

VI-010 - TECNOLOGIAS LIMPAS PARA UMA INDÚSTRIA DE GALVANIZAÇÃO A QUENTE

Luciana Viana Gonçalves

Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – UFMG. Engenheira Química e Técnica em Química - FEMC

Endereço⁽¹⁾: Rua Juacema nº 780, Apt. nº.801, Graça; CEP: 31140-030; Belo Horizonte – MG; tel.: (31) 3504-7091; e-mail: luviana@gmail.com.

RESUMO

A indústria de galvanoplastia tem aplicação em diversos ramos de atividades, com o objetivo de proteger as peças contra a corrosão, aumentar a durabilidade, dentre outras características, através de um revestimento na peça. O processo de galvanização é composto de pré-tratamento, tratamento e pós-tratamento, sendo que o processo a ser utilizado adequa-se ao tipo de material a ser galvanizado e o seu destino final. Neste trabalho é realizado um estudo de caso a partir do licenciamento de uma nova linha de galvanização por imersão a quente, onde verificou-se um processo de galvanização com diferentes etapas do processo convencional, destacando-se práticas de produção mais limpas, eliminação de etapas do processo convencional, redução de custos e aumento da produtividade além de sugestões a serem empregadas.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria de galvanoplastia, Galvanoplastia por imersão a quente, Produção mais limpa.

INTRODUÇÃO

A galvanoplastia tem grande aplicação em diversos ramos de atividades conforme SESI (2007) e Carrara (1997), como na utilização nas indústrias automotiva; bijuterias; utensílios domésticos; informática; telefonia, na construção civil e na recuperação de objetos decorativos. O processo de galvanoplastia tem como objetivos proteger as peças contra a corrosão, aumentar a durabilidade, melhorar o aspecto visual e as propriedades superficiais bem como as características de resistência, espessura, condutividade, lubrificação e capacidade de estampar. A galvanização pode ser realizada a partir de um processo químico ou eletroquímico de deposição de uma fina camada de metais sobre uma superfície metálica ou de material não-condutor (porcelana e plástico).

O processo de galvanização é dividido em pré-tratamento, tratamento e pós-tratamento, sendo que o processo adequa às características da matéria-prima bem como a do produto final.

O pré-tratamento pode ser realizado por meio mecânico e/ou químico com o intuito de proporcionar ao material a ser revestido uma boa aderência e uniformidade (SESI, 2007).

Segundo SESI (2007) o pré-tratamento é comumente realizado a partir destes processos:

Pré-tratamento mecânico – escovação, lixamento, polimento e jateamento, utilizando escovas de aço ou latão, rolos de esmeril ou de lixas, e outros materiais abrasivos, para a remoção de rebarbas, sulcos, irregularidades, camadas de óxidos e resíduos de tintas e de solda;

Pré-tratamento químico – desengraxe e decapagem:

O desengraxe é realizado com solventes clorados como tricloroetileno e percloroetileno;

Desengraxe alcalino feito com carbonato de sódio, hidróxido de sódio, fosfato, silicato, detergentes sintéticos, cianeto e complexantes tipo EDTA, glutamato e citrato de sódio;

Desengraxe eletroquímico, no qual a peça é polarizada catodicamente, anodicamente ou alternadamente, num meio alcalino;

Decapagem, realizada numa solução ácida, geralmente ácido sulfúrico, clorídrico ou fluorídrico, para a remoção de camada de óxidos, hidróxidos ou outras impurezas sólidas.

Os tipos de tratamentos mais utilizados na galvanoplastia, são por imersão a quente, onde o material a ser galvanizado é imerso em um banho com o revestimento (metal) em estado líquido ou por eletrodeposição,

conforme Santos (1997) que consiste na passagem de uma corrente elétrica em uma solução contendo íons metálicos dissolvidos, tendo a peça uma ação de cátodo atraindo os íons da solução.

O pós-tratamento é a etapa onde o material galvanizado recebe acabamento, atendendo as especificações do cliente.

