

MANUAIS AMBIENTAIS.....

**COMPILAÇÃO DE TÉCNICA DE
PREVENÇÃO À POLUIÇÃO PARA A
INDÚSTRIA DE GALVANOPLASTIA**





Governo do Estado de São Paulo
Geraldo Alckmin • *Governador*

Secretaria de Estado do Meio Ambiente
José Goldemberg • *Secretário*

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Dráusio Barreto • *Diretor Presidente*

**Diretoria da
CETESB**

Diretoria de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia

Fernando Cardozo Fernandes Rei

Diretoria de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental

Primo Pereira Neto

Diretoria de Controle de Poluição Ambiental

Orlando Zuliani Cassetari

Diretoria Administrativa e Financeira

Galba de Farias Couto

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

P118c Pacheco, Carlos Eduardo Medeiros
4.ed. 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 / Carlos Eduardo Medeiros Pacheco [et al.] . - - 4.ed. - - São Paulo : CETESB, 2002.
37 p. : il. ; 21 cm. - - (Manuais ambientais)

ISSN

1. Bijuterias – indústrias - poluição 2. Eletrodeposição 3. Galvanoplastia 4. Limeira – Est. São Paulo 5. Poluição – controle 6.

Poluição – prevenção – projetos I. Quaresma, Marie Yamamoto do Vale
II. Rocha, Maria José Muniz. III. Simoni, Vitor Antonio. IV. Título. V. Série.

CDD (18.ed.) 614.781 6

CDU (ed. 99 port.) 614.7.001.63 : 621.357 6 (815.6Limeira)

Tiragem: 500 exemplares
Junho de 2002

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	05
1. TÉCNICAS DE PREVENÇÃO À POLUIÇÃO	06
1.1 PLANEJAMENTO DE INSTALAÇÃO	06
1.1.1 RECINTO DE TRABALHO	06
1.1.2 PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS CONTRA A CORROSÃO.	10
1.1.3 LAYOUT	11
1.2 PRÁTICAS OPERACIONAIS	12
1.2.1 REDUÇÃO DO ARRASTE	12
1.2.2 REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA	17
1.2.3 PURIFICAÇÃO E RECICLAGEM DE INSUMOS	29
1.3 SUBSTITUIÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS	35
1.3.1 SUBSTITUIÇÃO DO ÁCIDO NÍTRICO NA LIMPEZA DO LATÃO	35
1.3.2 SUBSTITUIÇÃO DO CIANETO NOS DESENGRAXANTES PARA NÃO-FERROSOS	36
1.3.3 SUBSTITUIÇÃO DO CIANETO NOS BANHOS DE COBRE	36
1.3.4 SUBSTITUIÇÃO DOS BANHOS “STRIKE” DE NÍQUEL ÁCIDOS	37
1.3.5 SUBSTITUIÇÃO DE CIANETOS NA DOURAÇÃO E FOLHEAÇÃO	37
1.3.6 SUBSTITUIÇÃO DO CROMO NO VERNIZ DE ACABAMENTO	39
1.3.7 TÉCNICAS PARA REDUZIR A GERAÇÃO DE LODO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

APRESENTAÇÃO

A implementação de Leis e Normas Ambientais cada vez mais restritivas e a criação de mercados cada vez mais competitivos vem exigindo que as empresas sejam mais eficientes, do ponto de vista produtivo e ambiental, ou seja, o aumento da produção industrial deverá estar aliado a uma redução de gastos com insumos e menor geração de poluentes.

A CETESB, que tem por tradição se manter atualizada com as tendências mundiais, visando uma atuação mais eficiente e inovadora na proteção do Meio Ambiente, vem concentrando seus esforços na institucionalização de ações de Prevenção à Poluição.

A comunhão desses interesses propiciou uma parceria entre a CETESB e as indústrias do Setor de Bijuterias do Município de Limeira para o desenvolvimento de um *Projeto Piloto de Prevenção à Poluição*.

Como uma das ferramentas para o desenvolvimento deste trabalho, foi elaborada a presente *Compilação de Técnicas de Prevenção à Poluição para a Indústria de Galvanoplastia* com o objetivo de auxiliar os empresários na escolha das melhores alternativas de práticas e técnicas de prevenção à poluição ou redução na fonte. Tais alternativas visam a melhoria das condições ambientais por meio do aumento na eficiência de produção, redução ou eliminação dos resíduos gerados e a redução dos custos envolvidos na sua disposição final.

1.TECNICAS DE PREVENÇÃO A POLUIÇÃO

A prevenção à poluição ou redução na fonte refere-se a qualquer prática, processo, técnica e/ou tecnologia que visem a redução e/ou eliminação em volume, concentração e/ou toxicidade dos resíduos na fonte geradora. Inclui modificações nos equipamentos, nos processos ou procedimentos, reformulação ou replanejamento de produtos, substituição de matéria-prima e melhorias nos gerenciamentos administrativos e técnicos da entidade/empresa, resultando no aumento de eficiência no uso da matéria-prima, energia, água e outros recursos naturais.

As técnicas de *Prevenção à Poluição* aplicáveis à Indústria de Galvanoplastia apresentadas neste documento foram elaborados, a partir de levantamentos bibliográficos realizados no Brasil e no exterior, com recomendações referentes ao planejamento de novas instalações e técnicas operacionais para melhoria do processo galvânico, além de medidas para reduzir a geração de lodo nas Estações de Tratamento de Efluentes das empresas.

1.1 Planejamento de Instalações

O planejamento de instalações engloba a área ou recinto de trabalho onde será desenvolvido o processo produtivo, envolvendo um estudo detalhado dos aspectos relacionados a dimensão da área, ventilação, iluminação, coleta de efluentes, instalações elétricas e piso, bem como a proteção e a disposição física dos equipamentos.

1.1.1 Recinto de Trabalho

· **Dimensões do recinto**

O prédio destinado ao desenvolvimento de processos galvânicos deverá estar em acordo com o código de obras do município onde será edificado, que via de regra especifica as dimensões mínimas das construções em função do uso. Com relação ao pé direito, alturas maiores propiciam maior volume de ar dentro do recinto de trabalho, permitindo a diluição dos gases gerados no processo e maior conforto térmico, assegurando assim a saúde do trabalhador.

· **Iluminação**

A iluminação deverá ser adequada e bem planejada de modo a oferecer conforto visual e segurança aos trabalhadores. A utilização da iluminação natural, quando possível, trará economia de energia. Caso seja necessário o uso de iluminação artificial complementar, esta deverá ser feita preferencialmente por lâmpadas elétricas que apresentem uma relação favorável entre a energia consumida e a iluminação fornecida, levando-se também em consideração a questão dos custos econômicos e ambientais da utilização de tais lâmpadas. A pintura das paredes com cores claras e mais refletivas propiciam um melhor aproveitamento da iluminação utilizada, tornando-a mais eficiente.

Sistema de coleta de efluentes

Atenção especial deve ser dada ao sistema de coleta de efluentes industriais, prevendo-se a separação dos efluentes ácidos dos alcalinos em linhas exclusivas. Com relação ao material das linhas de coleta, deve-se adotar aqueles resistentes aos produtos químicos utilizados nos banhos, evitando dessa maneira a sua corrosão ou deformação, bem como possíveis vazamentos.

· Instalações elétricas

A instalação elétrica do prédio deverá contar com vários comandos individuais, estrategicamente posicionados no recinto de trabalho, ligados a um quadro de comando geral. Todos estes comandos deverão apresentar fácil acesso aos trabalhadores e espaço suficiente para sua manutenção. A utilização de barramentos elétricos de cobre ao longo da linha de produção permitirá flexibilidade nas mudanças de layout, colocação de novos equipamentos e facilidade de manutenção. Todo o sistema elétrico da empresa deverá contar com um programa de manutenção preventiva específico.

· Pisos

O atendimento às boas técnicas de construção civil e gerenciamento industrial, resultam em pisos bem construídos e com manutenção preventiva específica e requerida para a indústria de galvanoplastia.

No entanto, na maioria destas indústrias, verifica-se pisos mal projetados e construídos, com trincas, fissuras e falta de manutenção. Como agravante desta situação, tem-se o fato de que estes pisos ficam sempre molhados devido a respingos das soluções dos banhos, ocorridos durante o transporte de peças de um banho a outro e também por eventuais vazamentos em válvulas, gaxetas e tubulações.

Via de regra, as indústrias promovem a limpeza periódica do piso da fábrica sendo, então, os líquidos e a sujeira lá acumulados encaminhados para a estação de tratamento de efluentes da empresa ou para outro local de descarte, no caso de não se dispor de estação de tratamento.

Estas remoções periódicas, porém, não impedem que as soluções dos banhos, com o tempo, ataquem o material do piso provocando a sua deterioração. Pisos mal construídos, mal conservados e deteriorados que apresentam fissuras ou trincas, propiciam a infiltração dos líquidos nele acumulados para o solo, provocando a contaminação deste meio e das águas subterrâneas, além de poder atacar as fundações do prédio e as instalações subterrâneas (água, esgoto, etc).

Erroneamente, pouca atenção é dada ao projeto, execução e proteção dos pisos em unidades de galvanoplastia, resultando em gastos extras e até mesmo em eventuais interrupções no processo para a sua correção.

Assim sendo, no caso de projetos para novas instalações ou rearranjo das atuais, deverão ser considerados os seguintes tópicos na execução do piso:

-
- os produtos químicos usados nos banhos,
 - tipo de tráfego submetido,
 - resistência térmica esperada,
 - resistência mecânica esperada,
 - impermeabilidade,
 - susceptibilidade dos materiais de construção ao ataque químico,
 - análise custo-benefício.

No projeto de novos pisos deverá ser ainda prevista a execução de um contra-piso em concreto homogêneo e, em casos especiais, utilizar concreto de alta resistência. Este contra-piso deverá ser capaz de resistir aos esforços mecânicos sem deformação permanente ou fissuras. Nas áreas sujeitas a vibrações advindas de equipamentos, o contra-piso deverá ser executado isoladamente da estrutura do prédio (alicerces e colunas), através de execução de juntas de construção, que por sua vez deverão estar em conformidade com as boas técnicas de construção.

Finalmente, a superfície do contra-piso acabado deverá ser revestida com material resistente às condições de trabalho existentes na indústria de galvanoplastia, atendendo sempre às especificações do fornecedor. Como exemplos pode-se citar o revestimento cerâmico e com resinas, descritos a seguir:

- pisos cerâmicos resistentes à corrosão que, embora caros, são os revestimentos mais antigos e ainda confiáveis. A sua execução deverá ser precedida da limpeza da superfície mencionada anteriormente e, em seguida, deverá ser feita a impermeabilização na qual será assentado o piso cerâmico. Nas áreas onde houver juntas de concretagem ou esforços mecânicos concentrados, será necessária a aplicação de manta específica, que deverá atender às recomendações do fabricante, tanto na impermeabilização das áreas contínuas como também naquelas onde houver juntas.

