

Além do processo de manutenção dos tanques de espera, o banho recebe água limpa a cada duas horas, através de um sistema eletrônico que controla uma válvula solenoide, a fim de garantir, por meio do transbordamento do banho, a eliminação de sujeira e resíduos oleosos sobrenadantes.

O banho transbordado, do tanque de espera, é cascadeado aos tanques de enxágue, localizados ao lado do tanque de espera, que por sua vez cascadeiam o efluente carregado com cromo para o sistema de exaustão de gases, onde darão início à um fluxo auxiliar a fim de reduzir as emissões de gases à atmosfera, denominado “Lavador de gases”.

Durante o acompanhamento da operação, para a realização das medições, foram mapeadas as principais causas que provocam a sujidade do banho demandando a necessidade de manutenção:

- Poeira, uma vez que o ambiente possui grandes corredores abertos lateralmente o que permite a entrada de poeira tanto do piso fabril quanto do ambiente externo;
- Respingos de banhos de cromação, pois as árvores já cromadas são transportadas por trilhos suspensos, que percorrem sobre os tanques de espera, possibilitando o arraste do banho de cromo;
- Água da rede de abastecimento, contaminada pela tubulação industrial, visto que as tubulações do setor de cromagem, em sua maioria, são antigas e de ferro, o que propicia a contaminação do banho.

A demanda de água no fluxo de manutenção dos tanques de espera se dá em duas etapas do fluxo:

- Montagem de um banho novo, demandado pelo descarte total do banho;
- Abastecimento periódico, que provoca o transbordamento para eliminar resíduos superficiais do banho.

A geração de efluente líquido, nesse fluxo se dá em dois momentos:

- Descarte total do banho, decorrentes da sujidade do banho;
- Banho cascadeado aos tanques de enxágue.

Durante a avaliação conceitual do processo foi possível sugerir alternativas que fossem ao encontro de mitigar as fontes que provocam a sujidade do banho, com o intuito de reduzir a necessidade de descarte dos banhos.

No que tange a contaminação do banho, decorrente da tubulação industrial, a proposta é instalar elementos filtrantes de polipropileno na alimentação dos tanques de espera, a fim de reter as partículas sólidas em suspensão, grãos de areia, ferrugem dos encanamentos e substâncias orgânicas.

Os respingos das árvores, oriundos do arraste do banho de enxágue, podem ser eliminados, instalando uma bandeja coletora sob os raques que transportam as árvores. Esse arraste coletado pode ainda ser reaproveitado no próprio processo.

Já em relação à poeira do ambiente fabril, a sugestão é instalar tampas sobre os tanques de espera, uma vez que o tempo que o tanque de espera é utilizado representa menos de 10% da jornada de trabalho.

Estima-se, através da equação 3, que, implementando esse conjunto de ações, a redução na demanda de água nesse fluxo de processo seja de 70% e por consequência redução também na geração de efluente líquido.

5.4.3 Regeneração dos banhos de cromagem

Os banhos de cromagem, à medida que são utilizados, são contaminados gradativamente por metais em solução, tais como ferro, cobre, alumínio e chumbo provenientes do metal base dos anéis, desgaste dos ferramentais e anodos, água de abastecimento, bem como as próprias reações que ocorrem no processo de deposição de cromo duro.

Esses metais provocam perdas na eficiência no processo, sendo necessário trocar ou purificar o banho de cromagem. No caso da Empresa X, se adota o processo de purificação dos banhos de cromo, através de resinas de troca iônica.

A Figura 13 ilustra os dois equipamentos utilizados para regenerar os banhos de cromo, um purificador de metais e um evaporador à vácuo.

Figura 13 – Representação do fluxo de processo da cromagem, denominado “Linha de regeneração dos banhos de cromo”, gerado no software Autocad® Mechanical 2018. Fonte: Autoria própria (2020)



O banho de cromagem, saturado em metais, apresenta uma concentração elevada de cromo, podendo chegar à 32% m/v, enquanto a concentração máxima para o processo de purificação do banho deve ser de 8% m/v em cromo. Dessa forma se faz necessário diluí-lo com água limpa, numa proporção de 1:4.

A batelada de purificação do banho inicia-se ao bombear o banho diluído para o reservatório de resinas, o qual possui telas, na entrada e na saída, de micragem menor que o diâmetro da resina, permitindo a passagem do banho, ao mesmo tempo em que a resina permanece aprisionada no reservatório.

Nesse ciclo, os metais na forma iônica ficam aderidos quimicamente à resina, enquanto o banho, com uma concentração menor de metais, é coletado em um container.

A cada ciclo de 200L, a resina deve ser lavada, por contra fluxo, aplicando ácido sulfúrico diluído, seguido de um enxágue com água limpa. O ácido tem a função de desidratar a resina e se ligar quimicamente ao seu sítio ativo, liberando o metal aderido. O resíduo gerado, contendo metais e ácido sulfúrico, é direcionado à ETE.

Ao final do processo, o banho diluído está purificado, com uma carga de metais reduzida, porém é necessário realizar um procedimento de concentração do cromo, através de um processo de evaporação, ou seja, é preciso remover as 3 partes de água adicionadas na etapa da diluição.

A demanda de água no fluxo de regeneração dos banhos de cromagem se dá em duas etapas do fluxo:

- Adição de água para diluir o banho de cromo concentrado;
- Enxágue da resina catiônica, durante a etapa de lavagem por contra fluxo.

A geração de efluente líquido, nesse fluxo se dá em dois momentos:

- Lavagem e enxágue da resina por contra fluxo;
- Descarte da água evaporada, no processo de concentração do banho diluído.

Durante a avaliação conceitual do processo, foi possível sugerir uma alternativa quanto ao reuso do efluente, gerado no processo de concentração do banho diluído, sem a necessidade de tratamento prévio, utilizando-o para diluir o próximo banho a entrar no fluxo de purificação.