A galvanoplastia a quente também conhecida por galvanização a fogo ou por galvanização por imersão a quente mais utilizada é a do zinco, onde forma o revestimento constituído de camadas de liga zinco-ferro, com a concentração de zinco aumentando à medida que se aproxima da superfície externa (CEPEL, 1979).

Algumas das vantagens da galvanoplastia a quente segundo CEPEL (1979) é a ligação da camada de proteção por reação metalúrgica, obtendo-se resistência a abrasão e aderência superior a outros métodos de tratamento contra a corrosão e maior uniformidade do revestimento por não possuir restrição, quanto ao acabamento estético, podendo ser pintados com a vantagem de aumentar a durabilidade do recobrimento.

A Produção Mais Limpa, aqui também chamada de P+L, pode ser definida como uma estratégia para minimizar os impactos da produção e de produtos ao meio ambiente, tendo como objetivo evitar a geração de resíduos e de emissões atmosféricas por utilizar os materiais e a energia da forma mais eficiente possível. Para tanto, deve-se aplicar o gerenciamento de fluxo de materiais e de energia ao invés de medidas de “fim de tubo” (Fresner, 1998).

Segundo Kong e White (2010), Produção Mais Limpa, como uma estratégia para reduzir impactos ambientais negativos por meio de processos produtivos, evita e reduz a poluição na sua fonte e aumenta a competitividade das empresas. No contexto da indústria, o P+L envolve a conservação de matérias-primas e energia, a eliminação de substâncias químicas tóxicas, e reduz a quantidade e toxicidade das emissões e resíduos gerados durante a produção. A ênfase de tal redução é transferida de tratamentos de fim de tubo para procedimentos de controle de todo o processo.

De acordo com Fresner (1998), em uma abordagem multidisciplinar de P+L, algumas opções para o alcance desse objetivo podem ser adotadas, como:

- Treinamento de empregados, boa logística, melhoria no acesso a dados e comunicação entre departamentos;
- Substituição de matérias-primas e materiais auxiliares por menos perigosos ou por outros que possam ser utilizados de maneira mais eficiente, ou que possam ser reciclados internamente ou externamente;
- Modificação de produtos para eliminar fases da produção com muito impacto ambiental;
- Modificações no processo para minimizar resíduos e emissões;
- Reciclagem interna;
- Introdução dos resíduos em cadeias externas de reciclagem.

O uso de produção mais limpa nas indústrias de galvanoplastia é possível a partir de novas técnicas, controle e modificações no processo.

Um bom fluxo de processo, um layout de planta otimizada e uma boa manutenção é essencial para se alcançar uma boa eficiência de produto, minimizar os impactos ambientais e o uso de energia (Stocksa *et al.*, 2004).

Na fase de limpeza das peças na galvanoplastia, onde é gerada a maior parte dos efluentes, é possível utilizar técnicas para a prevenção da contaminação por zinco de ácidos de decapagem (Stocksa *et al.*, 2004, Kong *et al.*, 2010) como:

- Um banho de ácido apenas para as peças defeituosas (retirada do zinco);
- Retirar o zinco das peças que transporta o material a ser galvanizado;
- Fazer com que a estrutura vibre, aumentar a distância e colocar ganchos mais longos reduzindo a contaminação dos banhos seguintes;
- Utilizar estruturas de titânio por serem resistentes a ácidos, por não galvanizam.

Durante a seção de limpeza ainda pode-se utilizar técnicas para a recuperação dos metais reduzindo o desperdício, tais como a precipitação química, troca iônica, extração solvente (Stocksa *et al.*, 2004) e a utilização do sistema Kleingarn permitindo uma decapagem eficiente com baixas concentrações de ácido, utilizando um controle de temperatura e agitação do meio, adicionando ácido concentrado novo para manter a concentração ideal (Stocksa *et al.*, 2004).