- revestimentos com resinas monolíticas (produtos a base de epóxi, poliuretano ou poliéster) que possuem alta capacidade de resistência à corrosão. Ultimamente, estes revestimentos estão tendo bastante aceitação por parte das indústrias. A sua aplicação é simples e poderá ser efetuada com desempenadeira ou à revólver, sendo que o seu custo de aplicação é menor do que o de assentamento do piso cerâmico.

A Figura 1 apresenta detalhes construtivos dos pisos mencionados.

No caso de pisos existentes a serem reparados, todo o revestimento deverá ser removido, deixando a sua superfície limpa e livre de qualquer material solto e toda área danificada ou irregular deverá ser refeita e acabada, respeitando-se o nivelamento e declividade.

O piso de uma galvânica deve ser provido de drenos e canaletes para o escoamento dos efluentes líquidos oriundos do processo industrial. Ele deve ainda ser projetado com uma inclinação que facilite o direcionamento dos efluentes para os drenos e canaletes que os conduzirão para a estação de tratamento. A *Figura 2* apresenta um esquema ilustrativo para dreno, canaleta e caixa de passagem.

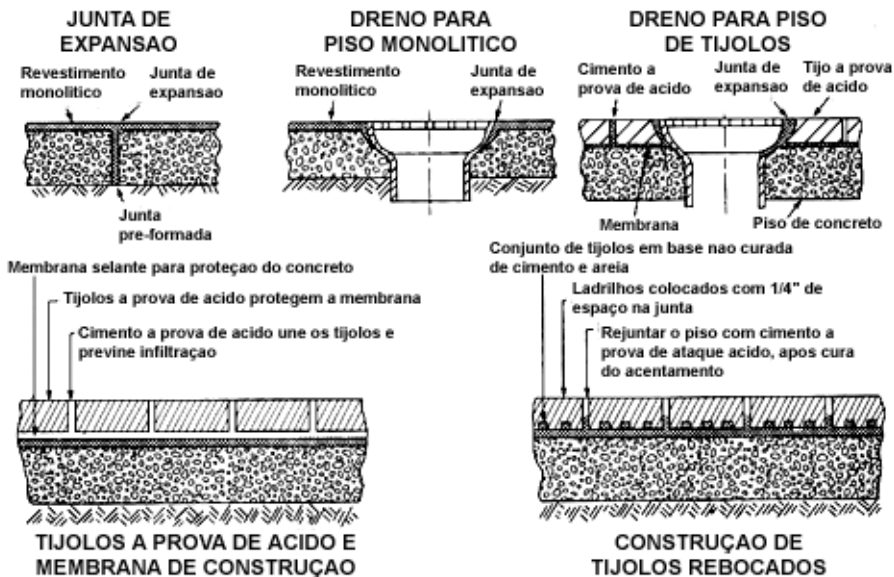


Figura 1: Tipos de piso utilizados em galvanoplastias (em corte) [3]

A implantação de bacias de contenção deve ser considerada nas indústrias deste setor, face ao custo e ao potencial de contaminação dos produtos químicos envolvidos no processo. A finalidade dessas bacias é confinar a solução dos banhos em caso de vazamento ou rompimento dos tanques.

A construção dessas bacias deverá ser feita concomitantemente com a construção do piso de modo a evitar as juntas de construção. Nos casos em que as juntas não puderem ser evitadas, deve-se proceder a um tratamento da superfície, com o objetivo de garantir a sua estanqueidade.

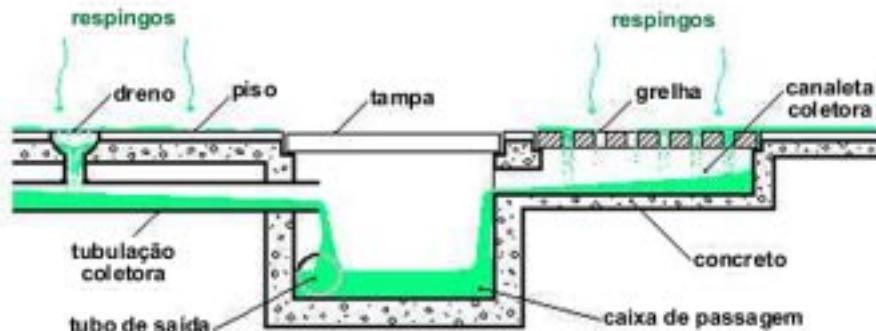


Figura 2: Dreno, Canaleta e Caixa de Passagem (em corte)

· **Revestimento das paredes**

As paredes do prédio deverão ter proteção anti-corrosiva pelo menos até a altura dos banhos, o que vai minimizar o ataque pelos produtos químicos presentes nos banhos, além de facilitar a sua limpeza.

· **Ventilação**

O sistema de ventilação no ambiente de trabalho deverá, sempre que possível, ser natural pois, além de promover a adequada renovação do ar dentro da instalação, evita gastos adicionais de energia elétrica com sistemas de ventilação forçada. No entanto, caso se faça necessária a instalação de sistema de ventilação e exaustão na empresa, ele deverá ser adequadamente dimensionado, de modo a garantir a renovação de todo o volume de ar contido no recinto. A vazão de exaustão deverá ser calculada a partir do porte da empresa e da quantidade de gases gerados nas linhas de produção.

A renovação de ar no ambiente de trabalho em uma indústria de galvanoplastia é necessária, uma vez que o uso de eletrólitos a quente nos banhos provocam a emanação de vapores tóxicos, além do aumento da umidade relativa do ar e da temperatura do local. Alguns banhos à quente emitem gases (por exemplo, nitrosos e clorídricos) que podem provocar danos à saúde dos trabalhadores.

Os gases de exaustão, dependendo da sua contaminação, deverão sofrer tratamento adequado antes de serem lançados para a atmosfera.

1.1.2 Proteção de Equipamentos contra a Corrosão

A proteção de equipamentos contra a corrosão garante uma operação adequada e previne perdas acidentais de materiais durante o processo produtivo. Também permite a melhoria do aspecto estético, causando boa impressão aos fornecedores, compradores, fiscais e ao público em geral, além de evitar gastos extras com reparos, facilitar a manutenção e, principalmente, evitar danos ambientais provocados por derramamentos.

Além da proteção contra corrosão dos equipamentos e das estruturas encontradas na unidade de galvanoplastia, a empresa deverá contar com procedimentos de rotina para manutenção e verificação de vazamentos e de rachaduras nos tanques e tubulações. Dois dos pontos que merecem proteção numa indústria de galvanoplastia são descritos a seguir.

· **Tanques**

Os materiais de construção dos tanques deverão atender especialmente aos requisitos de resistência aos choques térmicos, mecânicos e à ruptura, nas condições de operação dos processos galvânicos, ou seja, temperatura, pressão e produtos agressivos utilizados nos processos galvânicos.

A resistência à corrosão dos tanques poderá ser obtida com o uso de materiais

alternativos, tais como: plásticos (polietileno e polipropileno), fibra de vidro reforçada com plástico e aço inoxidável.

No caso do uso de tanques para os banhos galvânicos ou para o armazenamento de matérias-primas, suas armações de sustentação, estruturas, conexões e as tubulações metálicas utilizadas na unidade de galvanoplastia, deverão ser protegidos também contra a corrosão.

A aplicação de resina monolítica, semelhante àquela usada em pisos, utilizando pincel ou “spray”, tem dado bons resultados a um custo reduzido em relação aos sistemas de pintura com tinta epóxi e polivinílica. As resinas também apresentam melhores características que as tintas, com relação a resistência a choque, a calor, coeficiente de expansão e durabilidade.

· Resistências elétricas

As resistências elétricas utilizadas no aquecimento dos banhos deverão ser de boa qualidade, feitas com materiais resistentes a ataques ácidos e alcalinos, evitando dessa forma acidentes como descargas elétricas e curto-circuitos.

1.1.3 Layout

O layout ou distribuição física dos equipamentos, banhos e tanques de lavagem no recinto de trabalho, é uma das práticas operacionais a ser considerada no desenvolvimento de um programa de Prevenção à Poluição (P2).

Observa-se, freqüentemente, na disposição física dos equipamentos nas empresas do setor galvânico, uma preocupação acentuada com a seqüência de operações do seu fluxograma de produção, em detrimento das questões operacionais que envolvem a passagem das peças de uma etapa para outra no processo.

Em outras palavras, a distância entre os equipamentos, a não otimização do sistema no que concerne à seqüência operacional, a distribuição dos equipamentos no recinto de trabalho, dentre outros fatores, provocam respingos no piso da fábrica, devido ao carregamento dos líquidos pelas peças durante sua passagem de um estágio para outro.

A *Figura 3* mostra dois exemplos de layout de banhos galvânicos, sendo que no primeiro tipo (a) os respingos são evitados e o segundo (b) apresenta grandes distâncias, além de dificultar o desenvolvimento das operações.

Desta forma, verifica-se que tanto o planejamento de novas instalações quanto a reavaliação do layout, no caso de empresas já implantadas, são de grande importância para o desenvolvimento de um programa de P2.

Salienta-se, ainda que, o layout de uma empresa deve observar uma divisão adequada de espaço, possibilitando uma visão geral do sistema e o escoamento livre da produção.

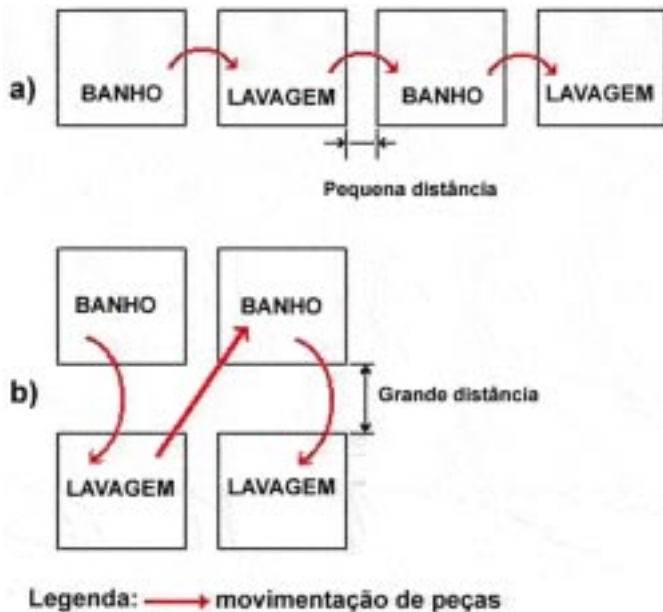


Figura 3: Layout dos banhos galvanicos (a- adequado, b – inadequado)

1.2 Práticas Operacionais

As práticas operacionais abrangem as técnicas de P2 diretamente relacionadas com o processo produtivo das galvanoplastias. Tais técnicas visam basicamente minimizar o arraste de líquidos dos banhos, melhorar a eficiência das lavagens e reduzir o consumo de água, além de promover a reciclagem dos insumos utilizados, substituição de matérias-primas e a redução da geração de lodo.

