

REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA ATRAVÉS DE PROPOSIÇÕES DE PRÁTICAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA PARA INDÚSTRIA DE GALVANIZAÇÃO

DOI: 10.19177/rgsa.v9e22020566-581

Maria Eliana Camargo Ferreira¹
Hugo Eiji Imai²
Luciana Cristina Soto Herek Rezende³
Isabele Picada Emanuelli⁴
Natália Ueda Yamaguchi⁵

RESUMO

A galvanização é considerada uma das mais importantes alternativas de proteção contra corrosão para o aço, porém as tecnologias e os processos utilizados em operações de acabamento de peças metálicas e operações de enxágue são fontes de poluição ambiental. O objetivo do presente trabalho foi realizar um estudo de caso para avaliar o processo produtivo de uma indústria de galvanização e estabelecer práticas de PML mediante propostas de inovação incremental sustentável nas diferentes etapas da produção. Para tanto, associou ao estudo de caso uma pesquisa de campo exploratória, em um processo de galvanização de uma indústria de ferragens destinadas à telefonia e distribuição elétrica na cidade de Mandaguari-PR, visando realizar observações sistemáticas dos processos produtivos, coleta de dados, caracterização quali-quantitativa dos efluentes gerados, e finalmente a elaboração das propostas de práticas de PML. Nas análises da produção verificou-se que os resíduos líquidos diluídos eram descartados periodicamente, e proviam das águas de lavagem das peças, e apresentavam característica com alto teor de metais, principalmente zinco e chumbo, sendo extremamente ácida. Medidas de PML visando reduzir o consumo de água de enxágue e a geração de resíduos perigosos foram propostas. Desta forma, a redução, reutilização e recuperação da água na indústria de galvanização poderão contribuir na redução da quantidade total de resíduos, emissões e toxicidade de resíduos e como consequência, contribuindo para a circularidade da economia neste setor.

Palavras-chave: Metais pesados. Tecnologias limpas. Tratamento de efluentes. Zinco.

¹ Mestranda no Programa de Pós Graduação em Tecnologias Limpas (PPGTL- Unicesumar). E-mail: Camargo_ferreira@hotmail.com

² Mestranda no Programa de Pós Graduação em Tecnologias Limpas (PPGTL- Unicesumar). E-mail: eng.hugoimai@gmail.com

³ Graduada em Química pela Universidade Estadual de Maringá (2000) com doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2009) Doutorado em Engenharia Mecânica (2017) na área de Materiais. Atualmente é professora do Centro Universitário de Maringá (UNICESUMAR) do Programa de Pós Graduação em Tecnologias Limpas e dos cursos de Engenharia Civil, Elétrica e Mecânica. Atua como pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação. Pós doutorado em Engenharia Mecânica (2017). Professora do Centro Universitário de Maringá (UNICESUMAR) do Programa de Pós Graduação em Tecnologias Limpas. E-mail: Luciana.rezende@unicesumar.edu.br

⁴ Medicina Veterinária em 2002 pela Universidade Federal de Santa Maria. Doutora em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de São Paulo (UNESP) em Botucatu/SP no ano de 2013. Professora Titular do Programa de Mestrado em Tecnologias Limpas e no Mestrado de Ciências, Tecnologias e Segurança Alimentar da UniCesumar. E-mail: isabele.emanuelli@unicesumar.edu.br

⁵ Graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2011), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2013) e doutorado em Engenharia Química na Universidade Estadual de Maringá e Université Laval (Québec, QC, Canadá, doutorado sanduíche/2015) e atualmente é professora do Centro Universitário de Maringá (UNICESUMAR). E-mail: nataliaueda@hotmail.com