O piso da indústria deve ser projetado com inclinação para facilitar o escoamento dos efluentes para as canaletas, drenos, que destinaram os efluentes para a ETE, o piso necessita de um contra piso em concreto homogêneo ou um concreto de alta resistência, para suportar as condições de trabalho de uma indústria galvânica (CETESB, 2002).

O layout da fábrica é muito importante por otimizar o fluxo do processo como na distribuição dos equipamentos, evitando que ocorra respingos no piso devido ao carregamento dos líquidos pelas peças durante sua passagem de um estagio para outro (CETESB, 2002).

Pode utilizar para a redução da perda por arraste (CETESB, 2002):

- Agentes tensoativos: tem como finalidade diminuir a tensão superficial do líquido, reduzir o tempo de drenagem e a quantidade de líquido aderida na peça, melhorando a cobertura das peças no processo de eletrodeposição;
- Sopramento de ar (blow-off): é utilizado jatos de ar para remover a solução aderida nas peças, este processo é mais indicado para sistemas contínuos como tiras ou chapas;
- Placas defletoras: é a instalação de placas inclinadas entre um banho e outro, com o objetivo de coletar o material que vier a escorrer dos ganchos e peças, retornando ao banho de origem, reduzindo a contaminação no banho seguinte;
- Dentre outros métodos.

Existem várias técnicas de lavagem na galvanoplastia, e o método a ser utilizado deve consumir a menor quantidade de água com maior eficiência na lavagem de acordo com as características do material utilizado, pode-se utilizar lavagem por imersão contínua ou em cascata, lavagem por jato de água, contra fluxo, dentre outros métodos, reduzindo a contaminação nos banhos seguintes e economizando água, consequentemente reduzindo o volume de efluentes a serem tratados (CETESB, 2002, Kong *et al.*, 2010).

De acordo com Kong e White (2010), pode-se recuperar em torno de 15% do calor gerado no quench tank, utilizando-o principalmente nos tanques de pré-tratamento e/ou na câmara de secagem, nos fornos deve-se manter o controle de sua eficiência e vedação.

Outro método para recuperação de resíduos citado por Kong e White (2010), é na recuperação do zinco a partir da cinza (ZnO) dos materiais particulados dos filtros de exaustão juntamente com a escória.

Outras medidas para a recuperação de compostos presentes na indústria de galvanoplastia, são técnicas utilizadas no tratamento dos efluentes como os processos de troca iônica, extração líquido-líquido, filtração por membranas (osmose reversa, microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração), podem ser utilizadas (Neto *et al.*, 2008).

Na figura 1 as medidas estão em ordem de importância com relação à produção mais limpa em uma indústria de galvanoplastia (CETESB, 2005).

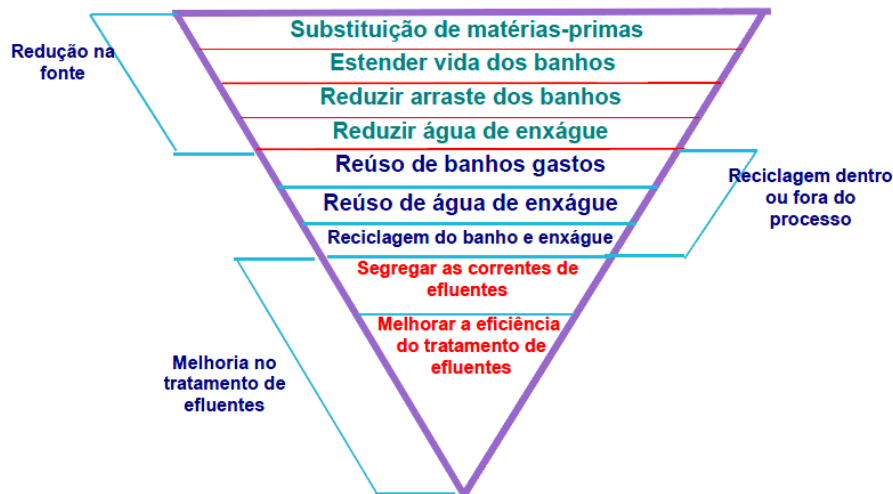


Figura 1: Escala de medidas de Produção mais Limpa em galvanoplastias
 Fonte: CETESB, 2005.