Estas práticas podem ser adotadas tanto em instalações existentes, quanto em novas. No caso de novas instalações, o planejamento deverá contemplar o processo industrial a ser utilizado, bem como as práticas operacionais e matérias-primas a serem selecionadas.

1.2.1 Redução do Arraste

A perda por arraste ou “drag-out” pode ser definida como sendo a parte da solução de um banho de revestimento que é arrastada com a peça quando é retirada.

Neste processo, ocorrem respingos de parte da solução arrastada para o piso, pela movimentação das gancheras, até que um outro estágio da produção seja alcançado. A Figura 4 ilustra esta situação.

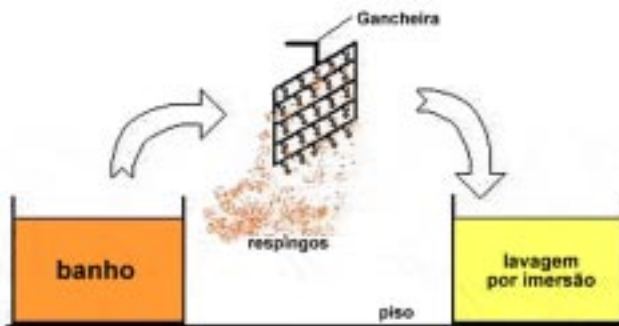


Figura 4: Arraste de soluções

O arraste é o principal responsável pela poluição potencial e perda de material nas galvanoplastias. Numerosas técnicas têm sido desenvolvidas para se monitorar e controlar o arraste. A eficácia de cada método varia em função do processo, cooperação do operador, modelo da gancheira ou tambor, tempo necessário para a transferência de uma etapa para a outra e da configuração das peças a serem revestidas. Outros fatores que afetam o arraste são: temperatura, velocidade de retirada das peças, tempo de drenagem, viscosidade e posição das peças na gancheira, dentre outros. A seguir são apresentadas as principais técnicas utilizadas para redução do arraste das soluções.

1.2.1.1 Agentes Tensoativos

Define-se agentes tensoativos como sendo as substâncias que tem capacidade de diminuir a tensão superficial de líquidos. A tensão superficial existe devido à força de atração entre as moléculas do líquido, fazendo, por exemplo, com que as pequenas gotas d'água assumam a forma esférica.

A tensão superficial é também responsável pela adesão das gotas de líquidos nas peças retiradas dos banhos e, portanto, do "drag-out". As peças retiradas de uma solução aquosa contendo tensoativo, não apresentam a formação de gotículas aderidas na superfície e o líquido arrastado espalha-se como um filme contínuo, escorrendo sobre as peças.

A adição de tensoativo tem a vantagem de reduzir o tempo de drenagem requerido para as partes gancheadas, minimizar a quantidade de líquido aderida à peça e propiciar uma melhor cobertura das peças no processo de eletrodeposição.

Existem várias substâncias com ação tensoativa, em geral, empregam-se sabões e detergentes. A escolha e o uso de determinado tensoativo nos banhos deve ser analisada em conjunto com o fornecedor, que poderá fornecer as características do produto ou indicar aquele que melhor se adapte ao processo de eletrodeposição.

Os banhos de revestimento tais como: níquel e cianeto de cobre, em geral, usam agentes tensoativos. Em alguns banhos, o uso de agentes tensoativos permite a redução do arraste em até 50%, promovendo o aumento da vida útil do banho, a redução da contaminação e da quantidade de água necessária para lavagem das peças.

1.2.1.2 “Blow-Off” ou Sistema de Sopramento de Ar

Esta técnica consiste no emprego de jato de ar para remover a solução do banho aderida às peças. Pelas próprias características do processo, o “blow-off” é mais indicado para processos galvânicos contínuos de fitas ou chapas, alguns processos de tubos ou perfis e peças com formato específico, em gancheiras, permitindo uma redução considerável do arraste.

A remoção do líquido aderido não será tão eficiente nos casos em que as peças apresentem reentrâncias ou obstáculos à entrada do sopro de ar. A *Figura 5* apresenta um esquema em corte do sistema de sopramento de ar.

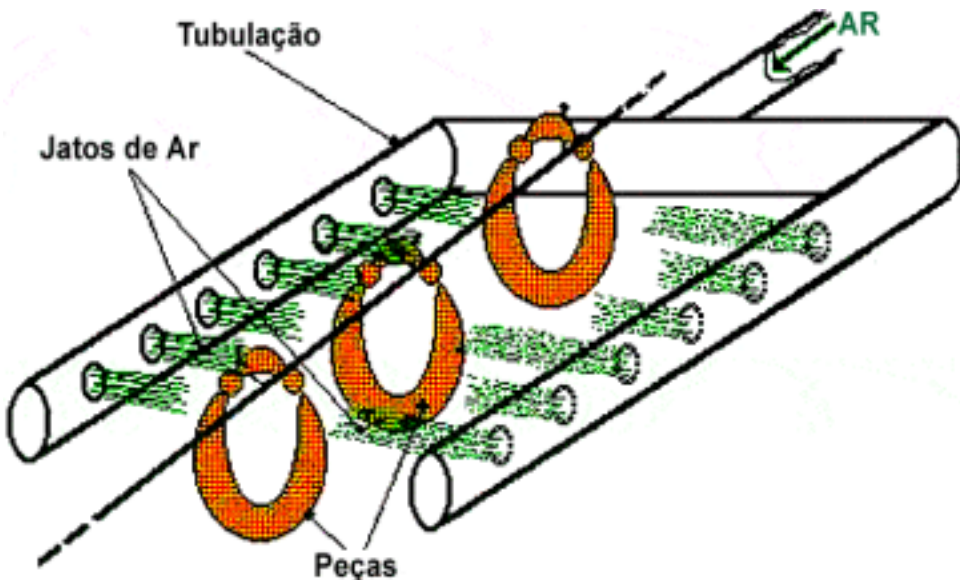


Figura 5: Sistema de sopramento de ar

1.2.1.3 Placas Defletoras

A técnica de placas defletoras consiste na instalação de anteparos, no espaço entre um banho e outro. Tais placas são inclinadas, de forma a coletar as gotas que caem das gancheiras ou cestos de peças e permitir que escurram para o tanque de origem evitando perdas para o piso e aumentando a vida útil dos banhos. Cada gota que retorna ao banho de origem representa uma parcela a menos de contaminante a ser tratado e portanto uma parcela a menos de lodo a ser gerado.

Em instalações já em funcionamento, a colocação dessas placas será recomendada desde que não interfira no trânsito do pessoal, o que irá depender do layout do processo. No entanto, se os banhos forem próximos entre si, a colocação das placas deverá ser considerada.

O material de construção das placas defletoras será o plástico ou outro material resistente aos ácidos e álcalis. Na *Figura 6* pode-se apreciar um esquema, em corte, de banhos com placas defletoras entre eles.



Figura 6: Uso de placas defletoras [10]

1.2.1.4 Posição das Peças

A posição das peças na gancheira deve ser sempre estudada de forma a reduzir o arraste de solução carregadas na passagem de um tanque para o outro. Peças com formato de tubos e perfís longos, devem ficar em posição inclinada, para facilitar o escorrimento do líquido aderido às peças antes de passarem para o tanque seguinte.

A *Tabela 1* apresenta, a título de ilustração, os valores de drenagem verificados para algumas situações.

Tabela 1 – Valores de drenagem para alguns tipos de peças

PERDAS POR ARRASTE	
Posição das peças	Arraste (L/m ²)
Verticais:	
- Boa drenagem	1,62
- Drenagem pobre	8,14
- Drenagem muito pobre	16,29
Horizontais:	
- Boa drenagem	3,25
- Drenagem muito pobre	40,70
Formas de taça:	
- Boa drenagem	3,25
- Drenagem muito pobre	97,7

1.2.1.5 Tempo de Drenagem

As retiradas muito rápidas causam a perda de um grande volume de solução por arraste.

Com uma baixa velocidade de retirada das peças de dentro dos banhos e tempos de drenagem mais longos, o arraste de soluções pelas peças pode ser reduzido em até 50%.

No caso de banhos que operam a altas temperaturas, retiradas mais lentas são necessárias para prevenir a perda da solução por evaporação, que neste caso aumenta o arraste.

A Figura 7 mostra o volume de “drag-out” em função do tempo, para peças de formas horizontais, inclinadas e verticais.

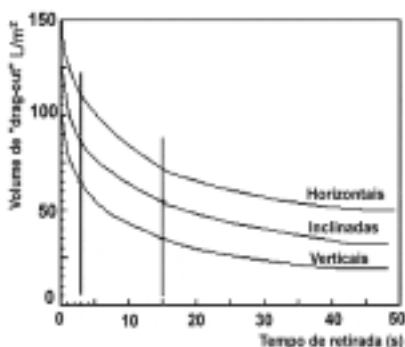


Figura 7: Velocidade de drenagem em função das formas das peças [8]

Observa-se pela *Figura 7* que, para uma retirada “quase instantânea” (instante bem próximo de zero segundos da retirada), os volumes de “drag-out” serão 150, 129 e 97 L/m² para peças horizontais, inclinadas e verticais, respectivamente.

Após 3 segundos de drenagem, o “drag-out” reduz-se a 118, 97 e 64 L/m², ou seja 21, 25 e 50% de redução para as peças horizontais, inclinadas e verticais, respectivamente. Com 15 segundos de drenagem, tem-se uma redução aproximada no “drag-out” de 47, 55 e 60% (78,6; 59,2 e 37,7 L/m²) para as superfícies de peças horizontais, inclinadas e verticais, respectivamente.

Após um tempo relativamente longo (1 minuto por exemplo), observa-se na *Figura 7* que o “drag-out” torna-se constante, ou seja, existe um volume de “equilíbrio” correspondente ao líquido firmemente retido pelas peças. Comparando-se a redução no “drag-out” para 15 segundos de drenagem, com este “drag-out” de equilíbrio (para 1 minuto, 48,4; 32,3 e 19,4 L/m², aproximadamente, nos três casos) obtém-se reduções de 70, 72 e 76% (para as superfícies horizontais, inclinadas e verticais, respectivamente), ou seja, não haverá um ganho apreciável nos próximos 45 segundos de drenagem, ou melhor, em 25% do tempo ter-se-á o escoamento de 75% do volume de líquido total, aproximadamente.

Portanto, a drenagem para todos os formatos de peças estará quase completa após 15 segundos da retirada de dentro do banho, indicando que este será um tempo ótimo de drenagem para a maioria das peças.

Um dos melhores meios de se controlar a perda por arraste de gancheiras ou tambores em linhas manuais é através da instalação de barras sobre o tanque, onde as peças podem ser penduradas por um breve período, garantindo um adequado tempo de drenagem. Uma leve agitação das peças também ajuda a retirar a solução aderida.

A aplicação combinada de agentes tensoativos e tempos mais longos de drenagem pode reduzir significativamente a quantidade de arraste para muitos processos de limpeza e revestimento. Por exemplo, utilizando-se esta técnicas, um arraste típico de solução de níquel pode ser reduzido de 1 L/h para 0,25 L/h.