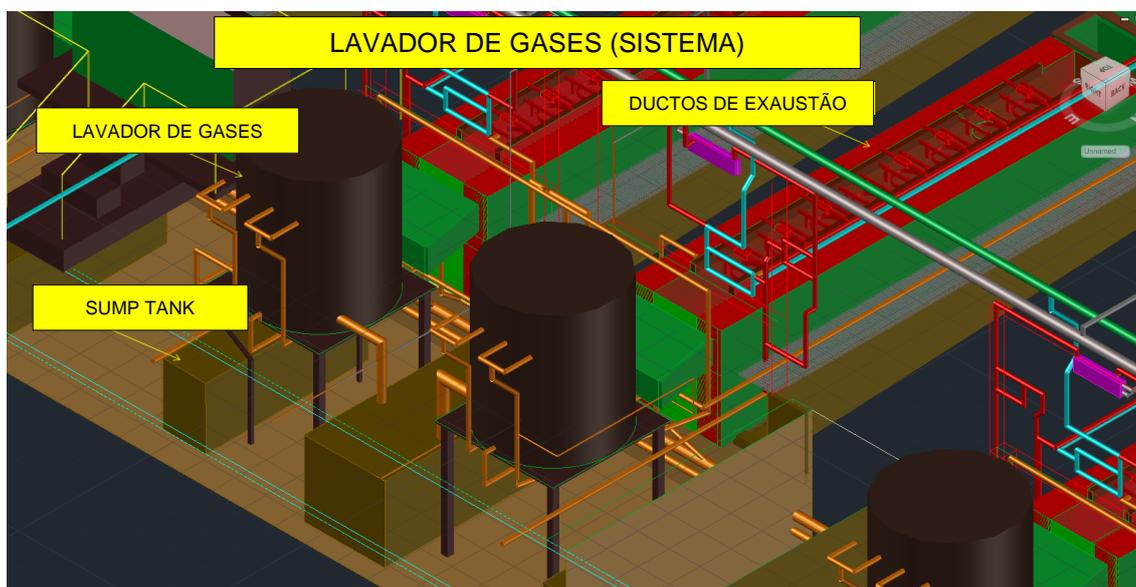
Nesse sentido, 100% da água destilada no evaporador à vácuo deixa de ser um efluente e passa a ser uma água de reuso para o próprio processo em que ela é gerada. Esse montante, calculado através da equação 3, representa 32% de redução da água demandada no processo.

5.4.4 Lavador de gases (sistema)

Os lavadores de gases são parte de um fluxo auxiliar à cromagem de anéis, cuja principal função é reduzir as emissões atmosféricas dos gases, produzidos durante a cromação e oriundos da própria evaporação do banho de cromo.

A Figura 14 ilustra o sistema lavador de gases, que é composto por ductos de exaustão, um lavador de gases e um tanque de concentração - *sump tank*.

Figura 14 – Representação do fluxo de processo da cromação, denominado “Lavador de gases (sistema)”, gerado no software Autocad® Mechanical 2018. Fonte: Autoria própria (2020)



Os *sump tanks* enviam parte do efluente à ETE, através da abertura de válvulas solenoides, eletronicamente controladas para se abrirem por 30s a cada duas horas. Esse volume enviado à ETE foi medido sendo, em média, de 35L. O tempo de abertura da válvula foi determinado pela equipe de engenharia, baseado no ciclo de concentração do efluente, que não deve ultrapassar 1,5% m/v de cromo.

Conforme o efluente é enviado à ETE, o sistema demanda um abastecimento de água, para manter o volume de trabalho. Esse abastecimento vem do efluente gerado nos tanques de enxágue do próprio tanque de cromação, cascadeado para o *sump tank*, já descritos neste trabalho no fluxo auxiliar “Manutenção dos tanques de espera”.

Uma vez ao ano, o sistema é esvaziado para limpeza e manutenções, o efluente correspondente ao volume total do sistema é então enviado à ETE, o que representa aproximadamente 5.000 litros por tanque de cromação.

A demanda de água no fluxo dos lavadores de gases se dá em duas etapas do fluxo:

- Durante o abastecimento do *sump tank*, devido ao envio de efluente à ETE;
- Montagem de um banho novo de água limpa, quando realizado a limpeza total do sistema.

A geração de efluente líquido, nesse fluxo se dá em dois momentos:

- Durante os envios periódicos, controlados eletronicamente;
- Quando necessário realizar a limpeza total do sistema.

Durante a avaliação conceitual do processo, foi possível sugerir uma alternativa quanto ao reúso do efluente, gerado na etapa de descarte à ETE, desde que esse efluente seja tratado, antes do reúso.

A sugestão para o reúso do efluente, baseia-se em interligar os *sump tanks*, em uso, a um tanque reservatório, em seguida, forçar a passagem do efluente por um processo de simples ou dupla descontaminação por resinas de troca iônica.

Na primeira etapa do processo os cátions como ferro, cobre e alumínio seriam retidos por uma resina catiônica. Os metais retidos na resina catiônica podem ser descartados para a ETE através de purgas.

A segunda etapa torna-se opcional, caso aplicada, uma resina com polaridade contrária à primeira retém ânions, como o próprio cromo. O cromo, aderido à resina, é descartado na forma de efluente purgado, enquanto o efluente tratado assume características qualitativas, suficientemente aceitáveis, para alimentar o sistema do lavador de gases.

Caso a opção seja não utilizar a segunda resina, o efluente, contendo água e cromo, pode ser reutilizado para completar os níveis dos banhos de cromagem.

Estima-se, através da equação 3, que, implantando essas ações, a redução na demanda de água nesse fluxo de processo seja de 80% acompanhado da mesma redução na geração de efluente líquido.

5.4.5 Potenciais a serem alcançados com propostas de conservação e reúso de água

A tabela 7 reúne os dados já apresentados, na matriz hídrica gerada no presente estudo (item 5.3), além de consolidar as estimativas potenciais de redução supracitadas (item 5.4).