METODOLOGIA

O presente trabalho utilizou como estudo de caso a planta industrial de uma empresa de galvanoplastia, na região do Vale do Aço, através do Relatório de Controle Ambiental (RCA) e o Plano de Controle Ambiental (PCA) do processo de licenciamento prévio (LP) e de instalação (LI) de uma nova linha de galvanoplastia a quente e o Relatório de Desempenho Ambiental (RADA) direcionado para a primeira linha da mesma unidade.

A produção desta nova linha será voltada principalmente para a indústria automobilística, produzindo em média, cerca de 40 mil toneladas de produtos por mês. As principais matérias-primas utilizadas e suas quantidades estimadas aproximadas foram de 36.500 toneladas por mês de tiras de aço laminado a frio e 935 toneladas por mês de lingotes de zinco.

Esta nova Linha de Galvanização por Imersão a Quente é similar a linha já existente, sendo seus dados comparados com a linha anterior. A nova linha está projetada para atingir a capacidade máxima produtiva de 550.000 t/ano.

A partir da análise dos dados obtidos, identificar o processo de produção, verificar os impactos ambientais, o destino dos resíduos gerados, ressaltar as práticas de produção mais limpas adotadas.

RESULTADOS

Após um estudo do processo de licenciamento da nova linha e do RADA da linha já existente, verificou-se que o processo produtivo é contínuo e sendo dividido em:

Seção de entrada: tem como objetivo eliminar qualquer defeito superficial e preparar o material para os processos seguintes.

- Desbobinamento: onde desenrola a bobina do material a ser processado.
- Corte duplo: uma tesoura dupla corta o material (início e fim), conforme as especificações do cliente.
- Soldagem: solda a ponta da bobina com a extremidade final da que se encontra em processo.

Seção de limpeza: local onde ocorre o tratamento de limpeza para a remoção de óleo e outros materiais.

- Imersão alcalina: é a imersão da tira de aço na solução alcalina (soda cáustica) a de 70°C.
- Limpeza eletrolítica: a tira é imersa na mesma solução da imersão alcalina, porém a limpeza ocorrerá por diferença de polaridade.
- Escovamento com água quente: é realizado para garantir a retirada da solução alcalina da superfície.
- Enxágue com água quente: é a parte final da lavagem da peça.
- Secagem com ar quente: é a secagem do material.

Acumulador de entrada tipo horizontal: tem como objetivo manter a alimentação contínua dos processos seguintes, mesmo quando existir paradas na seção de entrada para a soldagem.

Forno de recozimento contínuo: é responsável pelo tratamento térmico do aço e tem como finalidade restaurar as propriedades mecânicas do material para a obtenção de uma estrutura uniforme e adequada de acordo com sua aplicabilidade.

- Forno de aquecimento: como fonte de energia para o forno será utilizado o COG (Gás de Coqueria) e o GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) onde a peça a partir da entrada do forno, terá uma temperatura até 700/795°C.
- Forno de encharque: tem como fonte de energia a energia elétrica, tendo como objetivo manter a peça recebida do forno de aquecimento na mesma temperatura por um período entre 40 a 60 segundos.
- Resfriamento lento: a partir de sopro de gás HN (Nitrogênio e amônia dissociada), a temperatura reduzirá para $\leq 675^\circ\text{C}$.
- Resfriamento a Jato de Gás: a temperatura da peça diminuirá para 460°C através de jatos de gás HN (Nitrogênio e amônia dissociada).

Pote de zinco: é onde ocorre a aplicação da camada de zinco na peça, gerando a galvanização propriamente dita.

- Revestimento: a peça é imersa em um banho (pote) aquecido por energia elétrica contendo zinco líquido a 460°C.
- Sopragem de nitrogênio: a tira é submetida a sopradores de nitrogênio (navalha de gás) com o intuito de prevenir o excesso de revestimento e ondulações.