Nos sistemas de tambor, o mesmo deverá ser vibrado durante o tempo em que estiver drenando sobre o banho, para reduzir o volume de solução de arraste.

1.2.2 Redução do Consumo de Água

A redução do volume de água de lavagem se traduz em economia de tratamento de efluentes e matéria-prima, refletindo em ganhos ambientais. É possível atender aos requisitos do processo e ao mesmo tempo obter uma redução expressiva nos volumes das águas de lavagem.

O propósito das lavagens, nos tratamentos de galvanoplastia, é reduzir, em níveis aceitáveis, as substâncias arrastadas do banho anterior, de forma que não interfiram, ou seja, não contaminem o processo seguinte. Na maioria dos tratamentos químicos, uma diluição da solução arrastada de 1:500 a 1:1000 na água de lavagem apresenta-se como adequada.

Muitos estudos têm sido realizados e resultaram em recomendações para níveis de contaminação. Na *Tabela 2* são mostrados os níveis extremos e intermediários, variando de 1 a 7500 ppm.

Tabela 2: Níveis de Contaminação na Seqüência do Processo [9]

Tabela 2: Níveis de Contaminação na Seqüência do Processo [9]

Estágio que precede a lavagem	Concentração do Contaminante (ppm)
Desengraxe alcalino	7500
Desengraxe alcalino	750
Decapagem ácida	750
Desengraxe alcalino	375
Decapagem HCl	375
Banho de Cromo	38
Decapagem H ₂ SO ₄	15
CN ⁻ ou Cr ⁶⁺	1

Uma concentração de água de lavagem bastante comum, para lavagens após a decapagem ou estágios de limpeza seguidos de eletrodeposição ou aplicação de camadas de conversão é de 750 ppm [9]. Níveis de contaminação menores, tais como 375, 38 e 15 ppm, são obtidos com a introdução do estágio de lavagem seguinte. Contaminantes restritivos, tais como cianeto e cromo solúvel, são mantidos a 1 ppm ou menos.

As técnicas de lavagem mais comumente utilizadas na galvanoplastia podem ser relacionadas de acordo com os tipos de circulação da água de lavagem, equipamentos e processos utilizados:

- *Lavagem por imersão*
 - *descontínua (com ou sem tanque de recuperação)*
 - *contínua ou em "cascata"*
 - *contínua com condutímetro economizador*
 - *contínua com chave de fim de curso*
 - *Lavagem por jato d'água*
-

-
- *chuveiro com acionamento manual*
 - *chuveiro com acionamento por pedal economizador*
 - *chuveiro com acionamento automático*
 - *lavagem com “spray”*
 - *Lavagem com turbilhonamento*
 - *Lavagem à quente*
 - *Lavagem química e eletroquímica*
 - *Técnica do “Skip”*

Como uma das técnicas de redução do consumo de água também é citado o orifício limitante. A escolha entre as alternativas dependerá das necessidades de cada empresa, de forma a obter o máximo de economia, eficiência no processo e ganho ambiental.

1.2.2.1 Lavagem por Imersão

A lavagem por imersão, também conhecida como tanque de recuperação, consiste em simplesmente mergulhar as peças da gancheira ou tambor no tanque contendo água, de forma a transferir os contaminantes arrastados do banho anterior para a água de lavagem.

As lavagens em tanques podem ser classificadas em contínuas e descontínuas. Na lavagem descontínua não há entrada ou saída de água. Na lavagem contínua, mais conhecida como em “cascata”, onde tem-se mais de um tanque com circulação de água entre eles.

A lavagem por imersão descontínua pode ser realizada com um ou mais tanques em série ou então num tanque com duas ou mais divisões.

· **Lavagem descontínua com um tanque de recuperação**

Esta lavagem é utilizada para remover a maior parte da solução arrastada pelas peças, sendo a água de lavagem usada periodicamente para repor as perdas por evaporação e arraste dos banhos.

Em muitos casos, o uso desta técnica de recuperação reduz em até 90% o arraste de banhos para o efluente e aumenta consideravelmente a vida útil dos banhos, com evidente economia pela maior frequência de sua reposição.

Caso haja um tanque de lavagem subsequente ao tanque de recuperação, a limpeza obtida ou a contaminação desta lavagem será bem menor do que o arraste do banho de processo para o tanque de recuperação.

Após cada lavagem de peças neste tanque, a concentração de contaminantes irá aumentando até o ponto em que esta torna-se praticamente igual àquela do banho anterior e a eficiência de lavagem será praticamente nula. Esse inconveniente é evita-

do com a renovação periódica do tanque de recuperação com água limpa. Esta periodicidade será determinada pelo volume do tanque de recuperação, calculado com base no volume de solução arrastada pelas peças, contaminação máxima permitida no processo seguinte e volume de produção.

· Lavagem descontínua com dois tanques ou mais

Neste sistema pode-se utilizar dois tanques em série ou um tanque com uma ou mais divisões, de forma a obter uma melhor limpeza das peças. A água proveniente destas lavagens, após atingir certa concentração de sais, poderá ter como destino o tratamento de efluentes da empresa ou, então, servir como novos tanques de recuperação principalmente no caso dos banhos de douração. Neste caso, o número de tanques de recuperação será limitado pela relação custo/benefício econômico e ambiental com o custo da recuperação e a economia de matéria-prima obtida.

1.2.2.2 Lavagem Contínua ou Lavagem em Cascata

Uma técnica que hoje já está bastante difundida, embora nem sempre aplicada, é a de lavagem em cascata contra-corrente *Figura 8*. A técnica funciona como no caso da lavagem descontínua já vista, só que com água entrando continuamente, em sentido contrário ao das peças, denominado de contra-corrente. Com o uso desta técnica, obtém-se reduções substanciais nas vazões de águas de lavagem. A eficiência deste sistema depende de um controle de vazão mais rigoroso.

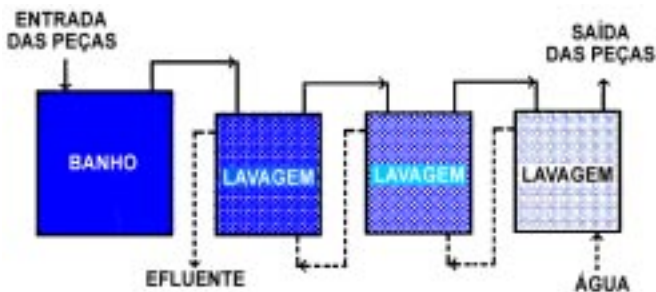


Figura 8: Lavagem em cascata [10]

A vazão de água de lavagem necessária (Q), a ser calculada, será dada pelas seguintes fórmulas[10]:

$$Q = T \cdot DO$$

onde: T = taxa de lavagem
Q = vazão da água de lavagem (L/h)
DO = arraste de banho (L/h)

$$T = \left(\frac{C_i}{C_n} \right)^{1/N}$$

onde: C = Concentração inicial
 C^i = Concentração no tanque "N" (último tanque)
 N^n = número de tanques de lavagem

Tomando-se como exemplo uma linha de niquelação, pode-se calcular o consumo de água necessário em função do número de tanques de lavagem em cascata adotado.

Considere, neste exemplo, um banho de níquel com 82.000 mg/L de níquel. Após o banho, tem-se um tanque de recuperação, que se considera, de forma conservadora, com concentração provável de 8.200 mg/L de níquel.

A concentração inicial (C) é de 82.000 mg/L, sem tanque de recuperação e de 8.200 mg/L com tanque de recuperação. Deseja-se na última lavagem, uma concentração (C) de no máximo 150 mg/L de níquel o que, por experiência, representa uma excelente qualidade de lavagem.

A quantidade de banho arrastado pelas peças de um banho para o seguinte, denominado DO ("Drag-Out"), varia na maioria dos casos de 2 a 10 L/h. Neste exemplo, considera-se DO = 10 L/h. Resumindo tem-se:

Sem tanque de recuperação:

$$C_i = 82.000 \text{ mg/L Ni}$$

Com tanque de recuperação:

$$C_i = 8.200 \text{ mg/L Ni}$$

$$DO = \text{Arraste de Banho} = 10 \text{ L/h}$$

Substituindo os valores adotados nas fórmulas, obtém-se a *Tabela 3*. É evidente que quanto maior for o número de tanques de lavagem, em sistema cascata em contracorrente, menor será a vazão de água de lavagem necessária para obter a mesma qualidade de lavagem, até o limite teórico em que o valor de Q tenderá a se igualar ao valor de DO.

Note que, em todos os cálculos, não apareceu o volume dos tanques, sendo apenas importante o valor de DO.

Ocorre que cada lavagem adicional representa um custo de investimento,

Tabela 3: CÁLCULO DE Q (VAZÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM) COM E SEM TANQUE DE RECUPERAÇÃO

Número de Tanques de Lavagem	Volume de Água de Lavagem (Q-L/h)	
	Tanque de recuperação	
	sem tanque	com tanque
1	5466,7	546,7
2	233,8	73,9
3	81,8	38,0
4	48,4	27,2
5	35,3	22,3
10	18,8	14,9
100	10,7	10,4

mão-de-obra e tempo de operação industrial. Para fins práticos, recomenda-se que após banhos menos nobres, como desengraxe e decapagem, sejam adotadas lavagens duplas.

Para banhos onde existe interesse em recuperar metais ou se queira repor as perdas por evaporação, é recomendado o uso de lavagens triplas ou mesmo quádruplas. Em banhos onde há muita evaporação, a saída do último tanque de um sistema de lavagem quádrupla pode ser utilizada para lavar as peças na saída do banho, sob a forma de “spray”, evitando-se qualquer descarte de águas de lavagem contendo cromatos.

· Eficiência do tanque contínuo sem trabalho (operando “no vazio”)

Uma lavagem contínua é eficiente quando a quantidade de produtos químicos introduzida no tanque é igual a quantidade eliminada. Quando um tanque permanece com fluxo de renovação correndo livremente, sem trabalho, a eficiência decresce rapidamente. Um exemplo pode ser visto na *Figura 9*, onde se pode observar no eixo das ordenadas a eficiência de lavagem.

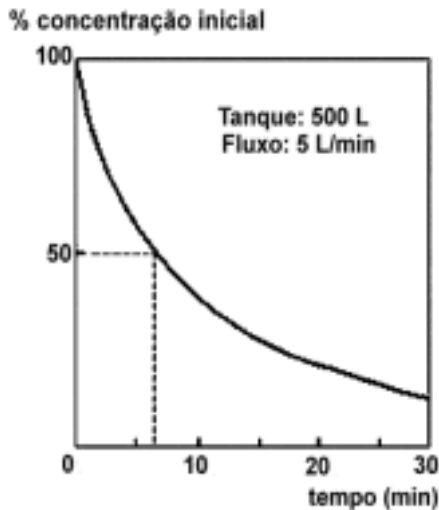


Figura 9: Eficiência da lavagem [9]

Neste gráfico verifica-se que se a eficiência de lavagem desejada for 100%, ela cairá para 50% em aproximadamente sete minutos. Haverá então uma demanda de água duas vezes maior para remover a mesma quantidade de sais do que foi conseguido no início. Após 10 minutos, o fluxo total será equivalente ao volume do tanque e a eficiência de lavagem será de aproximadamente 37%. Isto porque a curva segue uma equação exponencial, e, dentro dos limites do erro experimental, a concentração cairá de acordo com a equação:

$$C = C_i e^{-kt}$$

onde: C = concentração em qualquer instante;
 C_i = concentração inicial;
 k^i = constante de tempo (1/min)
 t = tempo (min)

Nesse caso, k é a taxa de lavagem (50/500, ou 1/10). Para $t = 10$ min, $C/C_i = 0,37$ ou 37% da concentração inicial.