Tabela 7 – Média da demanda de água e da geração de efluentes no setor da cromação atual e estimativa de redução aplicando as propostas de conservação de água identificadas. Fonte: Autoria própria (2020)

Pacotes de trabalho	Processo atual		Processo proposto		Redução estimada (%)
	Demanda de água (m ³ /dia)	Geração de efluente (m ³ /dia)	Demanda de água (m ³ /dia)	Geração de efluente (m ³ /dia)	
Desmontagem de anéis (linha)	21,70	17,30	13,00	10,40	40%
Manutenção dos tanques de espera	10,90	8,20	3,30	2,50	70%
Regeneração dos banhos de cromagem	9,20	9,00	6,30	6,10	32%
Lavador de gases (sistema)	7,10	5,00	1,40	1,00	80%
Ativação ácida (linha)	2,40	1,90	2,40	1,90	---
Jateamento abrasivo (linha)	1,80	1,60	1,80	1,60	---
Lavagem dos anodos de cromagem (linha)	1,10	0,80	1,10	0,80	---
Desengraxe de anéis	0,10	0,06	0,10	0,06	---
Total	54,30	43,86	29,40	24,36	45%

Nos pacotes de trabalho, linha de desmontagem de anéis e operação de manutenção dos tanques de espera, o potencial de redução para demanda de água e volume de efluente gerado chega à 50%, 16,33m³/dia para demanda de água e 12,66m³/dia de volume de efluente.

Já nos fluxos de regeneração dos banhos de cromagem e no sistema dos lavadores de gases, o potencial de redução, baseado no reúso do efluente, é de até 8,62m³/dia para demanda de água e 6,88m³/dia para volume de efluente gerado.

Com a implementação de todas as ações sugeridas, estima-se que cerca de 45% da demanda de água e da geração de efluentes podem ser reduzidos no setor da cromação de anéis da Empresa X, o que totaliza uma redução de 24,90m³/dia na demanda de água e 19,50m³ no volume de efluente gerado.

5.5 Plano de monitoramento hídrico da cromação

A implantação das ações, identificadas como oportunidades potenciais em um PCRA, por si só não garante que os resultados permaneçam eficazes ao longo do tempo. É preciso manter uma gestão interativa, com atualização constante dos dados, para que seja possível mensurar os progressos obtidos e o cumprimento de metas pré-estabelecidas (FIESP, 2004).

A fim de garantir o desdobramento eficaz da ferramenta, foi criado, a partir dos dados deste trabalho, um plano de monitoramento hídrico da demanda de água e do volume de efluentes gerados dentro do setor de cromação de anéis da planta fabril, que constitui-se dos seguintes itens:

- Planilha de registro da demanda de água e volume de efluentes gerados nos 8 pontos estudados no PCRA;
- Indicadores de performance do custo específico da água demandada, por anel produzido e custo específico do tratamento de efluente, por anel produzido;
- Treinamento da mão de obra, direta e indiretamente envolvida nas operações do setor de cromação, promovendo a mudança comportamental através do incentivo para sugerir ideias de racionalização da água, em programas internos de melhoria contínua;
- Criação de um plano de reação frente às intercorrências identificadas para intervenções imediatas;
- Definição de um gestor para o plano de monitoramento, o qual será responsável por gerar os indicadores, avaliar e acompanhar os planos de ações e promover o engajamento da mão de obra, envolvida nas operações, frente às metas.

5.5.1 Indicadores de *performance* - custo específico

O presente trabalho teve início em 2018, enquanto o período de coleta de dados, por meio das medições, ocorreu entre os meses de junho e dezembro de 2019.

Dentre as oportunidades mapeadas neste estudo (item 5.4), duas ações foram implementadas logo após o término das medições, em janeiro de 2020, sendo elas:

- Implementar um sensor de presença de carga no tanque de enxágue, da linha de desmontagem (item 5.4.1).
- Reutilizar o efluente gerado na operação de Evaporação, durante o processo de regeneração dos banhos de cromo (item 5.4.3).

O mês de dezembro é, naturalmente, atípico para o setor de autopeças, consequência de férias coletivas, queda considerável na demanda de produção e, no caso específico do processo galvânico, descarte de banhos para limpeza e manutenção dos tanques. Por esse motivo, dezembro de 2019 foi considerado um *outlier*, não fazendo parte das médias mensais analisadas nesse trabalho.

Os resultados, dos meses de abril e maio de 2020, foram acometidos pelas intercorrências advindas da pandemia do *Covid-19*, paralização total da fábrica por 21 dias, além do congelamento de pedidos em vários seguimentos da indústria, por esse motivo também foram desconsiderados da análise de *performance* do presente trabalho.

A fim de proteger os dados da Empresa X, os valores, utilizados para alimentar os gráficos, foram relativizados ao maior custo médio encontrado no período, ou seja, o comportamento da curva, observada no gráfico, reflete a realidade estudada no setor da cromação de anéis.

A Figura 15 apresenta o custo mensal, relativo, despendido com a água demandada por anel produzido. Enquanto as Figuras 16 e 17 exibem as análises estatísticas, sobre o comportamento das médias mensais dos custos da água demandada, por anel produzido, nos períodos que antecedem o projeto, durante o período das medições e após a implementação das duas ações.

Figura 15 – Indicador de performance: Custo água peça mensal, relativo, referente a demanda de água por anel produzido na Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020)

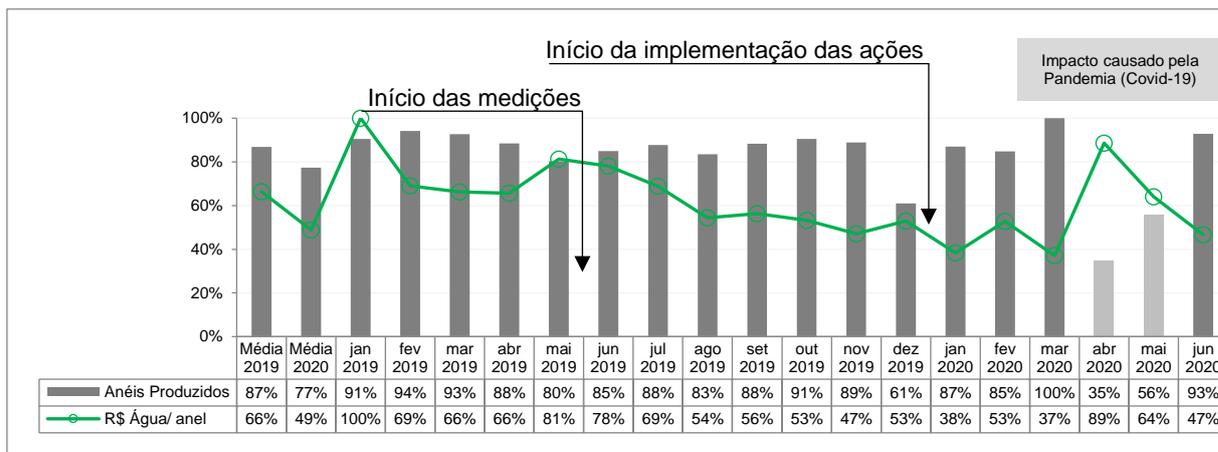


Figura 16 – Análise estatística: Boxplot do Custo água peça mensal, relativo aos 3 períodos temporais do projeto, gerado no software Minitab Statistical® 18. Fonte: Autoria própria (2020)