Após o Pote de zinco utiliza-se o Forno de Galvannealing (Induction Heater) - GA ou o Zero Spangle - GI, conforme as características do produto e exigência do cliente.

Forno de Galvannealing (Induction Heater) - GA: após a passagem pelo pote de zinco o material é aquecido pelo forno através do COG atingindo 420°C, a partir do forno passa pelo aquecimento elétrico obtendo uma temperatura de 504°C. No Induction Heater ocorre a transformação metalúrgica do zinco, contribuindo para a formação da liga Zn/Fe.

Zero Spangle - GI: atua como minimizador de cristais de zinco na superfície da tira galvanizada e é dividida em duas etapas: a pré-cooling onde sofre um resfriamento com jato de ar comprimido; em seguida recebe um sopro da solução de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ((Mono)hidrogenofosfato de Sódio), finalizando o resfriamento na superfície.

Forno de Galvannealing (Torre de Resfriamento): onde ocorre o resfriamento da peça.

- Encharque: através do aquecimento elétrico a peça manterá uma temperatura de 504°C.
- Resfriamento de Neblina (Fog Cooler): o resfriamento é feito a partir do uso de ar e água filtrada, onde atingirá 350°C.
- Resfriador por Sopro de Ar (Air Jet Cooler – AJC): com o sopro de ar o material terá aproximadamente 100°C.
- Resfriamento por imersão (Quench Tank): a peça será imergida em um tanque com spray e sistema de recirculação de água, para chegar a 40°C. O material será comprimido por rolos espremedores, localizados no alto do Quench Tank facilitando a sua secagem por ar quente.

Encruamento: a peça passa pelo laminador onde ocorrerá a adequação das propriedades mecânicas do material.

Desempenadeira tensora: é a etapa de desempenho, com o objetivo de melhorar a forma (planicidade) do material, com a passagem da tira entre rolos de pequeno diâmetro.

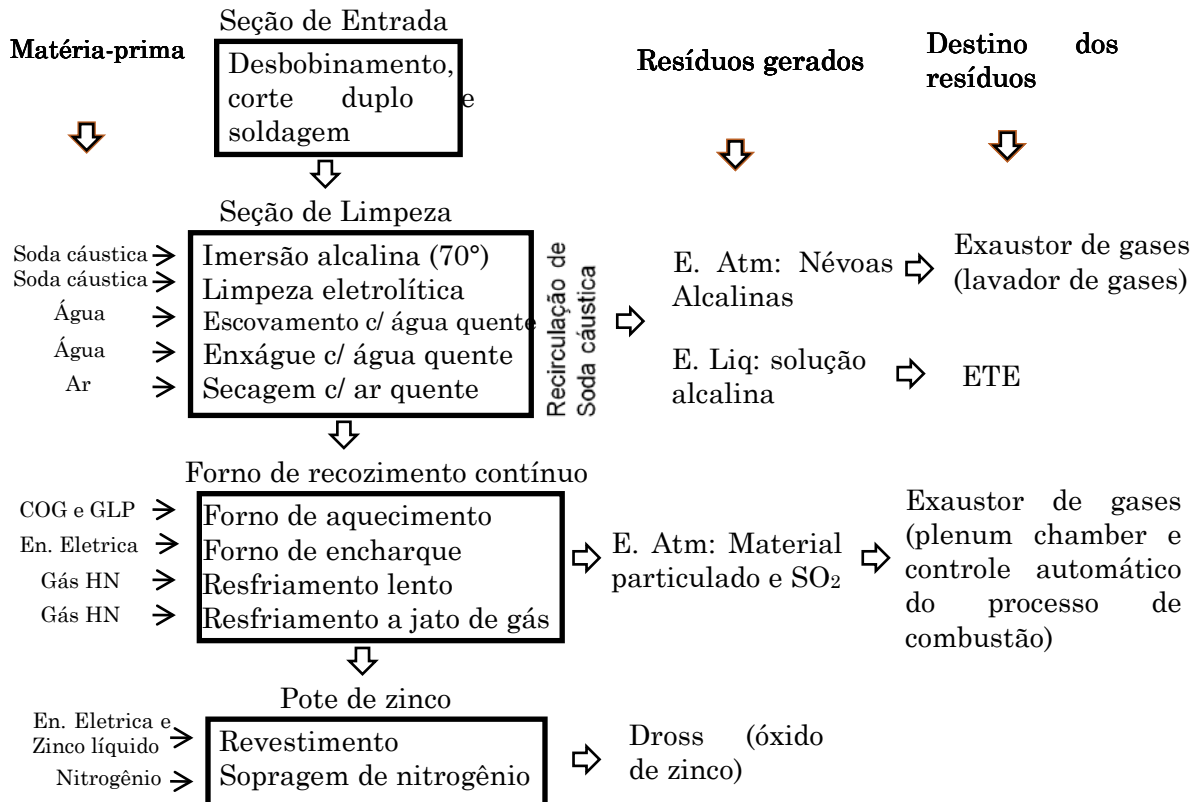
Acumulador de Tiras da Saída (Tipo Horizontal): tem como objetivo manter o recebimento contínuo da tira, proveniente dos processos anteriores, fazendo com que a operação não seja interrompida, mesmo quando a seção de saída parar o recebimento durante a inspeção.