WATER CONSUMPTION REDUCTION THROUGH PRACTICES OF CLEANER PRODUCTION FOR A GALVANIZATION INDUSTRY

ABSTRACT

Galvanization is considered one of the most important corrosion protection alternatives for steel, but the technologies and processes used in metal parts finishing and rinsing operations are sources of environmental pollution. The objective of the present work was to conduct a case study to evaluate the production process of a galvanizing industry and to establish cleaner production (CP) practices through proposals for sustainable incremental innovation in different stages of production. For this, associated to the case study, an exploratory field research, in a galvanization process of a ironmongery industry intended for telephony and electrical distribution in the city of Mandaguari-PR, aiming to make systematic observations of the production processes, data collection, characterization quali-quantitative analysis of the generated effluents, and finally the elaboration of the proposals of CP practices. In the analysis of the production it was verified that the diluted liquid residues were periodically discarded, they came from the washing waters of the pieces, and presented characteristic with high content of metals, mainly zinc and lead, being extremely acidic. CP measures to reduce rinse water consumption and hazardous waste generation have been proposed. Thus, the reduction, reuse and recovery of water in the galvanization industry may contribute to the reduction of the total amount of waste, emissions and waste toxicity and, consequently, contributing to the economy circularity in this sector.

Keywords: Clean technologies. Heavy metals. Wastewater treatment. Zinc.

1 INTRODUÇÃO

As indústrias são responsáveis por uma série de impactos ambientais relacionados com a forma de produção, a obtenção das matérias-primas e dos insumos utilizados. Algumas atividades industriais podem ter impactos maiores ao ambiente, dependendo do processo industrial utilizado. Por consequência, o ambiente é alterado, muitas vezes de forma irreversível, tendo em vista a exploração, o beneficiamento e o potencial esgotamento de recursos naturais, sobretudo, não renováveis (BÓ; POSTAI; MUNARI, 2018).

Um setor que possui baixo desempenho ambiental interferindo na sustentabilidade produtiva é o de galvanização. O processo típico de galvanização foi desenvolvido há mais de 100 anos sendo considerado uma das mais importantes alternativas de proteção contra corrosão para o aço (SHIBLI; MEENA; REMYA, 2015). Este processo de revestimento metálico pode ser aplicado em peças metálicas ou plásticas com o objetivo de proteção contra oxidação, resistência à corrosão, maior durabilidade, aspectos decorativos, entre outros. No entanto, essa tecnologia ainda possui um desenho industrial pouco sustentável (SHIBLI; MEENA; REMYA, 2015).

O processo de galvanização por imersão a quente envolve basicamente uma sequência de banhos entre cada uma das etapas: pré-tratamento (acabamento mecânico, desengraxe, decapagem), de revestimento (fluxo, zincagem) e de conversão de superfície (passivação) (PIETRELLI; FERRO; VOCCIANTE, 2018). Estas etapas de enxágue, são as principais fontes de poluição ambiental, pois emitem grande volume de efluentes, resíduos sólidos e emissões gasosas, todos com considerável grau de toxicidade (CPMA, 2001). Essa problemática indica que o principal desafio do setor é desenvolver inovação incremental no processo produtivo que visem a sustentabilidade ambiental na prática competitiva.

Dentro dos processos produtivos, a percepção das partes interessadas (seus *stakeholders*, consumidores e governantes) é um dos fatores que induzem as organizações a elevarem seus cuidados com o ambiente. Essa estratégia não apenas torna a imagem da organização melhor, mas também converte em lucro e competitiva

(MOSCA; TAMBORRINI; CASALEGNO, 2015). A capacidade de competir no mercado começa exatamente na iniciativa de tornar os produtos, serviços e processos mais limpos, com inovações nos produtos com qualidade e sustentabilidade fazendo da gestão ambiental a resposta natural das empresas ao novo cliente, o consumidor verde (TACHIZAWA, 2011).

O comportamento proativo das organizações frente às questões ambientais está ligado ao conceito do desenvolvimento sustentável, no qual a ideia central parte do princípio de responder as necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras em satisfazer as suas necessidades. O conceito de desenvolvimento sustentável refere-se à produção de bens, serviços e consumo de matéria prima, sem afetar o equilíbrio ecológico e contribuindo para a igualdade social (SANTOS et al., 2012). A transição para o desenvolvimento sustentável está diretamente relacionada com a gestão socioambiental podendo resultar em inúmeras vantagens: como ganhos ambientais, econômicos e sociais (MONTIBELLER FILHO, GILBERTO PHILIPPI JUNIOR, 2007).