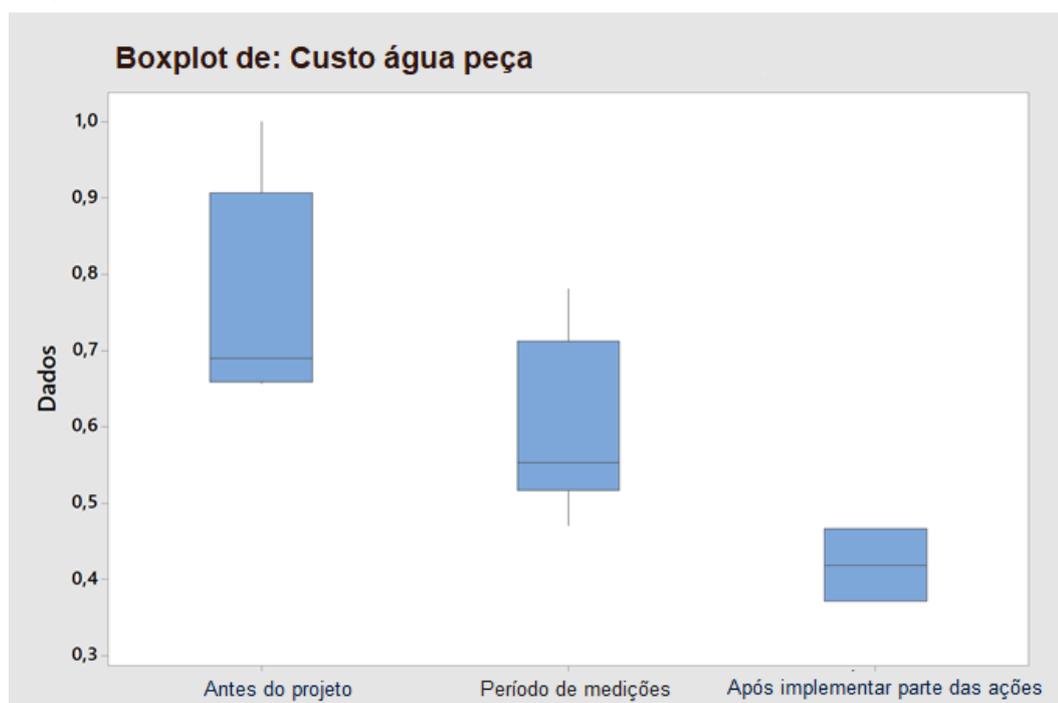
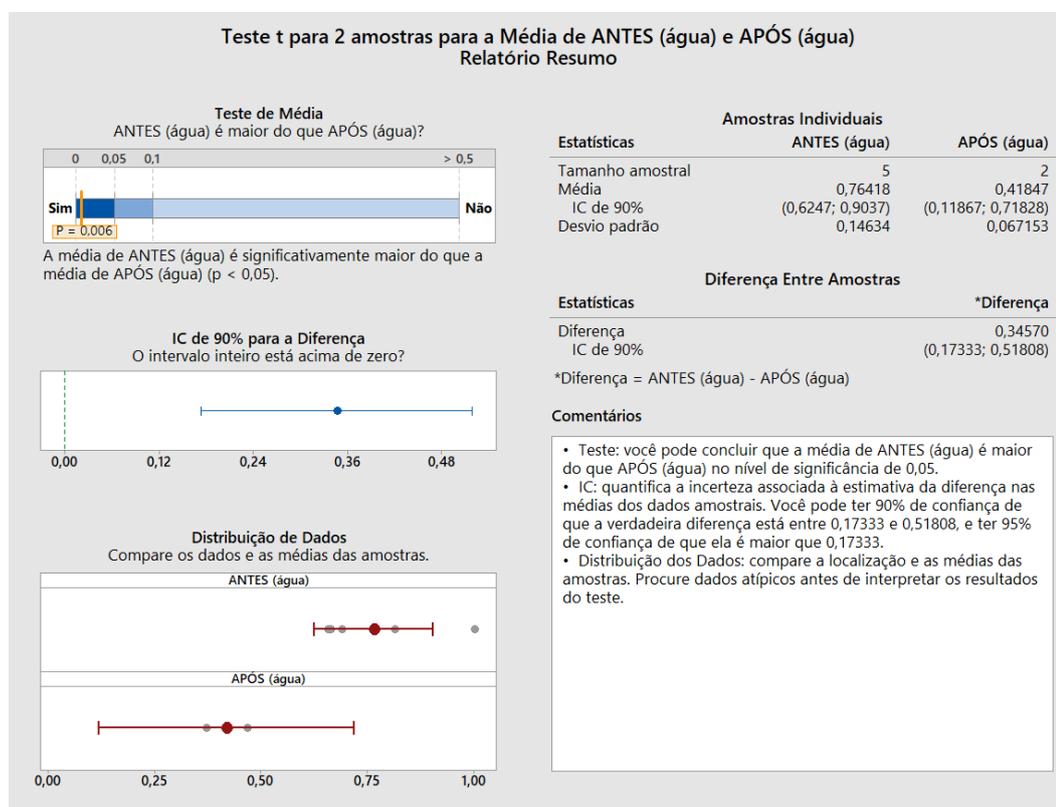


Figura 17 – Análise estatística: Teste t para 2 amostras da média do Custo água peça mensal, dos meses de 2019 que antecederam o início das medições, comparado à média nos meses de 2020, gerado no software Minitab Statistical® 18. Fonte: Autoria própria



O processo de coleta de dados caminhou junto ao trabalho de conscientização da gestão e colaboradores envolvidos direta e indiretamente no projeto.