Seção de Saída e Rebobinamento: é a finalização do processo da indústria de galvanoplastia.

- Inspeção visual: é a checagem visual das tiras.

- Oleadeira Eletrostática: é a deposição de uma camada de óleo protetivo que impedirá a oxidação nas superfícies do material, sendo feita através de bicos transversais por diferença de potencial entre a tira e o óleo.
- Corte Transversal: é realizada por meio da tesoura, para a retirada de amostras e pontas danificadas.
- Cintamento e pesagem: as bobinas são envolvidas com cinta de aço para evitar o desenrolamento e facilitar a manutenção das espiras tensionadas, em seguida são pesadas.
- Rebobinamento: é realizado o corte lateral na tira por exigência do comprador.

Figura 2, fluxograma do processo de galvanização a quente.



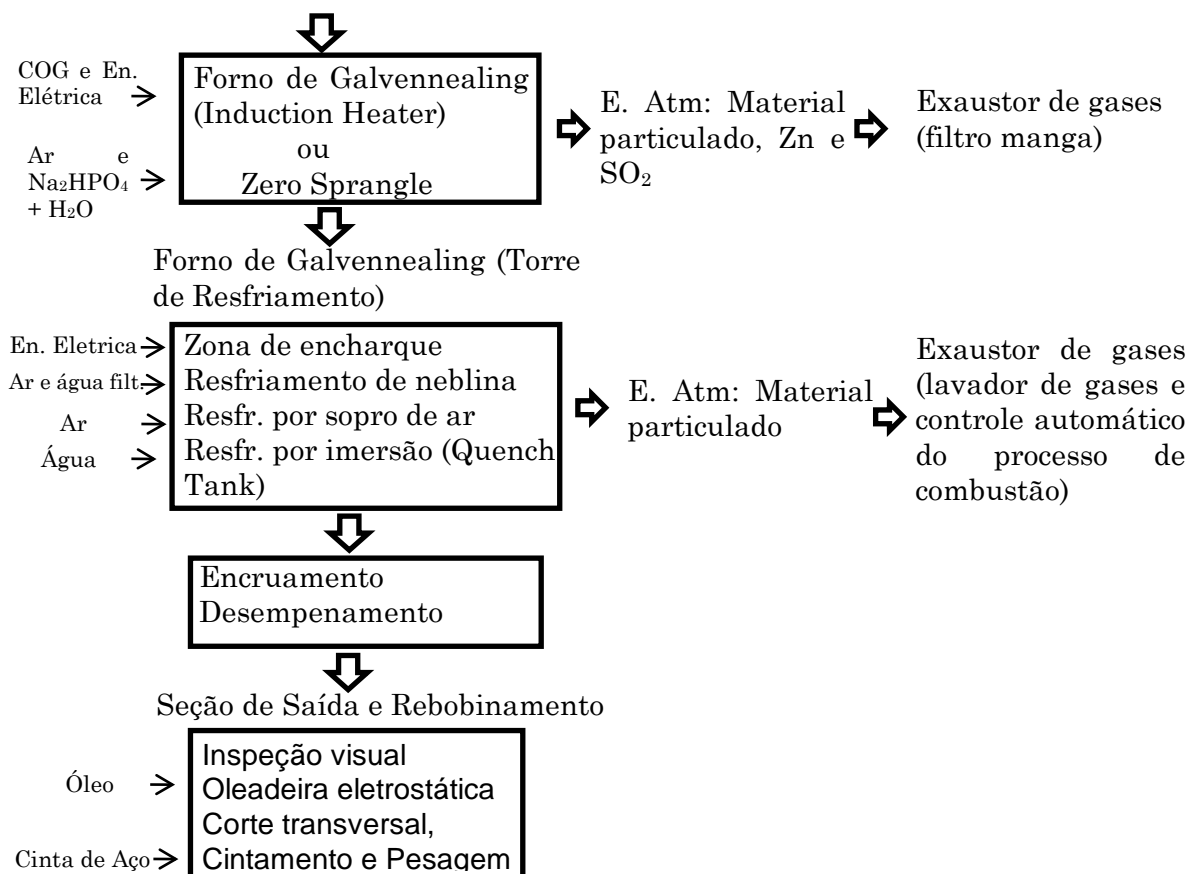


Figura 2: Fluxograma do processo de galvanização por imersão a quente.

Fonte: Dados retirados do RCA (2007), PCA (2007) e RADA (2005).

Foram identificados no estudo como impactos ambientais apresentados conforme o RCA da nova linha e o RADA da linha já existente, impacto na qualidade do ar e das águas durante a operação do empreendimento.

As emissões atmosféricas geradas são:

- Névoas Alcalinas geradas na seção de Limpeza;
- Dióxido de Enxofre;
- Zinco;
- Material Particulado.