O gerenciamento socioambiental deve estar interligado com as inovações tecnológicas incrementais visando o aprimoramento das linhas de produção de forma a minimizar e prevenir impactos ambientais e, simultaneamente, reduzir custos produtivos, além de redução de acidentes de trabalho, gerando uma melhoria da imagem do empreendimento pelo reconhecimento do mercado e da sociedade (MONTIBELLER FILHO; GILBERTO PHILIPPI JUNIOR, 2007; MOSCA; TAMBORRINI; CASALEGNO, 2015).

Kong e White (2010) propuseram uma PML como um caminho possível para reduzir os impactos ambientais negativos da galvanização por imersão a quente e realizar metas de desenvolvimento sustentável. A PML é uma estratégia ambiental preventiva aplicada a processos, produtos e serviços com o objetivo de minimizar os impactos ambientais e reduzir os riscos para todos os seres e para o ambiente, a curto e longo prazo. Consiste em uma abordagem ambiental ampla que leva em consideração todas as fases do processo de manufatura ou do ciclo de vida do produto (BARBIERI, 2016).

Empresas galvanicas podem melhorar seu desempenho ambiental com uma visao critica do processo produtivo, atraves de praticas de PML. Pequenas mudancas na producao com investimentos minimos podem trazer beneficios economicos e ambientais. Intervencoes de PML podem resultar na reducao de consumo de materias-prima, energia e custos para disposicao de residuos (KONG; WHITE, 2010; DE OLIVEIRA NETO et al., 2018)

Considerando a notabilidade do processo de galvanizacao para o setor industrial e a importancia da gestao ambiental na garantia de padroes de producao e de consumo sustentavel o objetivo deste trabalho foi avaliar o processo produtivo de uma industria de galvanizacao e estabelecer praticas de PML mediante propostas de inovacao incremental sustentavel nas diferentes etapas da producao para reducao do consumo de agua.

MATERIAIS E MÉTODOS

A unidade objeto de estudo sobre o processo de galvanizacao foi uma industria de ferragens de uma empresa de produtos destinados a distribuicao de energia eletrica e telefonia na cidade de Mandaguari, Parana, Brasil.

A base metodologica da pesquisa apresentou caracteristica quali-quantitativa (KIRSCHBAUM, 2013) mediante associacao dos procedimentos de estudo de caso com pesquisa de campo exploratoria e revisoes bibliograficas sobre a tematica. O estudo de caso foi realizado por meio de observacoes sistematicas dos processos de producao e de gerenciamento do processo de producao, alem de entrevistas nao estruturadas realizadas com os colaboradores da empresa. A pesquisa exploratoria foi desenvolvida mediante coleta de dados, caracterizacao quali-quantitativa dos residuos gerados e elaboracao das propostas de praticas de PML.