Fica evidente na Figura 15 que, a informação e capacitação promovida durante o estudo, alavancou mudanças nos modos operantes da cromação, convertida na redução da demanda de água por anel produzido, mês a mês.

Estatisticamente, é possível afirmar que a média dos valores de custo anel peça, dos meses de 2019 que antecederam o projeto é maior que a média dos valores encontrados nos meses de 2020, ou seja, houve uma redução real na quantidade de água demandada no setor de cromação, para produzir a mesma quantidade de anéis.

Perdas involuntárias foram identificadas e, rapidamente, solucionadas em cada operação e, com a implementação das duas ações de conservação e reúso de água, foi possível alcançar, em março 2020, uma queda de 39 pontos percentuais, em relação à média dos meses de 2019 que antecederam a coleta de dados. Esse valor representa, na prática, 51% de redução no custo de água demandada por anel produzido neste mês e, em volume de água, a redução é de 27,69m³/dia, frente aos 54,30m³/dia de água demandada, em média, na cromação (item 5.3).

A Figura 18 retrata a evolução do custo mensal, relativo, com tratamento de efluentes, por anel produzido. Já as Figuras 19 e 20 mostram as análises estatísticas, sobre o comportamento das médias mensais dos custos com tratamento de efluentes, por anel produzido, nos períodos que antecedem o projeto, durante o período das medições e após a implementação das duas ações.

Figura 18 – Indicador de performance: Custo efluente peça mensal, relativo, referente ao custo com tratamento de efluentes, por anel produzido na Empresa X. Fonte: Autoria própria (2020)

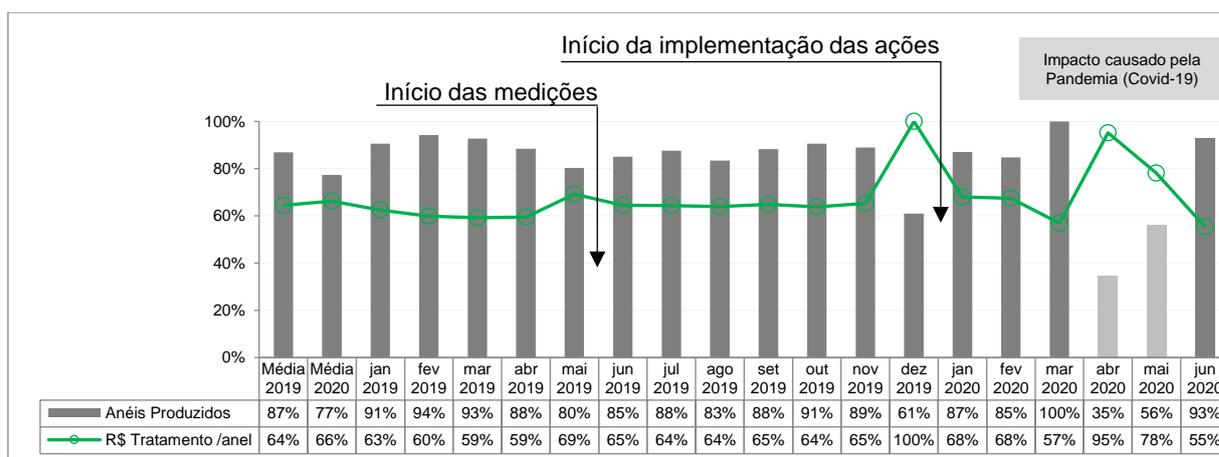


Figura 19 – Análise estatística: Boxplot do Custo efluente peça mensal, relativo aos 3 períodos temporais do projeto, gerado no software Minitab Statistical® 18. Fonte: Autoria própria (2020)