· Lavagem contínua com condutivímetro economizador

A instalação de um condutivímetro economizador, acoplado ao sistema de lavagem, reduz de forma substancial o consumo de água nos tanques de lavagem. O condutivímetro consiste de um sensor que é colocado em posição estratégica no tanque, mede a condutividade ou o grau de saturação da água, enviando um sinal ao gabinete eletrônico do condutivímetro, que por sua vez comandará a entrada automática de água através de uma válvula solenóide (*Figura 10*).

Um fator importante para o bom uso deste sistema é uma boa homogeneização do banho para garantir a ausência de áreas com diferentes níveis de saturação.

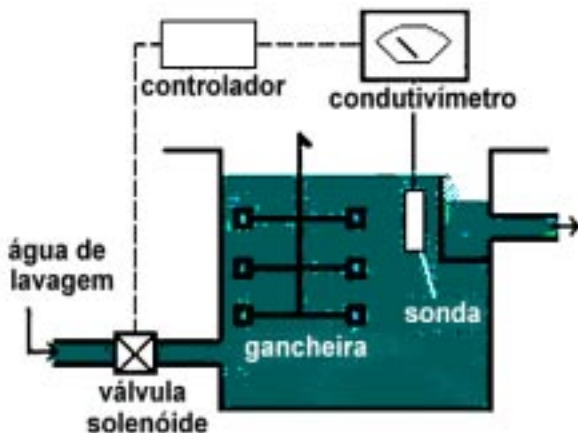


Figura 10: Uso de condutivímetro economizador [9]

Um determinado valor é ajustado no aparelho de modo que reflita o maior grau de saturação da água de lavagem, ou seja, a partir desse grau, a lavagem das peças estará comprometida.

Uma vez ajustado, sempre que o aparelho acusar um valor superior a este, uma válvula solenóide será acionada automaticamente, permitindo a entrada de água limpa no processo. Com a entrada desta água, o analisador desliga a válvula, somente voltando a abri-la quando necessário, evitando-se assim o desperdício e garantindo a qualidade da lavagem das peças.

Desta forma, somente haverá consumo de água quando esta for realmente necessária. É um sistema com boa relação custo/benefício, com prazo estimado de retorno do investimento de poucos meses, dependendo do porte da empresa.

· **Lavagem contínua com chave de “fim-de-curso”**

Consiste na instalação de uma válvula solenóide na linha de alimentação de água, acionada por uma chave de “fim-de-curso”, de forma que, somente quando a gancheira for colocada no tanque de lavagem, sua barra de sustentação acionará a chave de fim-de-curso que abrirá a válvula solenóide, permitindo a entrada de água no tanque.

A gancheira, ao subir, desligará a chave de fim-de-curso e assim, quando não houver gancheira para ser lavada, não estará correndo água de lavagem para o tanque.

· **Determinação prática dos valores de controle da lavagem contínua**

Dentre os parâmetros mais importantes para o controle das lavagens contínuas pode-se citar: concentração de contaminantes da água de lavagem, volume de arraste (DO) e vazão de água de lavagem. Existem três maneiras para se determinar a concentração de contaminantes (C) na água de lavagem:

- por meio de estimativa da composição nominal e conhecida para a montagem do banho, usando-se a mesma para cálculos da água de lavagem;
- análise por via úmida ou por outro método analítico desejado, permitindo a obtenção de resultados mais precisos, ou,
- pelas medidas de condutividade da solução, realizando-se uma série de adições da solução em questão na água de lavagem, medindo-se a condutividade após cada adição. Obtém-se com isso uma curva de calibração ou a relação entre a concentração e a condutividade, que servirão de padrão para analisar a água de lavagem.

Para se determinar o volume de solução arrastada para o tanque de lavagem (DO), mede-se sua condutividade inicial, adiciona-se certa quantidade de solução e mede-se a condutividade final, estabelecendo-se o aumento de condutividade para este volume de calibragem.

Processando-se um número sucessivo de gancheiras ou tambores em uma água de lavagem não usada, mede-se a condutividade após a remoção de cada gancheira e, por meio de um gráfico, traça-se uma linha entre os pontos de leitura que expressa o aumento de condutividade contra o número de gancheiras. Pela confrontação do aumento de condutividade com o volume de calibragem, obtém-se os mililitros arrastados por gancheira ou tambor.

O fluxo de água (Q) é obtido pela equação de equilíbrio, sendo esta função dos elementos citados anteriormente.

1.2.2.3 Lavagem por Jato D'água

A lavagem por jato d'água, comumente conhecida como “chuveirinho”, consiste em empregar jatos múltiplos de água, com ou sem pressão, sobre as peças de forma a remover a contaminação. Os jatos podem ser operados manual ou automaticamente, sob as mais diferentes formas e configurações, sendo as mais utilizadas citadas a seguir. Estas técnicas propiciam uma grande economia de água na lavagem de peças.

· **Chuveiro de acionamento manual**

O chuveiro de acionamento manual pode ser do tipo fixo ou removível. O chuveiro fixo consiste em bocais ou tubos que liberam os jatos d'água quando o operador abre uma válvula, devendo então movimentar as peças sob os jatos para lavá-las, após o que ele fecha a válvula e interrompe o fluxo d'água. Esse sistema tem o inconveniente de desperdiçar água no caso do operador esquecer a válvula aberta ou quando for grande a distância entre ele e a válvula.

O chuveiro removível consiste de uma mangueira flexível acoplada a uma válvula e a um chuveiro com bocais perfurados na extremidade, sendo que este conjunto pode ser movimentado em todas as direções. A liberação do fluxo de água faz-se quando o operador pressiona o gatilho manual da válvula. O operador segura as peças com uma das mãos e, com a outra, aperta o gatilho liberando a água na quantidade desejada, direcionando-a onde achar conveniente. Quando bem operado, este sistema permite grande economia de água.

· **Chuveiro com acionamento por pedal economizador**

Neste sistema, dois chuveiros com o formato de tubo perfurado são normalmente fixos dentro de um tanque. O fluxo de água é controlado por um registro localizado no piso, acionado pelo pé do operador. Neste caso, o operador tem as duas mãos livres, podendo segurar dois conjuntos de peças ao mesmo tempo. Sempre que o operador tirar o pé do registro, interromperá o fluxo de água.

A desvantagem deste sistema é a necessidade de manutenção periódica, pois o material pode quebrar com mais facilidade ou sofrer corrosão.

· **Chuveiro com acionamento automático**

Este é um sistema em que a água é acionada por meio de sensores, sem a intervenção do operador, liberando água por tempo controlado. Um dos tipos de chuveiros de acionamento automático consiste de foto-células colocadas na parede do tanque de lavagem. Toda vez que o operador introduz peças no tanque, as foto-

células enviam um sinal ao sistema de controle que acionará uma válvula solenóide que abrirá e permitirá o fluxo de água para os bocais ou chuveiros instalados sobre o tanque. Após um tempo pré-determinado, o sistema interrompe o fluxo de água, o que torna este sistema bastante econômico quanto ao consumo de água.

· Lavagem com “Spray”

A lavagem com “spray” é feita pela aplicação de uma névoa fina de água que tem a capacidade de aderir às peças, escorrendo e levando consigo o arraste do banho anterior. A vantagem sobre o chuveiro é o reduzido consumo de água.

Em alguns casos é possível se fazer a lavagem de peças com um “spray” que é acionado no instante em que as gancheiras são removidas do banho (Figura 11). É uma prática comum em instalações automáticas, onde o acionamento do “spray” é feito por uma chave de fim-de-curso, cujo desligamento é temporizado.

A lavagem em “spray” devolve a solução para o tanque de origem, reduzindo seu arraste para as águas de lavagem. Em banhos com muita perda ou evaporação, o tanque de recuperação pode ser substituído por uma lavagem em “spray” diretamente sobre o banho.



Figura 11: Lavagem em “spray”

1.2.2.4 Lavagem com Turbilhonamento

O turbilhonamento promove um maior contato entre as peças e a água de lavagem, aumentando a eficiência de limpeza das peças.

Esta técnica consiste na agitação do tanque de lavagem por meio de agitação mecânica, recirculação da solução por bomba ou insuflamento de ar, sendo este último o mais empregado pelas indústrias.

O turbilhonamento, quando combinado com as outras técnicas de redução

de consumo de água, como na lavagem em cascata, possibilitará o aumento da sua eficiência.

A prática mais comum é a utilização de insuflamento de ar no tanque de lavagem, tendo-se o cuidado de filtrá-lo para evitar a entrada de poeira e óleo do compressor, que poderiam contaminar as águas e sujar as peças, prejudicando seu acabamento. Ao invés da utilização de ar comprimido, que pode estar contaminado com óleo, pode-se usar ar oriundo de um soprador ou bomba tipo “Roots”, que tem a capacidade de fornecer ar com grande vazão e baixa pressão, necessitando apenas de filtro para poeira.

1.2.2.5 Lavagem a Quente

A lavagem em água quente reduz o tempo de lavagem. Quanto maior for a temperatura, menor a viscosidade da água e maior a velocidade de difusão dos íons, havendo portanto um duplo efeito de melhoria da eficiência de lavagem. Em todo caso, é necessário cuidado no emprego de água quente, pois algumas vezes o efeito é negativo, acelerando reações de oxidação da superfície, causando manchas e escurecimento nos acabamentos.

As galvanoplastias costumam utilizar um tanque de água quente “parada”, isto é, com temperatura mantida alta e que não é renovado constantemente. Este tanque tem a finalidade de manter as peças aquecidas e livres da oxidação do ar, entre um banho e outro.

É prática comum esvaziar o tanque de água quente uma vez por semana. Quando isto é feito, perde-se de uma só vez a carga térmica da água e, dependendo do volume descartado, poderá prejudicar a estação de tratamento de efluentes.

No caso de indústrias de galvanoplastia que operem com grandes volumes de água quente, é possível evitar o descarte e a perda de toda carga térmica, utilizando-se a técnica de alimentação controlada, que consiste em prover o tanque com vazão contínua.

Por exemplo, um tanque de água quente com 900 litros de capacidade, operando 16 h/dia, 6 dias por semana, poderia ser alimentado com uma vazão média de 9,4 L/h, que corresponde a uma renovação semanal do seu conteúdo, sendo necessário aquecer apenas esta vazão por hora e, a carga térmica não será perdida de uma só vez, pois o tanque não precisará ser descartado. Com a adoção desta técnica, obtém-se uma qualidade de água quente constante ao longo de toda a semana.