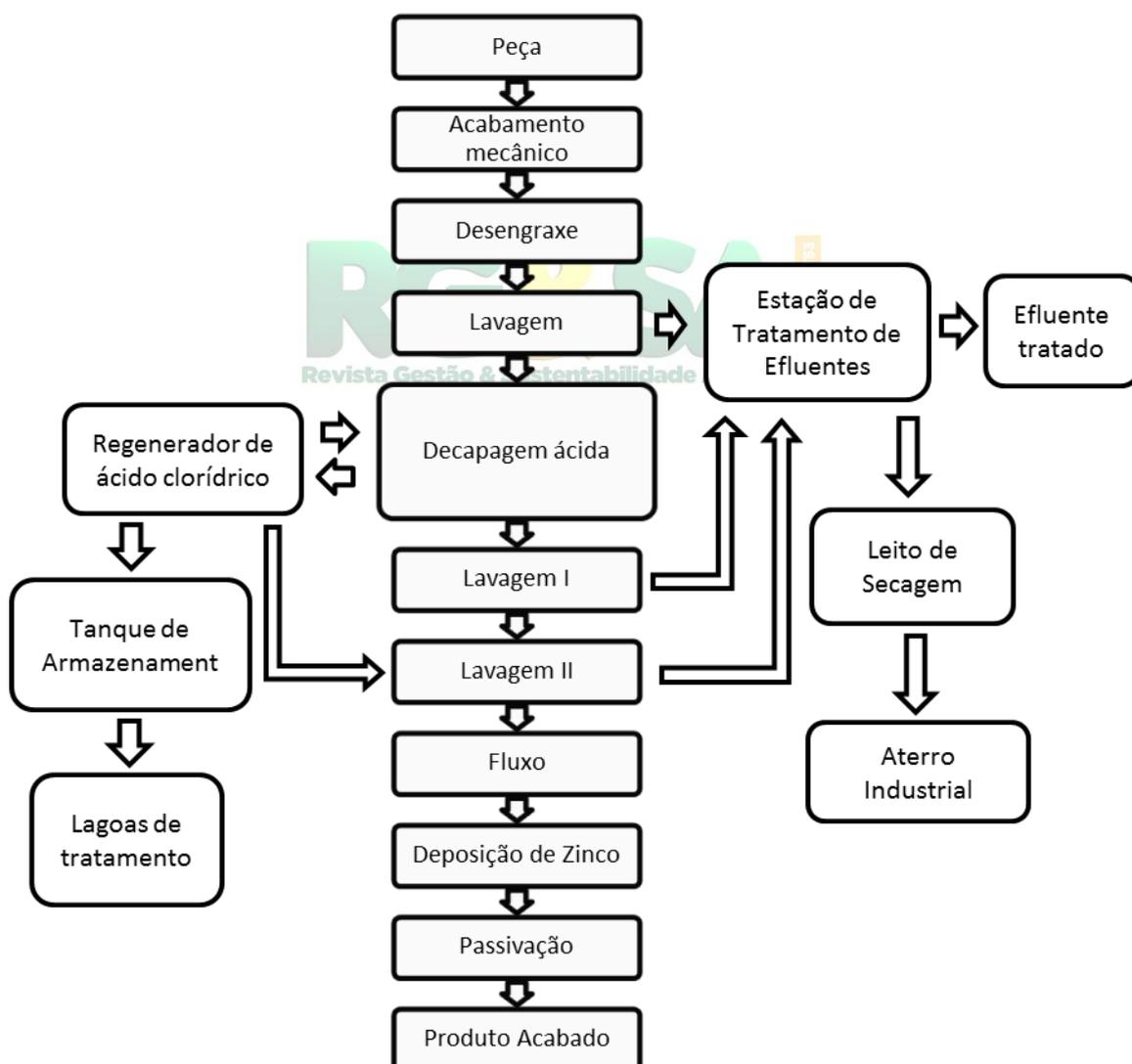
O estudo foi dividido em tres partes: i) acompanhamento na unidade industrial para uma descricao do processo de galvanizacao, ii) analise dos efluentes liquidos, com a determinacao de suas origens, caracteristicas e tratamento atual, e iii) proposicao de tecnicas para inovacao incremental da producao visando minimizar perdas, adequar a sustentabilidade no uso de recursos naturais e de materias-primas por meio de praticas de PML, elaboradas de acordo com o processo avaliado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Processo industrial de galvanização

O processo de galvanização apresentado pela empresa envolvia uma sequência de banhos, consistindo basicamente de etapas de pré-tratamento (acabamento mecânico, desengraxe, decapagem), de revestimento (fluxo, zincagem) e de conversão de superfície (passivação). Sendo que entre as etapas, a peça sofria processos de lavagem (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma Completo do processo de galvanização.



Fonte: Os autores.

O acabamento mecânico consistia de três ou quatro etapas, dependendo do material: escovação, lixamento, polimento e jateamento. Os acabamentos de superfícies só eram realizados quando havia necessidade, o que não ocorria frequentemente. Normalmente as peças iam diretamente para a etapa de desengraxe.

Após o processo de fabricação e de acabamento mecânico, a peça normalmente apresentava uma camada de óleo ou graxa em sua superfície. Essa camada era removida previamente ao processo de recobrimento. Para tanto, era utilizado o desengraxe alcalino, com um banho de desengraxante à base de hidróxido de sódio com uma concentração de 75 g/L a 70 °C.

A decapagem ácida consistia na remoção de óxidos, hidróxidos ou outros tipos de impurezas sólidas pela imersão da peça em uma solução ácida. O ácido clorídrico utilizado apresentava concentração entre 8 e 20%. Logo após a decapagem, a peça seguia para lavagem com banhos de água.