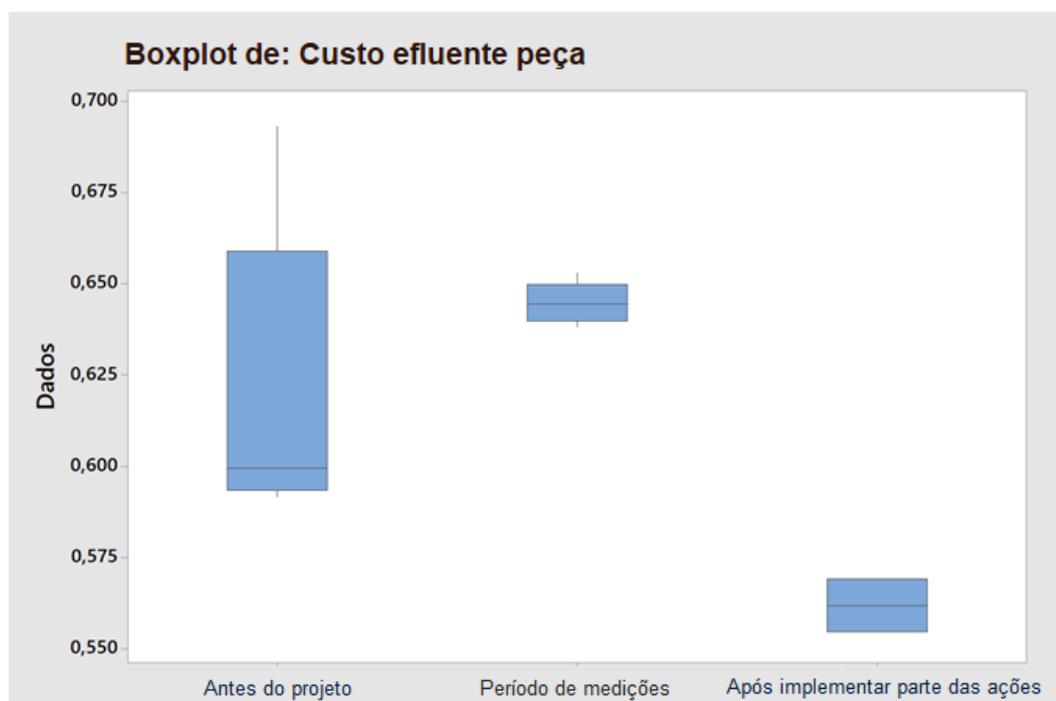
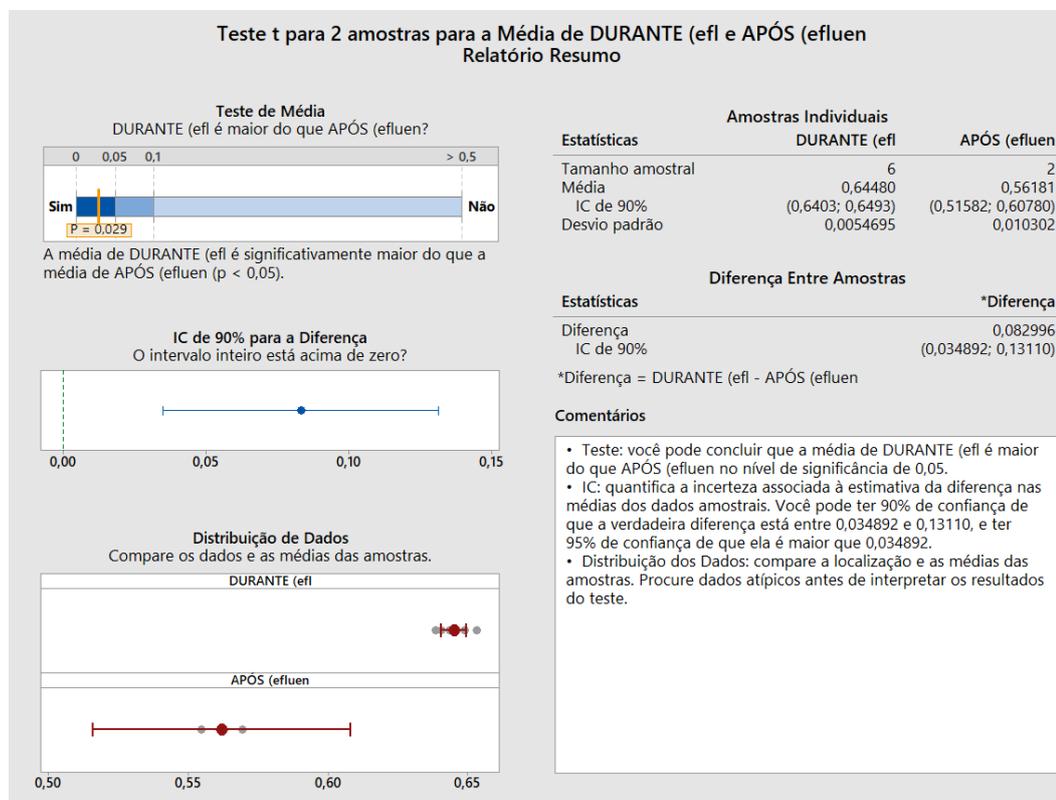


Figura 20 – Análise estatística: Teste t para 2 amostras da média do Custo efluente peça mensal, dos meses em que foram realizadas as medições, comparado à média nos meses de 2020, gerado no software Minitab Statistical® 18. Fonte: Autoria própria



Diferente do que é visto na Figura 15, a Figura 18 retrata que, durante o período de medições *in loco*, que ocorreu de junho a dezembro de 2019, o custo mensal, relativo, com tratamento de efluentes por anel produzido, se manteve estável, variando apenas 1 ponto percentual ao longo do período.

À medida que as duas ações de conservação de água foram implementadas, foi possível identificar, pontualmente, nos meses de março e junho de 2020, uma queda significativa no custo de tratamento de efluentes por anel produzido, decorrente da redução de envios de efluentes à ETE.

Nesses meses, o custo com tratamento de efluentes por anel produzido ficou, em média, 8 pontos percentuais menor que a média encontrada durante os meses de levantamento de dados, representando, na prática, 13% de redução no custo com tratamento de efluentes por anel produzido e, em volume, 5,70m³/dia, frente aos 43,86m³/dia de efluentes gerados, em média, pela cromação (item 5.3).

A queda no volume de efluente tratado não acompanhou a mesma proporção da água demandada pelos processos. Isso se deve ao fato de que a ETE recebe efluentes de outros processos fabris além da cromação, de maneira não segregada,

não sendo possível separar a contribuição real de cada operação, como foi feita com a água de entrada.

Entretanto, estatisticamente pode-se concluir que a média dos custos com tratamento de efluentes por anel produzido, nos meses que antecederam a implementação das duas ações, é superior aos meses de 2020, demonstrando que houve redução real na quantidade de efluente gerado, para produzir a mesma quantidade de anéis.

5.6 Análise de viabilidade econômica

Os resultados alcançados, no mês de março de 2020, a partir da implementação das duas ações do PCRA (item 5.5.1), mostraram a redução de 27,69m³/dia em água demandada na cromação.

Adotando a tarifa média da COPASA, para categoria industrial, de R\$12,28/m³ de água (ARSAE-MG, 2019), considerando que, em média, os meses possuem 23 dias trabalhados, ao plicar a equação 9, pode-se afirmar que no mês de março de 2020, a redução de 27,69m³/dia proporcionou uma economia de R\$7.820,76.

Caso esse resultado se mantenha ao longo dos 265 dias úteis do ano, aplicando-se a equação 9, pode-se estimar que, o presente projeto, apenas contando com as duas ações já implementadas, tem o potencial de economizar R\$90.108,80/ano com a diminuição da demanda de água.

A Figura 21 traz a tabela tarifária aplicada pela COPASA, adaptada do site da Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais - ARSAE-MG.