Nos fins de semana, assim como no período noturno, o tanque deve ser coberto para evitar perdas de calor na superfície e, com isso, ganha-se tempo no reinício do processo quando é realizado o aquecimento do tanque.

O efluente deste tanque poderá ainda ser utilizado num tanque de lavagem anterior, cuja alimentação poderá ser reduzida na mesma proporção.

Havendo necessidade, a entrada de água também poderá ser controlada pela

instalação de um sistema de ajuste automático de pH, que permitirá a entrada de água no sistema sempre que este cair abaixo de um valor pré-determinado, prevenindo-se com isso a corrosão da bomba de recirculação e mantendo-se sempre uma lavagem eficiente dos gases.

1.2.2.6 Lavagem Química e Eletrolítica

A água de uma neutralização ou ativação ácida pode ser recirculada para agir como lavagem após um tanque de desengraxe alcalino. Isso foi utilizado com sucesso nos EUA e Europa com economia considerável de água.

Dependendo do processo e soluções usadas, também pode-se sugerir uma lavagem eletrolítica, que acelera o processo pela movimentação de íons, podendo-se aplicar corrente alternada ou contínua.

1.2.2.7 Técnica do “Skip”

A técnica do “skip” (*Figura 12*) consiste em utilizar a água de lavagem da saída de um tanque para alimentar outro tanque de lavagem em outra etapa do processo. Como exemplo, cita-se o aproveitamento da água de lavagem da decapagem para lavar as peças que saem do desengraxe.

Para que isto possa ser feito, é necessário antes verificar alguns requisitos fundamentais:

- o nível de saída dos tanques de lavagem deve ser ajustado para que a água flua por gravidade;
- o tanque de lavagem, após o desengraxe, deve ter revestimento anti-ácido;
- é preciso certificar-se de que o desengraxante não tem cianetos em sua formulação.

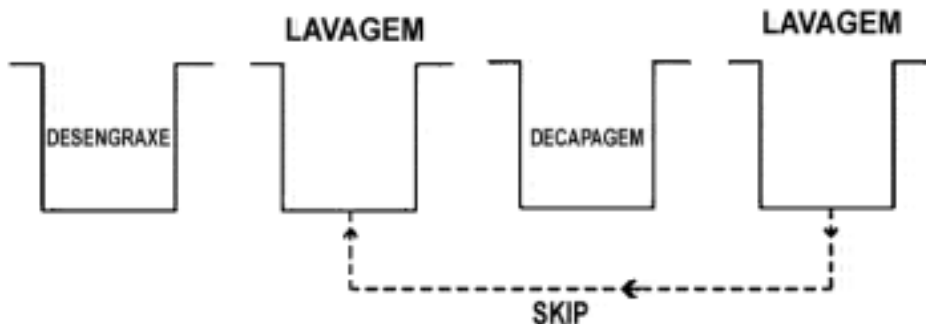


Figura 12: Lavagem com “skip” [10]

1.2.2.8 Orifícios Limitantes

A técnica dos orifícios limitantes traduz-se no uso de restrições, em geral placas de orifício, em tubulações e linhas de alimentação de águas de lavagem, tais como em chuveiros, tanques, etc. Estes orifícios permitem a passagem de uma certa vazão fixa de saída de água, que, dentro de certos limites, não varia com a pressão de entrada do orifício da placa.

Essa técnica deve ser empregada quando a pressão de entrada no tanque for alta e o operador não tiver um meio adequado de controle da vazão. Normalmente, dentro dos processos, existem diversos “registros” ou válvulas de gaveta que funcionam totalmente abertos ou fechados, permitindo ou interrompendo a entrada de água no sistema, porém não se prestando ao ajuste da vazão. Uma vez determinada a vazão máxima necessária ao processo, escolhe-se o diâmetro de orifício que permitirá essa vazão. O operador poderá então abrir totalmente o “registro” de entrada de água que a vazão a jusante do orifício limitante será praticamente constante.

Os orifícios limitantes “caseiros” podem ser construídos de modo bastante simples, intercalando-se um disco plástico de 5 mm de espessura em uma união ou algum ponto da tubulação, de preferência na entrada do processo que se deseja controlar. Fazem-se uma série de discos, cada qual com um furo central de diâmetro diferente (por exemplo, brocas de 1/8”, 3/6”, 1/4” e etc), instala-se um de cada vez e testa-se a vazão de saída, selecionando-se o mais indicado.

A Figura 13 apresenta um esquema de um desses orifícios.

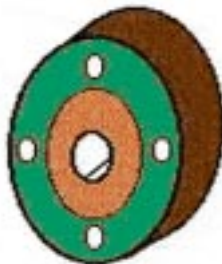


Figura 13: Orifício Limitante

1.2.3 Purificação e Reciclagem de Insumos

Como técnicas para purificação e reciclagem de insumos, pode-se citar:

- colunas trocadoras de íons ou resinas de troca iônica;
- evaporadores à vácuo;
- ultrafiltração;
- osmose reversa.

A seguir tem-se a descrição sucinta de cada uma destas técnicas.

1.2.3.1 Colunas Trocadoras de Íons

A troca iônica é uma tecnologia promissora em termos de ganhos econômicos e ambientais. A técnica consiste no uso das chamadas resinas trocadoras de íons e pode ser empregada nas indústrias de galvanoplastia para remover todos os metais e íons dissolvidos nos efluentes e ainda permitir o reaproveitamento da água.

As resinas são, em geral, polímeros sintéticos (moléculas longas de alto peso molecular) insolúveis (sólido granulado), possuidoras de “sítios” ativos, capazes de reagir com os íons positivos (cátions) ou negativos (ânions) presentes nas soluções. As resinas catiônicas reagem com os cátions de metais pesados usados nas galvanoplastias como o cobre (Cu^+ Cu^{+2}), níquel (Ni^{+2}), cromo (Cr^{+3} , Cr^{+6}), prata (Ag^+), ouro (Au^+), e o amônio (NH_4^+). Por sua vez, as resinas aniônicas reagem especificamente com ânions, como o sulfato (SO_4^{-2}), nitrato (NO_3^-), carbonato (CO_3^{-2}), cloreto (Cl^-), hidróxido (OH^-) e cianeto (CN^-). As resinas são bastante seletivas pois existem as de caráter forte ou fraca, conforme tenham a capacidade de reagir com ânions fortes (sulfato, cloreto) ou fracos (cianeto, carbonato) e cátions fortes (metais) ou fracos (amônio).

Uma das vantagens do emprego das resinas é que, uma vez esgotados seus sítios ativos ou pontos na molécula capazes de reagir, ou melhor, depois de saturadas, podem ser regeneradas através da recuperação de sua capacidade de retenção de íons. A regeneração das resinas catiônicas é realizada pela passagem de uma solução concentrada de ácido forte pelas resinas e no caso da aniônica uma solução de base forte. Outra vantagem é que passando-se os efluentes galvânicos pelas resinas catiônica e aniônica sucessivamente, pode-se obter água praticamente desmineralizada, que poderá retornar ao processo. Na realidade, a obtenção de água desmineralizada é mais complexa, pois exige o uso de pelo menos mais um estágio com resina aniônica fraca. A *Figura 14* apresenta um esquema do sistema de troca iônica, utilizando três estágios (resina catiônica forte, aniônica forte e fraca).

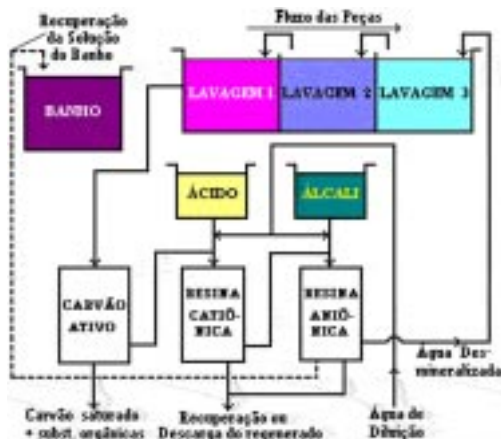


Figura 14: Sistema de Troca Iônica [5]

· Mecanismo de funcionamento da troca-iônica

Inicialmente, a água passa por uma coluna que contém quartzo de granulometria variada e carvão ativo, para retenção de sólidos e adsorção de matéria orgânica. Este procedimento garante um melhor funcionamento das resinas trocadoras de íons.

O primeiro estágio de troca iônica do sistema é efetuado na coluna com resina catiônica forte. A troca ocorre entre o íon hidrogênio (H^+) da resina com todos os cátions dos metais (Cu^{++} , Ni^{++} , Zn^{++} , Fe^{++}) presentes na água. A medida que estes vão se acumulando nos sítios ativos ocorre a liberação do H^+ para a água.

No segundo estágio, a água passa pela coluna que contém a resina aniônica fraca, na qual ocorre a troca entre os ânions dos ácidos fortes (SO_4^{--2} e NO_3^- , por exemplo) com a hidroxila (OH^-). Nesta etapa ainda restam na água todos os ânions dos ácidos fracamente dissociáveis (CO_3^{-2} e CN^- , por exemplo).

Com a introdução de um terceiro estágio de troca iônica, através de uma coluna com resina aniônica forte, ocorre a troca com o OH^- de todos os ânions dos ácidos fracamente dissociáveis que ainda estavam presentes na água.

Finalmente, após a percolação das águas de lavagem pelos leitos de resina, pode-se retornar a água ao processo produtivo, obtendo-se uma grande economia.

Quando as resinas atingem a saturação, deve-se efetuar sua regeneração e o efluente proveniente deste sistema, denominado eluato, deverá ser enviado à estação de tratamento convencional. A vantagem é a geração de um menor volume de eluato, porém, mais concentrado em metais, que requer um período maior para o tratamento e, com isso, maior segurança e melhor monitoramento.

As colunas de troca iônica são geralmente constituídas por cilindros de fibra de vidro transparente ou não, possuindo internamente aspersores e captadores especiais de água nos leitos de resinas. São dotadas de tubulações externas para operações de funcionamento normal, lavagem ou regeneração, com válvulas especiais e instrumentos de controle de ciclos (hidrômetros).

A carga de resinas acondicionada nas colunas trocadoras de íons é previamente calculada em função do projeto e constitui uma das principais partes do equipamento de troca iônica.

Finalmente, cabe ressaltar que a quantidade de lodo a ser gerado no tratamento do eluato será estequiometricamente igual de um sistema convencional que trata diretamente os efluentes provenientes do processo produtivo.

1.2.3.2 Evaporadores à Vácuo

O uso de evaporadores à vácuo visa proporcionar um método economicamente viável e ambientalmente vantajoso de concentração de águas por meio de destilação e com isso reduzir o volume de líquidos a serem tratados ou recuperados. Permite também que a água destilada seja retornada e reaproveitada nos processos galvânicos.