O banho de ácido era recuperado por meio de um regenerador de ácido clorídrico periodicamente. A principal função do regenerador consistia na redução no consumo de ácido e conseqüentemente economia no processo. O ácido entrava no regenerador com uma baixa concentração e com contaminações de ferro, zinco, e saíam do regenerador a água ácida (destinada à lavagem), o ácido regenerado com maior concentração e cloretos de ferro e zinco. Os cloretos eram destinados a empresas que os utilizavam em lagoas de tratamento de efluentes com alta carga orgânica.

A etapa de banho de fluxo, representa um processo essencial para uma boa aderência da camada de zinco e para o escoamento do zinco após a zincagem. Este banho consistia em um banho de cloreto de zinco e cloreto de amônia à 60 °C nas concentrações variáveis de sal duplo de 5 a 30%, dependendo do tipo de peças à serem tratadas.

A zincagem ocorria quimicamente (zincagem à fogo), feita à altas temperaturas de zinco metálico fundido (em torno de 450 °C) com pureza de 99,99%.

A última etapa, a passivação (cromatização), com o objetivo de aumentar a resistência à corrosão branca e à abrasão da camada de zinco, para melhoria do aspecto visual, realizava-se após a zincagem com um banho de ácido crômico com

concentração de 1 g/L. Este banho passava por uma torre de resfriamento, pois também era utilizado para o resfriamento das peças após a zincagem.

Efluentes líquidos

Os efluentes líquidos gerados eram provenientes do descarte de banhos químicos, produtos auxiliares (desengraxantes, decapantes, fluxo, passivadores) e águas de lavagem. Os efluentes líquidos, geralmente, coloridos, alguns com temperaturas elevadas, emitindo vapores, e o pH geralmente atingiam o extremo ácido ou alcalino.

Os resíduos líquidos provenientes do processo podem ser agrupados, basicamente, em dois grupos principais: os concentrados e os diluídos. Os concentrados não eram descartados, conforme a necessidade eram completados ou regenerados, e os diluídos eram descartados periodicamente, e proviam das águas de lavagem das peças. A Tabela 1 resume os efluentes líquidos presentes na unidade industrial e a sua destinação.

Tabela 1: Efluentes líquidos gerados no processo de galvanização e destinação.

Origem do efluente líquido	Composição principal	Destinação
Banhos de desengraxe	NaOH, 75 g/L	Não descartados, completados conforme necessidade.
Banhos de decapagem	HCl, 8 e 20%	Não descartados, regenerados através do regenerador de ácido clorídrico.
Banhos de fluxo	ZnCl ₂ e NH ₄ Cl, 5 a 30%	Não descartados, completados conforme necessidade.
Banhos de passivação	H ₂ CrO ₄ , 1 g/L	Não descartados, completados conforme necessidade.
Banhos de água de lavagem	Tabela 2*	Eram tratados periodicamente na estação de tratamento.

*a composição da água de lavagem está apresentada na Tabela 2.

Fonte: Os autores.

Tabela 2: Caracterização das águas de lavagem.

Parâmetros	Valor médio	Unidade
pH	< 1,00	-
Níquel	2,57	mg/L Ni
Prata	0,140	mg/L Ag
Cloretos	78365,70	mg/L Cl ⁻
Alumínio	1,22	mg/L Al
Arsênio	0,22	mg/L As
Cádmio	0,17	mg/L Cd
Chumbo	22,86	mg/L Pb
Cobre dissolvido	0,13	mg/L Cu
Cromo total	2,93	mg/L Cr
Manganês dissolvido	183,40	mg/L Mn
Nitrogênio total	1,40	mg/L N ₂
Sódio	98,00	mg/L Na
Zinco total	14,96	mg/L Zn
Sólidos totais	116.032,00	mg/L
Sólidos totais suspensos	574,00	mg/L
Óleos e graxas	39,80	mg/L
Ferro solúvel	0,24	mg/L Fe ²⁺
Selênio	0,74	mg/L Se

Fonte: Os autores.

As águas de lavagem apresentaram característica com alto teor de metais, principalmente zinco e chumbo, sendo extremamente ácida, devido aos arraste dos banhos de decapagem ácida (Tabela 2). Estes resultados confirmam, que o setor da indústria de galvanização é altamente poluente, por produzir um efluente líquido com

grande potencial de contaminação, alto teor de sólidos, pH ácido, e grande quantidade de metais pesados, sendo portanto, de difícil tratamento.