Figura 21 – Tabela tarifária da COPASA-MG, adaptada do site da Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais - ARSAE-MG. Fonte: (ARSAE-MG, 2019)

TABELA TARIFÁRIA DE APLICAÇÃO - COPASA					
Categorias	Faixas	ÁGUA	EDC	EDT	Unidade
Industrial	Fixa	26,22	8,33	25,51	R\$/mês
	0 a 5 m ³	3,38	1,01	3,31	R\$/m ³
	> 5 a 10 m ³	4,431	1,347	4,335	R\$/m ³
	> 10 a 20 m ³	8,929	2,823	8,694	R\$/m ³
	> 20 a 40 m ³	10,232	3,233	9,962	R\$/m ³
	> 40 a 200 m ³	11,089	3,484	10,804	R\$/m ³
	> 200 m ³	12,280	3,840	11,974	R\$/m ³

Em relação ao custo com tratamento de efluentes, a Empresa X informou que o custo médio de seu tratamento do efluente, em 2019, foi de aproximadamente R\$75/m³, ou seja, a redução alcançada no mês de março de 2020, de 5,70m³/dia, em volume de efluente gerado, propiciou uma economia de R\$9.832,50, aplicando a equação 10 para 23 dias trabalhados no mês.

Caso esse resultado se mantenha ao longo dos 265 dias de trabalho no ano, apenas com as duas ações implementadas, o projeto tem o potencial de economizar R\$113.287,50/ano, oriundos da redução no volume de efluente gerado.

Somando as economias oriundas da demanda de água e do volume de efluentes gerados, a projeção para um ano de trabalho, apenas com as duas melhorias implantadas, é de R\$203.393,30.

Projetando-se os ganhos, ao executar todo o plano de ações do PCRA, foi estimado que cerca de 45% da água demandada e do volume de efluente gerado sejam reduzidos (item 5.4). Aplicando as equações 9 e 10, para um período de 265 dias trabalhados, a estimativa de redução esperada no ano é de R\$471.789,26.

Para a implementação das duas ações propostas no PCRA, foi necessário investir um valor de R\$9.325,75, referente à compra de 01 sensor de presença de carga, tubulações de PVC para as manobras e 03 medidores de vazão.

Realizando o cálculo de *payback*, através da equação 11, fica evidente que o valor investido nas melhorias, retornou à empresa em menos de 01 mês, ou seja, foram ações de baixo investimento e retorno rápido.

A tabela 8 traz os resultados compilados do presente trabalho, mostrando os ganhos efetivos no mês de março de 2020 e as estimativas de ganhos anuais. Além disso é demonstrado o valor de *payback* para cada um dos resultados do projeto.

Tabela 8 – Ganhos monetários efetivos, estimados e análise de *payback*, referente à implementação das ações do PCRA. Fonte: Autoria própria (2020)

Resultados do Projeto	Ganhos efetivos (R\$)	Estimativa de ganho (R\$)	Análise de <i>Payback</i> (anos)
Alcançado em março de 2020	17.653,26	-	-
Estimativa anual, com apenas duas ações implementadas	-	203.396,30	0,05
Estimativa anual, com todas ações implementadas	-	471.789,26	0,02

6 CONCLUSÕES

A metodologia seguida neste trabalho permitiu mapear o potencial de conservação de água e criar um PCRA para o setor galvânico de cromação de anéis de uma indústria de autopeças.

Baseando-se nos dados qualitativos e quantitativos coletados no estudo hídrico realizado, e compreendendo o funcionamento e restrições do processo produtivo, foi possível propor alternativas de uso racional da água e reúso do efluente gerado em quatro fluxos de processo do setor de cromação, as quais representam 90% da demanda de água do setor.

Em dois fluxos de processo, linha de desmontagem de anéis e operação de manutenção dos tanques de espera, aplicando soluções de baixo custo, foi possível sugerir ações com potencial de reduzir diretamente a demanda de água e volume de efluente gerado em 50%, 16,33m³/dia para demanda de água e 12,66m³/dia de volume de efluente.

Em outros dois fluxos, regeneração dos banhos de cromo e no sistema de lavador de gases, foram identificadas oportunidades de reúso do efluente gerado. Enquanto no primeiro, parte do efluente gerado pode ser reutilizado diretamente na operação, sem necessidade de tratamento, no segundo é preciso aplicar um método para tratamento do efluente antes do reúso, o que pode proporcionar a redução de água e efluente gerado em 32% no primeiro fluxo e 80 % no segundo, 8,62m³/dia para demanda de água e 6,88m³/dia de volume de efluente.

Os ganhos efetivos em março de 2020, alcançados a partir da execução de duas ações propostas no PCRA, totalizaram R\$ 17.653,26 no mês, oriundos da redução de 27,69m³/dia na demanda de água (51%) e 5,70m³/dia na geração de efluentes (13%).

Com a implementação de todas as ações sugeridas, estima-se uma redução na ordem de 45% na demanda de água e no volume de efluentes gerados para o setor da cromação de anéis da Empresa X. Essas projeções totalizam uma redução de 24,90m³/dia na demanda de água e 19,50m³ no volume de efluente gerado, com expectativa de economizar aproximadamente R\$470.000/ano.

A falta de um programa de conservação e reúso de água na indústria, associado à deficiência de controle e registros das vazões de entradas e saídas de água e efluentes, dificulta a gestão da água na planta galvânica.

A implantação de programas de conservação de água, através do reúso e da redução de desperdícios, como o proposto nesse trabalho, é fundamental para o setor industrial coexistir em tempos de eventos hidrológicos de escassez hídrica, associado às crescentes exigências sociais e ambientais para o uso consciente da água, uma vez que minimizam impactos ambientais além melhorar os resultados financeiros do negócio.

6.1 Recomendações para trabalhos futuros

A aquisição de dados, utilizado no presente trabalho, foi realizado de forma manual. A fim de melhorar a confiabilidade dos dados e garantir o monitoramento, em tempo real, do funcionamento dos equipamentos, será sugerido à Empresa X a instalação de um sistema, com medidores de vazão capazes de realizar aquisições de dados de forma automática.

Esse sistema pode ser interligado à supervisórios, com interfaces de comunicação, ilustrando de forma visual as metas e resultados alcançados, melhorando a confiabilidade, compreensão e atuação da equipe.