O sistema de evaporação baseia-se na combinação de duas técnicas que permitem uma notável facilidade de instalação e de controle com baixo consumo energético, representados por: bomba de calor e vácuo. O processo de ebulição à vácuo utiliza exclusivamente energia elétrica que, mediante ciclo frigorífico, permite uma destilação a custo moderado.

· Mecanismo de funcionamento do evaporador à vácuo

De acordo com a *Figura 15*, basicamente o evaporador à vácuo consiste de uma câmara de ebulição, câmara de condensação, compressor frigorífico e câmara de resfriamento.

O compressor frigorífico ao comprimir o gás eleva sua temperatura para cerca de 60 a 70°C. Este gás circula por uma serpentina instalada dentro da câmara de ebulição que opera sob vácuo. A serpentina funciona como trocador de calor, elevando a temperatura da solução na câmara e mantendo-a em ebulição.

O vapor despreendido da solução em ebulição é encaminhado para a câmara de condensação e o gás que circula pela serpentina passa por uma outra serpentina (trocador de calor auxiliar), onde sofre resfriamento adicional por um fluxo de ar ou de água, sendo então direcionado para a câmara de condensação.

Na câmara de condensação este gás resfriado passa por outra serpentina, onde ele é expandido, ocorrendo troca de calor, entre o vapor advindo da câmara de ebulição e a serpentina. Nesta troca o vapor condensa-se retornando ao estado líquido e produzindo o vácuo necessário na câmara de ebulição. Este efluente líquido da câmara de condensação tem boa qualidade e é aproveitado no processo produtivo. O gás após passar pela serpentina de condensação, é direcionado novamente para o compressor, completando o ciclo.

Algumas vantagens na utilização do equipamento:

- extrema compatibilidade com os processos de tratamento de superfície;
 - funcionamento totalmente automático sem necessidade de controle;
 - alimentação com energia da rede;
 - baixo consumo energético;
 - total ausência de fumos e odores;
 - constância no resultado;
 - funcionamento contínuo.
-

Na *Figura 15* pode-se visualizar um esquema simplificado de um evaporador à vácuo.

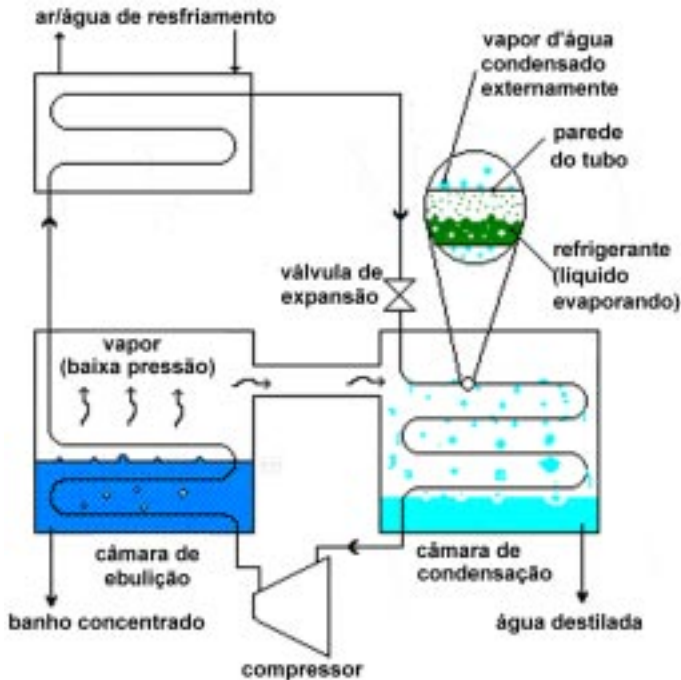


Figura 15: Sistema de Evaporação à Vácuo [8]

1.2.3.3 Ultrafiltração e Osmose Reversa

Está comprovado que níveis de contaminação de 1 a 5% elevam os custos da unidade de galvanoplastia e prejudicam a qualidade do produto final. O controle de qualidade deve ter uma nova abordagem no sentido de determinar as possíveis fontes de contaminação e escolher a melhor forma de eliminá-las, para que a produção ocorra em condições limpas.

Em geral, muita atenção é dispensada aos banhos de deposição, embora a maioria dos meios filtrantes utilizados sejam incapazes de remover contaminantes antes que sejam co-depositados no substrato. Portanto, a atenção deve ser direcionada aos limpadores, águas de enxágüe, substâncias químicas utilizadas nos banhos e outras fontes de contaminação. O uso de sistemas adequados de filtração permitem a remoção de até 99,9% de contaminantes.

Os sistemas de ultrafiltração e osmose reversa têm sua operação baseada no princípio de separação dos sólidos em suspensão ou dissolvidos na solução através do uso de membranas. A passagem do líquido (chamado eluato) e a retenção dos sólidos depende do tamanho dos poros da membrana, do tamanho dos contaminantes e da magnitude da pressão aplicada.

O sistema de osmose reversa retém quase todos os sólidos dissolvidos. O sistema de ultrafiltração é muito eficaz na separação de água e óleos emulsificados, sendo muito utilizado pelas unidades de galvanoplastia para separar os metais em suspensão das águas de lavagem.

Nas Figuras 16 e 17 visualiza-se esquemas típicos de ultrafiltração e osmose reversa, respectivamente.



Figura 16: Sistema de Ultrafiltração [8]

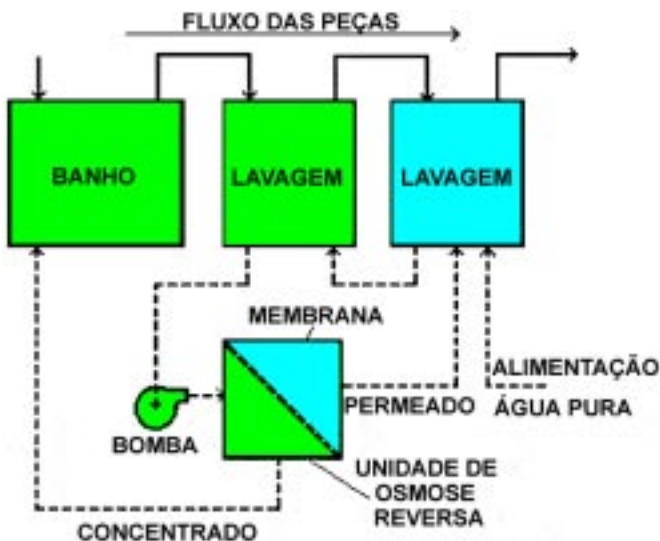


Figura 17: Sistema de Osmose Reversa [8]

1.3 Substituição de Matérias-Primas

A substituição de matérias-primas nas galvanoplastias, por outras menos agressivas ambientalmente, iniciou-se há pouco tempo nos EUA, com o advento de regulamentos mais rígidos no controle da poluição.

A substituição de materiais tóxicos e poluentes como cianeto e cromo hexavalente, usados nos banhos, além de ser benéfica ao meio ambiente e ao trabalhador, proporciona a redução dos custos de tratamento.

A decisão pela substituição de matérias-primas nem sempre é fácil, cabendo antes alguns questionamentos:

- os substitutos são práticos e estão disponíveis no mercado?
- a substituição estará solucionando um problema e criando outro?
- a qualidade do produto ou a produção serão afetadas?
- a substituição trará alteração nos custos?

Uma relação favorável entre os benefícios e custos esperados na substituição será indicativa para que a substituição possa ser viável.

Os banhos que utilizam produtos químicos tóxicos e requerem um tratamento de alto custo são os focos principais da estratégia de substituição de matérias-primas. Dentre as passíveis de substituição e, de acordo com o processo ou banho em que normalmente são empregados na indústria de bijuterias, podem ser citados:

- ácido nítrico na limpeza de latão;
- cianeto dos desengraxantes para não-ferrosos;
- cianeto nos banhos de cobre;
- níquel no banho de níquel “strike” ácido;
- cianetos nos banhos de pré-ouro alcalino, ouro alcalino, cor final;
- cromo no banho de verniz para acabamento.

1.3.1 Substituição do ácido nítrico na limpeza do latão

A denominada decapagem brilhante é um processo de limpeza para peças de latão que utiliza uma solução de peróxido de hidrogênio, conhecida como água oxigenada, adicionada de ácido sulfúrico.

Algumas características e vantagens desse processo em relação àquele com ácido nítrico são:

- não existe formação de óxido nitroso, apenas água e oxigênio;
 - é menos agressivo, evitando a decapagem excessiva;
 - fácil remoção do arraste por simples lavagem;
 - utilizado tanto em tambores como em cestos para peças a granel;
-

-
-
- o tratamento do efluente é simples, havendo somente a necessidade de neutralizar o ácido sulfúrico diluído;
 - permite recuperação do cobre por simples eletrólise ou precipitação por resfriamento da solução a 15°C.

1.3.2 Substituição do Cianeto nos Desengraxantes para Não-Ferrosos

Atualmente existem no mercado novos desengraxantes de base alcalina, isentos de cianeto, usados para limpeza de cobre, latão, aço e zamak. Estes desengraxantes tem como principais características:

- pode ser usado por imersão ou processo eletrolítico, para peças em gancheiras e a granel em tambores rotativos, assegurando superfícies limpas e ativas para etapas posteriores;
- contém produtos químicos (quelantes e dispersantes) que auxiliam a sua ação detergente, assegurando perfeita remoção de resíduos (óxidos, gorduras e outras substâncias) que possam impedir a perfeita aderência do metal a ser depositado;
- tem ótima ação sobre metais não-ferrosos, sendo indicado para limpeza de peças de zamak (liga de estanho) e latão polidas, antes da eletrodeposição. Nesse caso, o processo pode ser de imersão e eletrolítico, sucessivamente, sem enxágüe intermediário. Remove as sujeiras, sem escurecer ou manchar as peças;
- pode utilizar tanque de aço munido de exaustão para remover o vapor formado pela temperatura de operação e aquecedores elétricos de imersão ou trocadores de calor para aquecimento a vapor.

1.3.3 Substituição do Cianeto nos Banhos de Cobre

A utilização de banhos de sulfato de cobre em meio ácido ao invés do cianeto de cobre em meio alcalino, permite uma redução significativa nas emissões de cianeto, como também melhora a segurança do trabalhador.

O banho de cobre à base de pirofosfato de cobre é outra alternativa para substituir os banhos convencionais, apesar de ser ainda pouco aplicado, em parte pelo seu alto custo de implantação e operação. Como características e vantagens principais, podem ser citadas:

- baixa concentração de cobre, acarretando menor toxicidade;
 - menor geração de lodos devido às concentrações inferiores de cobre;
 - pH mais baixo que os processos convencionais (8,8 a 9,8) ;
 - alta penetração, facilitando o processo de tambor rotativo;
 - permite alta densidade de corrente e, portanto, menor tempo de deposição;
 - maior sensibilidade a impurezas;
 - pré-tratamento deve ser mais exigente.
-

1.3.4 Substituição dos Banhos “Strike” de Níquel Ácidos

Uma alternativa para os banhos “strike” de níquel ácidos e altamente concentrados são os de pH alto, para os quais valem as seguintes considerações:

- menos tóxico que o “strike” ácido;
- tratamento dos efluentes mais simples e de menor custo;
- não exige exaustão;
- custo operacional mais baixo;
- maior sensibilidade a impurezas;
- menor poder de penetração da camada
- maior cuidado com a manutenção do pH.