A estação de tratamento da empresa destinava-se exclusivamente para o tratamento das águas dos tanques de lavagens. O tratamento ocorria de forma simples por batelada. Em suma, adicionava-se cal (CaO, óxido de cálcio) em quantidade necessária para a precipitação química dos sais metálicos, seguido da filtração pelo filtro prensa para a separação dos sólidos.

Os resíduos sólidos produzidos pelo filtro prensa eram encaminhados para um aterro industrial. Para o transporte e disposição, os resíduos eram devidamente acondicionados utilizando-se um leito de secagem para remoção da umidade e adensamento.

Propostas para práticas de PML

As propostas de PML foram desenvolvidas com base nas informações de processo coletadas da empresa e na pesquisa bibliográfica, visando técnicas para minimização de perdas para obtenção da utilização consciente de matérias-primas e conseqüentemente menor impacto ambiental e maior produtividade (USEPA, 1998; LUKEN et al., 2016; PIETRELLI; FERRO; VOCCIANTE, 2018; SEVERO; DE GUIMARÃES; HENRI DORION, 2018; HERNÁNDEZ-BETANCUR; HERNÁNDEZ; OCAMPO-CARMONA, 2019).

O desenvolvimento das propostas de PML, que incluem mudanças de processo e melhorias de produto, levando à redução de impactos ambientais e benefícios econômicos por meio da conservação de recursos e reciclagem, foi agrupado em três grupos: (a) modificação de tecnologia e processo, (b) boas práticas de manutenção e (c) reciclagem/reutilização/recuperação no local (DAYLAN; CILIZ; MAMMODOV, 2013). A lista de opções de PML geradas está apresentada na Quadro 1. Uma vez identificadas, as opções de PML e seus benefícios serão discutidas posteriormente.

Quadro 1: Resumo das principais propostas para práticas de PML em indústria de galvanização.

Propostas de PML	Vantagens
-------------------------	------------------

<i>(a) Modificação de tecnologia</i>	
Aumento do tempo de gotejamento entre a troca de banhos	Redução no arraste e consumo de produtos químicos
Choque mecânico antes da troca de banhos	Redução no arraste e consumo de produtos químicos
Instalação de rampa de respingos entre os banhos	Recuperação e reutilização de perdas por arraste
Banhos de enxágue cascata, combinação com banhos corrente nos banhos de lavagem.	Redução no consumo de água de enxágue
<i>(b) Boas práticas de manutenção</i>	
Planejamento da forma de pendurar as peças a serem galvanizadas	Redução no arraste e consumo de produtos químicos
Otimização da concentração dos banhos com produtos químicos	Redução no consumo de produtos químicos, redução do arraste, redução de emissão de fumos ácidos.
<i>(c) Reciclagem/ reutilização/ recuperação no local</i>	
Aplicação de osmose reversa em banhos de água de enxágue	Recuperação e reutilização de água de lavagem

Fonte: Os autores.

Redução do arraste

Com técnicas para reduzir o arraste de produtos químicos dos banhos químicos para os banhos de lavagem consegue-se uma economia de custos, com o menor consumo de produtos químicos e de água. A implantação destas técnicas está dentro do conceito de PML que consiste em trabalhar principalmente na minimização da geração dos efluentes e, não somente, no seu tratamento final. As medidas de redução de arraste têm custo muito baixo e apresentam melhorias consideráveis.

O mais importante parâmetro que influencia na lavagem é o arraste. O arraste corresponde ao volume de solução que é aderido à superfície das peças e

transportado por estas aos banhos subseqüentes, contaminando-os. A quantidade de solução arrastada depende de muitos fatores como, por exemplo, a forma geométrica do suporte e das peças que serão galvanizadas e a viscosidade da solução dos banhos do processo (CPMA, 2001).

O arraste de solução de um banho de galvanoplastia causa custo tanto pela perda econômica dos reagentes quanto pela necessidade de se utilizar maiores quantidades de químicos para tratar os efluentes líquidos gerados. Este arraste tem outra conseqüência, que é a contaminação do solo e dos banhos seguintes que pode criar a necessidade de descarte do banho concentrado contaminado causando grande impacto na unidade de tratamento de efluentes.