Além dos hidrômetros, seria importante instalar medidores de vazão na ETE, a fim de monitorar e quantificar as vazões recebidas de forma segregada, por operações. Isso mitigaria divergências no balanço hídrico, entre o a entrada de água em um processo e a geração de efluente.

Outra sugestão para trabalhos futuros é estudar a viabilidade de se utilizar fontes alternativas para abastecimento de água, como coleta de água de chuva.

REFERÊNCIAS

ALKAYA, E.; DEMIRER, G.N. Water recycling and reuse in soft drink/beverage industry: A case study for sustainable industrial water management in Turkey. Resources, Conservation and Recycling, Turkey, Volume 104, Part A, Pages 172-180. November 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344915300719>>. Acesso em 10/09/2020

ALVES, Sebastião Sampaio. Conservação e reúso de água em indústria de cosméticos: estudo de caso da Natura Cosméticos. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2009. doi:10.11606/D.3.2009.tde-05082009-115605. Acesso em: 28/07/2020.

ANA. Conjunturas dos Recursos Hídricos no Brasil: Relatório Pleno. Brasília (DF), 2017. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-deconteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017_rel-1.pdf. Acesso em: 10/06/2019

ANA. Conjunturas dos Recursos Hídricos no Brasil: Relatório Pleno. Brasília (DF), 2018. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf> Acesso em: 12/06/2019

ARSAE-MG - Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE – MG). Disponível em: <http://www.arsae.mg.gov.br/politica-de-privacidade/page/262-tarifas-copasa>. Acesso em: 10/08/2020.

BAUM, Daniel. Reúso de água na indústria química - estudo de caso de uma unidade produtiva de nitrocelulose. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2011. doi:10.11606/D.3.2011.tde-09032012-145822. Acesso em: 28/07/2020.

CAMERINI, M. S. N. JCNET. Dr. Automóvel: Os anéis de Pistão, 2009. Disponível em: <https://www.jcnet.com.br/auto_mercado/2009/07/601466-dr--automovel--os-aneis-do-pistao.html>. Acesso em: 22/06/2019.

CIRILO, J. A. Crise hídrica: desafios e superação, São Paulo: USP, n.106, p. 45-58, julho/agosto/setembro. 2015.

CNI. O uso racional da água no setor industrial. Confederação Nacional da Indústria, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. – 2. ed. Brasília: CNI, 2017. Disponível em: https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/c4/00/c40055d6-95e7-4044-a151-611a840e483e/o_uso_racional_da_agua_no_setor_industrial_2017.pdf. Acesso em: 20/06/2019.

EL-SALAM, M.M; EL-NAGGAR, H. M. In-plant control for water minimization and wastewater reuse: a case study in pasta plants of Alexandria Flour Mills and Bakeries Company, Egypt, Journal of Cleaner Production, Egypt, Volume 18, Issue 14, Pages 1403-1412. September 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652610001794>> Acesso em: 10/09/2020

FIESP. Conservação e reúso de água. Manual de orientações para o setor industrial, Volume 1. São Paulo, SP, 2004. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-e-reuso-da-agua-2004/>>. Acesso em: 05/10/2019.

FIRJAN. Manual de Conservação e Reúso de água na Indústria. 1ª Edição. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<https://www2.cead.ufv.br/sgal/files/apoio/saibaMais/saibaMais4.pdf>>. Acesso em: 22/06/2019.

FOLDES, P. A. Galvanotécnica Prática II. São Paulo: Polígono, 1974.

KLIMES, Lubomir. et al, Dry cooling as a way toward minimisation of water consumption in the steel industry: A case study for continuous steel casting. Journal of Cleaner Production, Czech Republic, Volume 275, 123109. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620331541#sec6>> Acesso em: 13/09/2020.

MATSUMURA, Erika Myho. Perspectivas para conservação e reúso de água na indústria de alimentos - estudo de uma unidade de processamento de frangos. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2007. doi:10.11606/D.3.2007.tde-04072007-125053. Acesso em: 28/07/2020.

MIERZWA, José Carlos. O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria estudo de caso da Kodak Brasileira. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. doi:10.11606/T.3.2002.tde-14112002-203535. Acesso em: 29/07/2020.

MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I. Água na indústria – uso racional e reúso. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 144p.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA, I. C. E. E. S. Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços, 2019. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/setor-automotivo>>. Acesso em: 10/10/2019.

NEWBY, K. R. Functional chromium plating. Trans. Inst. Metal Finishing, v. 98, n. 1, p. 223-233. 2000.

OLIVIER, S. Avaliação dos impactos ambientais gerados pela produção de resíduos industriais do ramo metalúrgico: recuperação e reciclagem. 2006. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

PACHECO, C.E.M. (2002) Compilação de técnicas de prevenção à poluição para a indústria de galvanoplastia: projeto piloto de prevenção à poluição em indústrias de bijuterias no município de Limeira. São Paulo: CETESB. Disponível em: <http://www.cetesb.br>. Acesso em: 30/08/2019.

PICCILLI, Marcos Rolando. Otimização do processo de nitretação gasosa na redução de trincas em anéis de pistão para motores de combustão interna. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.

RIOSULENSE. Reposição Automotiva. Anéis de Pistão, 2020. Disponível em: <https://www.riosulense.com.br/reposicao-automotiva/aneis-de-pistao/>. Acesso em: 15/03/2020

SANTOS, Mauro C. et al . Estudos da eletrodeposição de metais em regime de subtensão. Quím. Nova, São Paulo , v. 23, n. 3, p. 392-400, June 2000 . Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422000000300017&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 11/07/2019.

SARRO, F. B. Uso da água na industria de galvanoplastia visando atender critérios conservacionistas. Estudo de Caso: Protesuper, São Paulo, São Paulo, 2007. 1-79.

SNYDER, D. L. Decorative chromium plating. Trans. Inst. Metal Finishing, v. 98, p. 215-222. 2000

WEBER, Cristiano Corrêa; CYBIS, Luiz Fernando; BEAL, Lademir Luiz. Conservação da água aplicada a uma indústria de papelão ondulado. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 15, n. 3, p. 291-300, Sept. 2010 . Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522010000300013&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 01/09/2020.