Outra alternativa são os banhos de paládio cujos depósitos são dúcteis, pouco porosos, resistentes à corrosão e abrasão devido a sua elevada dureza (500 HV). Possibilita camadas de até 0,3 mm brilhantes e sem fissuras. Recomendado para aplicações decorativas, na substituição do níquel e “strike” de ouro, antes da folheação. Como camada final, o processo oferece uma tonalidade clara e bastante agradável. Uma desvantagem é seu alto custo em relação ao banho de “strike” de níquel. Entretanto, devido à problemas com os efeitos tóxicos do níquel para alguns consumidores (causando alergia e irritações na pele), o mercado, principalmente o externo, tem exigido a eliminação desse metal, sendo o paládio uma boa opção.

1.3.5 Substituição de Cianetos na Douração e Folheação

No Brasil, a maior parte dos revestimentos com ouro, isto é, douração e folheação, utilizam processos de pH alcalinos e base cianídrica que envolvem o problema do tratamento dos efluentes contendo cianeto. Estes processos têm sofrido modificações e melhorias de forma a aumentar sua eficiência e a qualidade no produto final, de forma que a substituição por um processo novo, mesmo contendo cianeto, poderá resultar em ganho ambiental, devido à economia de produtos químicos, energia elétrica, melhor qualidade final e menores índices de peças rejeitadas.

Atualmente, novos processos de base neutra e ácida que não contém cianeto têm sido desenvolvidos. Entretanto, alguns destes ainda não obtiveram a mesma aceitação que os de base cianídrica. Entretanto, com o aumento das restrições ambientais e o aperfeiçoamento dos processos é provável que a procura por essas alternativas aumente.

Alguns processos de folheação e douração que utilizam cianeto podem ser citados:

- douração convencional
 - douração dura alcalina com cianeto
 - folheação alcalina com cianeto
-

Como alternativas para eliminação do cianeto pode-se citar os seguintes banhos:

- douração alcalina sem cianeto
- douração ácida
- douração levemente ácida
- folheação alcalina com sulfeto
- douração e folheação neutras

Na Tabela 4 pode-se observar um resumo das características principais desses banhos e das alternativas.

Tabela 4 - Características dos Processos de Douração e Folheação com Cianeto e dos Processos Alternativos

Processos Com Cianeto	Características	Processos Alternativos	Características
douração convencional	utiliza cianeto de potássio e ouro em altas concentrações; dureza baixa; processo antigo, pouco eficiente	_____	_____
douração dura alcalina	alta dureza; baixas espessuras; tonalidades de ouro variadas; tempos curtos de deposição	douração alcalina sem cianeto	idênticas ao da douração dura, porém com menor número de tonalidades de ouro
		douração ácida sem cianeto	grande poder de penetração e alta dureza; menor gama de cores; servem para aplicação de camada e cor final simultaneamente
		douração levemente ácida sem cianeto	pH de 4,0 a 4,8; contém ácido cítrico e metais (níquel, ferro e cobalto) que conferem altíssima dureza ao depósito
folheação alcalina	alta dureza; altas espessuras; brilho; resistência à corrosão; depósitos de 8 a 22 quilates	folheação alcalina com sulfeto	tonalidades agradáveis; dureza alta; banho pouco estável (ocorre precipitação do ouro)
		douração/folheação neutra sem	utiliza ouro muito puro; processo empregado na indústria microeletrônica

1.3.6 Substituição do Cromo no Verniz de Acabamento

A função do verniz de acabamento é proteger as peças, aumentando sua durabilidade, resistência à oxidação, corrosão e ao desgaste por abrasão, mantendo a beleza e a integridade do acabamento original.

Existem diversos tipos de vernizes de acabamento, muitos deles contendo cromo na forma de cromatos. O cromo produz um bom acabamento, porém, é um elemento tóxico ao meio ambiente, sendo que as restrições ao seu lançamento tem aumentado.

Como alternativas para sua substituição tem-se vernizes à base de compostos orgânicos, tais como os vernizes acrílico e poliuretano.

Os processos de aplicação dos vernizes podem ser por simples imersão e eletrodeposição, sendo em geral facilmente adaptáveis às instalações comuns de uma galvanoplastia. Deve-se dar preferência aos vernizes de base aquosa, isto é, que não contenham solventes orgânicos voláteis (por ex., benzeno, tolueno, xileno), tóxicos ou inflamáveis.

1.3.7 Técnicas para Reduzir a Geração de Lodo

As técnicas, apresentadas de forma resumida a seguir, tem em comum o gerenciamento dos resíduos gerados nos processos, de forma a minimizar os custos de tratamento e os possíveis problemas ambientais deles oriundos.

· **Segregação de resíduos**

A segregação de resíduos consiste na separação dos vários fluxos de águas de lavagem, descartes de banhos, decapagem e desengraxe de maneira ordenada, dentro da área produtiva da empresa, de forma que se possa dar um destino adequado a cada um deles separadamente. Com isso torna-se possível a recuperação de materiais (que antes poderiam estar sendo tratados como rejeito) e seu aproveitamento como matéria-prima para novo processamento, com conseqüente redução dos custos econômicas e ambientais.

A segregação ordenada também permite a junção de efluentes ou resíduos com características semelhantes, de maneira que possam ser tratados da mesma forma e com um controle mais eficiente.

Com esta segregação é possível separar resíduos que podem ser menos poluentes e mais facilmente tratáveis (às vezes com um simples ajuste de pH) antes de serem descartados ou mesmo reciclados.

Comumente, as galvanoplastias separam as linhas de efluentes ácidos e alcalinos também por medida de segurança, para evitar a mistura de águas contendo cianeto

com efluentes ácidos, evitando a liberação de gás cianídrico, extremamente tóxico.

Tal separação irá também facilitar o processo de tratamento dessas águas, já que os cianetos devem ser tratados por oxidação, enquanto as águas ácidas geralmente necessitam correção do pH e floculação dos metais.

O processo de segregação pode requerer mudança de layout e montagem de novas linhas dos efluentes da fábrica. Os fluxos menos poluentes podem representar aproximadamente 30% de todo o processo de galvanoplastia. No entanto, deve-se tomar precauções para assegurar-se que os banhos menos poluentes não contêm metais dissolvidos. A economia na segregação é percebida através da redução dos custos da ETE.

· **Crítérios para descartes**

Em muitas instalações há uma prática arraigada de se fazer todos os descartes e trocas de água nos finais de semana. A adoção desta prática acarretará muitas vezes descartes de banhos antes que sua vida útil tenha sido realmente exaurida, aumentando a contaminação dos efluentes e aumentando o dispêndio com novas matérias-primas.

Em cada instalação deve haver uma definição clara dos critérios técnicos para a troca de banhos, para evitar sobrecargas de volume e de concentrações na ETE.

· **Eliminação de enxágüe**

O enxágüe entre um limpador com detergente e um eletrolítico poderá ser eliminado desde que os dois banhos sejam compatíveis. Com isso elimina-se uma etapa de lavagem economizando-se água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DERÍSIO, J.C. ***Introdução ao controle de poluição ambiental***. São Paulo, IMESP. 1ª ed. 1992. 201 p.
 2. ELIAS, J. A. Considerações sobre galvanoplastia (***apresentado no 1º Treinamento Técnico sobre Galvanoplastia em 19/02/98***). Limeira, 1998.
 3. ENVIRONMENTAL PROTECTION SERVICE & FISHERIES AND ENVIRONMENT CANADA. ***Metal finishing liquid effluent guidelines***. Ottawa, Canada. 1977. 48p.
 4. GOMES, J. A.; ROCHA, M. J. M.; FERNANDES; P. S, QUARESMA, M. Y, PACHECO, C. E. M, RÊGO, R. C. E, SANTOS, M. S. CETESB, Sao Paulo. ***Proposta para prevencao a poluicao (P2), 1. : disseminacao dos conceitos de P2 na CETESB***. Sao Paulo (BR), CETESB, 1996. 26p.
 5. MATTANA, S.M. Descarte zero de líquidos ao meio ambiente na indústria de tratamento de superfície. In: ***Congresso Interfinish Latino Americano, São Paulo, 6 a 10 de outubro de 1997. Anais***. São Paulo. 1997. 7 p.
 6. ROSSINI, A. J. Principais aspectos relacionados à legislação ambiental em indústrias de bijuterias. (***Trabalho apresentado na 1ª Reunião Técnica sobre Prevenção à Poluição na Indústria de Bijuterias em Out/97***). Limeira, Cetesb. 1997.
 7. USEPA. Meeting Hazardous Waste Requirements for Metal Finishers. (EPA/625/4-87/018). UEPA, USA. 1987. 52 p.
 8. USEPA. Guide to Pollution Prevention for the Metal Finishing Industry. Ohio, EPA. 1994. 24p.
 9. VOJCUCHOVSKI, A. L. Águas de lavagem no tratamento de superfície. Tratamento de superfície. p.12-19, 1994.
 10. ZUGMAN, J. Tratamento de efluentes: técnicas disponíveis para redução de lodo. Tratamento de superfície. 71 (5,6): 18-21, 1995.
 11. ZUGMAN, J. & NUNES, J. R. & Tratamento de águas residuárias de indústrias de galvanoplastia. Série Didática Água. CETESB, São Paulo, 1991. 82p.
-

Expediente

**Departamento de
Desenvolvimento e Capacitação Tecnológica**
Eng^a Tânia Mara T.Gasi

Divisão de Prevenção à Poluição e Produção Mais Limpa
Eng^a Júlia Alice A. Ferreira

Setor de Técnicas
Farm. Bioq. Marie Yamamoto do Vale Quaresma

Coordenação Técnica
Quím. Carlos Eduardo Medeiros Pacheco

Equipe Técnica
Quím. Carlos Eduardo Medeiros Pacheco
Eng^o Paulo Rogério Rodrigues Camacho
Eng^a Maria José Muniz Rocha
Eng^o Paulo Garcia de Oliveira Júnior
Eng^o Vitor Antonio Simoni
Estagiária Neiva Aparecida Pereira Lopes
Estagiária Ana Lúcia Ferrão Leão

Apoio Técnico
Agência Ambiental de Limeira
Tecng-o Adilson José Rossini
Quím. Creusa Ap. G. P. Finotti

Editoração Eletrônica
SMA

CETESB
Companhia de tecnologia de Saneamento Ambiental
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros
CEP: 05459-900 - São Paulo - SP
Fone: (11) 3030-6501 - Fone - fax: (11) 3030-6480
Site: <http://www.cetesb.sp.gov.br>
e-mail: prevpol@cetesb.sp.gov.br



SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE



GOVERNO DO ESTADO DE
SÃO PAULO

Firme e presente,
cuidando de gente.