O aumento do tempo de gotejamento sobre o banho pode ser uma medida efetiva, simples e de baixo custo para reduzir o arraste promovido pelos suportes, peças e cestos. O arraste pode ser reduzido em até 20% pelo aumento do tempo de gotejamento. Deve-se tomar cuidado, no entanto, para não deixar que as superfícies das peças sequem completamente; e para os banhos agressivos, um tempo muito longo de gotejamento pode promover reações na superfície das peças.

A otimização do processo de gotejamento pela promoção de um choque mecânico nos suportes antes de seu transporte pode reduzir também o arraste. Com isso, o líquido das bordas se desprende rapidamente e não é arrastado.

O planejamento da forma de pendurar as peças também pode contribuir para a diminuição do arraste pelo favorecimento do gotejamento, pendurando preferencialmente as peças inclinadas o que facilita o escoamento da solução e diminui o arraste.

Medidas aplicadas às concentrações dos banhos também podem contribuir para a redução do arraste. Em muitos processos é possível diminuir a concentração dos produtos químicos no banho sem que a qualidade da sua função seja prejudicada, reduzindo a viscosidade e conseqüentemente reduzindo o arraste. A tecnologia de decapagem com baixa concentração de ácido também pode ser usada para minimizar a emissão de fumos ácidos (KONG; WHITE, 2010).

Durante o traslado das peças de um banho para outro, ocorre o respingo de solução. Este respingo significa perda de reagentes, que vão para o banho posterior,

causando contaminação, ou contaminação do solo. Uma forma simples de se evitar esta perda, e conseqüentes contaminações, é a utilização de uma rampa de coleta destes respingos ao longo do trajeto das peças. O importante é que esta rampa de respingos seja confeccionada com material adequado, que permita sua lavagem ou recuperação dos respingos sem contaminação ao ambiente.

Redução no consumo de águas de lavagem

A técnica utilizada atualmente na empresa é a lavagem estanque. A lavagem estanque tem um volume constante, sem entrada ou saída de água. Por isso, a concentração dos banhos de lavagem aumenta continuamente com o arraste dos reagentes químicos. Depois de um tempo específico, o banho de lavagem estanque alcança uma concentração limite de mesmo valor que a do banho de decapagem do processo.

A qualidade da lavagem depende da concentração da água no banho de lavagem estanque. Neste caso, a concentração da solução do banho aumenta rapidamente, devido à inexistência de água corrente. Quando se atinge a concentração limite é necessária a troca da água do banho de lavagem. Por essas razões um processo de lavagem estanque sem combinação com tanques de lavagem corrente, alcança critérios de lavagem muito baixos.

A mudança na técnica de lavagem, empregando um banho estanque em combinação com a lavagem em cascata levaria a uma melhoria no processo e ainda uma redução drástica no consumo de água e, conseqüentemente, uma redução na concentração dos efluentes. Além disso, a menor concentração do efluente gerado permitiria a empresa trabalhar substituir o sistema de tratamento de efluente em batelada, por sistemas de membranas fazendo o reuso da água.

O enxágue em cascata pode reduzir o volume de água de enxágue de 100 a 1000 vezes em comparação com um sistema de tanque único estanque. Além disso, as peças ficam mais limpas e menos sais de Ferro são arrastados para a solução de fluxo, reduzindo o consumo de zinco (KONG; WHITE, 2010).

Reuso da água de lavagem

O processo em estudo apresenta uma água de lavagem com uma qualidade muito degradada e, portanto, nas atuais condições, não seria viável seu reuso. Porém, com a melhoria do processo de lavagem, a qualidade da água também seria melhorada, e um sistema avançado de tratamento de água poderia ser utilizado, tais como membranas de osmose reversa. Dessa forma, as águas de lavagem poderiam voltar para o processo, e o seu reuso poderia ser realizado.