Como tratamento e controle dos efluentes atmosféricos gerados o processo possui na Seção de limpeza - exaustor de gases (lavador de gases), no Forno de recozimento contínuo - exaustor de gases (plenum chamber e controle automático do processo de combustão), Pote de zinco - exaustor de gases, Forno de Galvennealing (Induction Heater) ou Zero Sprangle - exaustor de gases (filtro manga), Forno de Galvennealing (Torre de Resfriamento) - exaustor de gases (lavador de gases e controle automático do processo de combustão).

Os padrões de liberação atmosférica são atendidos e estão conforme DN COPAM nº 11/86.

Os efluentes líquidos industriais gerados pelo processo produtivo e atividades auxiliares da linha, são os efluentes alcalinos e os efluentes oleosos, devidamente encaminhados para a Estação de Tratamento de Efluentes.

Os efluentes domésticos são destinados a Fossa Séptica, e após tratamento é encaminhado ao rio Piracicaba, tendo como limites de lançamento os estabelecidos na legislação.

Os efluentes líquidos gerados seguem os parâmetros especificados na Resolução CONAMA Nº 357/05 e a Deliberação Normativa COPAM 010/86 que fixam padrões para lançamento de efluentes em corpos d'água.

Conforme a análise do estudo de caso constatou-se o uso das principais medidas de produção mais limpa utilizada no empreendimento sendo:

- Tipo de processo;
- Layout;
- Recirculação da soda cáustica;
- Controle de concentração das soluções;
- Controle das temperaturas;
- Sopradores de ar;
- Recirculação de água (quench tank);
- Recuperação do zinco da escória formada no fundo do tanque (ZnO + zinco de arraste).