CONCLUSÕES

O processo avaliado apresentou efluentes provindos principalmente das águas de lavagem, com alto teor de metais e extremamente ácidas, evidenciando a característica poluidora da tecnologia empregada na galvanização. As propostas da PML foram estabelecidas visando reduzir o consumo de água de enxágue e a geração de resíduos perigosos para a planta de galvanoplastia selecionada. As propostas visaram a redução, reutilização e recuperação, para diminuição da geração de resíduos, emissões e toxicidade de resíduos. Dessa forma, este estudo possibilitou compreender, sob o olhar da PML a importância da gestão socioambiental, no que diz respeito à conservação dos recursos naturais, melhorias dos processos de produção de maneira a proporcionar o desenvolvimento sustentável na indústria de galvanização, com medidas simples e tecnicamente viáveis, obtendo um processo menos agressivo ao meio ambiente e mais lucrativo, mantendo-a competitiva sobre os três dos pilares da sustentabilidade: econômica, ambiental e social.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI).

REFERÊNCIAS

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 4ª Ed. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

BÓ, G. C. de S.-D.; POSTAI, T. B.; MUNARI, A. B. Contribuições da PML e da logística reversa para o segmento de embalagens plásticas: estudo de caso em uma empresa do Vale do Caí (RS). **Gaia Scientia**, v. 12, n. 1, p. 15, 2018.

CPMA. **Roteiro complementar de licenciamento e fiscalização: tipologia galvanoplastia**. Recife: Companhia Pernambucana do meio ambiente, 2001.

DAYLAN, B.; CILIZ, N.; MAMMODOV, A. Hazardous process chemical and water consumption reduction through cleaner production application for a zinc electroplating industry in Istanbul. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 81, p. 1–7, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344913001833>>.

DE OLIVEIRA NETO, G. C.; SANTANA, J. C. C.; GODINHO FILHO, M.; CHIAPPETTA JABBOUR, C. J. Assessment of the environmental impact and economic benefits of the adoption of cleaner production in a Brazilian metal finishing industry. *Environ Technol*, v., n., p. 1-15, 2018.

HERNÁNDEZ-BETANCUR, J. D.; HERNÁNDEZ, H. F.; OCAMPO-CARMONA, L. M. A holistic framework for assessing hot-dip galvanizing process sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 755–766, 2019. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618329068>>.

KONG, G.; WHITE, R. Toward cleaner production of hot dip galvanizing industry in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10, p. 1092–1099, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261000106X>>.

KIRSCHBAUM, Charles. Decisões entre pesquisas quali e quanti sob a perspectiva de mecanismos causais. **Rev. bras. Ci. Soc.**, São Paulo , v. 28, n. 82, p. 179-193, June 2013 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-69092013000200011&lng=en&nrm=iso>. access on 13 Aug. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-69092013000200011>.

LUKEN, R. A. et al. A 20-year retrospective of the National Cleaner Production Centres programme. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 1165–1174, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615010732>>.

MONTIBELLER FILHO, GILBERTO PHILIPPI JUNIOR, A. **Empresas, desenvolvimento e ambiente: diagnóstico e diretrizes de sustentabilidade**.

Barueri: Manole, 2007.

MOSCA, F.; TAMBORRINI, P.; CASALEGNO, C. Systemic Design: How to Compete by Leveraging the Value System. **Symphonya - Emerging Issues in Management**, n. 2, p. 42–56, 2015.

PIETRELLI, L.; FERRO, S.; VOCCIANTE, M. Raw materials recovery from spent hydrochloric acid-based galvanizing wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 341, p. 539–546, 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894718302365>>.

SANTOS, R. M. da S. et al. O Gerenciamento de resíduos sólidos e efluentes na indústria: aspectos ambientais, econômicos, sociais e estratégicos. **Educação ambiental em ação**, v. 6, n. 41, p. 12, 2012. Disponível em: <<http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1280>>.

SEVERO, E. A.; DE GUIMARÃES, J. C. F.; HENRI DORION, E. C. Cleaner production, social responsibility and eco-innovation: Generations' perception for a sustainable future. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 91–103, 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261830790X>>.

SHIBLI, S. M. A.; MEENA, B. N.; REMYA, R. A review on recent approaches in the field of hot dip zinc galvanizing process. **Surface and Coatings Technology**, v. 262, p. 210–215, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897214011980>>.

TACHIZAWA, T. **Gestão ambiental e responsabilidade social corporativa: estratégias de negócios focadas na realidade brasileira**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

USEPA. **United States Environmental Protection Agency. Principles of pollution prevention and cleaner production: facilitator's manual for an International Training Course**. Philadelphia: USEPA, 1998.