CONCLUSÃO

Conclui-se que o processo produtivo da empresa é um processo que reduz etapas da galvanização a quente convencional, não possuindo como o a decapagem ácida e seus respectivos banhos e a fluxagem. Esta redução nas etapas do processo é possível devido à resistência do material a ser galvanizado (aço), por ser um processo contínuo e ter uma grande eficiência nas etapas que possui.

Pode-se utilizar além dos métodos já empregados pela empresa como produção mais limpa:

- Utilizar estruturas de titânio por ser mais resistentes e não galvanizam;
- Técnicas de recuperação dos metais na seção de limpeza;
- Recuperar o calor gerado no resfriamento por imersão (quench tank);
- Recuperação dos compostos na estação de tratamento de efluentes.

As indústrias de galvanoplastia é um empreendimento muito insalubre, sendo necessário adotar medidas de controle e prevenção, como o desenvolvimento de novas técnicas de processo e o emprego da produção mais limpa. Tais medidas reduzem os impactos ambientais gerados e os gastos no processo, aumentam a produtividade e melhoram a qualidade no ambiente de trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao apoio e incentivo realizado pela FAPEMIG, na participação deste evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em <http://www.abes-dn.org.br/?public=regulamento>. Acesso em 19/05/2010.
2. Cabral, E.R.; Mannheimer, W.A.; *Galvanização: sua aplicação em equipamento elétrico: princípios e processos, normalização e controle de qualidade, aplicação e situação no Brasil*. Centro De Pesquisas De Energia Elétrica (CEPEL) - Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico: CEPEL, 1979.
3. Carrara, S.M.C.M. *Estudos de viabilidade do reuso de efluentes líquido gerados em processos de galvanoplastia por tratamento físico-químico*, Dissertação de mestrado – UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil – Campinas – São Paulo, 1997.
4. CETESB; Pacheco, C.E.M; et al. *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*. Manuais ambientais, 4.ed. - São Paulo : CETESB, 2002.
5. CETESB; Santos, M.S.; et al. *Bijuterias*, Série P+L - São Paulo: CETESB, 2005.
6. Fresner, J. *Cleaner production as a means for effective environmental management*. Journal of Cleaner Production 6, 1998.
7. Kong, G; White, R. *Toward cleaner production of hot dip galvanizing industry in China*. Journal of Cleaner Production 18, 2010.
8. Neto, A.P.; Bretz, J.S.; Magalhães, F.S.; Mansur, M.B.; Rocha, S.D.F. *Alternativas para o tratamento de efluentes da indústria galvânica*. Engenharia Sanitária Ambiental vol.13, nº3 jul/set. 2008, 263-270.
9. *Plano de Controle Ambiental (PCA)*. Galvanização por Imersão à Quente II - ATIVIDADES INDUSTRIAIS – EMPREENDIMENTOS CLASSE 5 E CLASSE 6 – Minas Gerais, 2007.

10. Santos, L.M.M., *Caracterização de resíduos sólidos de uma indústria de galvanoplastia*, Dissertação de mestrado – UFMG, Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas – Belo Horizonte – Minas Geras, 1997.
11. SESI, *Manual de Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria Galvânica*. São Paulo: SESI, 2007.
12. Stocksa, C.; J. Woodb, J.; Guyb, S. *Minimisation and recycling of spent acid wastes from galvanizing plants*. Resources Conservation e Recycling - Elsevier, 2004.
13. *Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental (RADA)*. Linha de Galvanização por Imersão à Quente I - ATIVIDADES INDUSTRIAIS – EMPREENDIMENTOS CLASSE 5 E CLASSE 6 – Minas Gerais, 2005.
14. *Relatório de Controle Ambiental (RCA)*. Galvanização por Imersão à Quente II - ATIVIDADES INDUSTRIAIS – EMPREENDIMENTOS CLASSE 5 E CLASSE 6 – Minas Gerais, 2007.