

**PROPOSTA DE MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS
EM INDÚSTRIA DE ACABAMENTO METAIS:
ESTUDO DE CASO**

DEDALUS - Acervo - EESC



31100006522

Márcia Capelini



Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento

ORIENTADOR: Prof. Dr. Valdir Schalch

São Carlos
1999

Clas.	TESE
Curr.	1130
Tombo	227/99

31100006522

5/5 1053829

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C238p Capelini, Márcia
Proposta de minimização de resíduos em indústria
de acabamento metais : estudo de caso / Márcia
Capelini. -- São Carlos, 1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.
Área: Hidráulica e Saneamento.
Orientador: Prof. Dr. Valdir Schalch.

1. Gerenciamento de resíduos. 2. Minimização de
resíduos. 3. Processo industrial. 4. Acabamento de
metais. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira **MARCIA CAPELINI**

Dissertação defendida e aprovada em 11-06-1999
pela Comissão Julgadora:



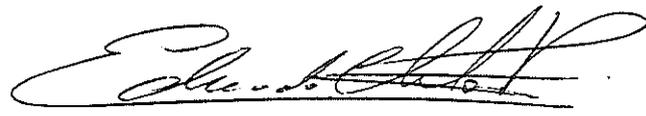
Prof. Doutor **LUIZ ANTONIO DANIEL (Substituto)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **MARCELO ZAIAT**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **WELLINGTON CYRO DE ALMEIDA LEITE**
(UNESP – Campus de Guaratinguetá)



Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES**
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*A todos os amigos que compartilharam
comigo os momentos importantes da
vida*

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Helena, pela colaboração, carinho e paciência durante todo o trabalho.

Ao meu pai Moacir e meu irmão Marcos pelos incentivos.

À Maria Júlia, minha grande amiga, que com seu incentivo contribuiu para que este trabalho pudesse ser realizado.

Ao Prof. Dr. Valdir Schalch pela amizade e orientação.

A Paulo Fragiácomo, funcionário do Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, pela valiosa ajuda na fase prática do trabalho e no contato inicial com a indústria Correntes São Carlos Ltda, local de realização do estudo de caso.

Ao Prof. Dr. Luiz Antônio Daniel pela ajuda na fase final desta dissertação.

A todos os funcionários e colegas do departamento de Hidráulica e Saneamento .

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

A Milton da Silva Moreira, diretor geral da indústria Correntes São Carlos Ltda., que permitiu a observação e estudo dentro da indústria. A Gilberto Labor, Edvaldo Formentol e todos os funcionários da indústria Correntes São Carlos Ltda., que com paciência se dispuseram a fornecer os dados necessários para a execução do estudo de caso.

A Deus pela possibilidade de realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE QUADROS	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 Evolução da gestão ambiental.....	4
2.2 Resíduos industriais	8
2.2.1 Gerenciamento de resíduos industriais	11
2.3 Minimização de resíduos.....	13
2.3.1 Benefícios e dificuldades da minimização de resíduos	15
2.3.2 Implantação de programa de minimização de resíduos.....	17
2.3.3 Técnicas de minimização de resíduos	22
2.4 O processo de acabamento de metais	31
2.4.1 Limpeza das peças (pré-tratamento)	33
2.4.2 Revestimentos metálicos	35
2.4.3 Resíduos gerados pelos processos de acabamento de metais	42
2.5 Minimização de resíduos nos processos de acabamento de metais	46
2.5.1 Melhoria das práticas operacionais	46
2.5.2 Prevenção de arraste	50
2.5.3 Substituição e redução do uso de materiais perigosos	51
2.5.4 Redução de resíduos nos processos de lavagem	57
2.5.5 Reciclagem	59
3 METODOLOGIA	63
3.1 Apresentação da indústria Correntes São Carlos Ltda	63

3.2 Levantamento do processo produtivo	67
3.3 Levantamento de resíduos e suas fontes	68
3.4 Alternativas de minimização	70
3.5 Considerações finais	71
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
4.1 Descrição do processo de produção das correntes da indústria Correntes São Carlos Ltda e considerações sobre seus resíduos	74
4.1.1 Etapa da formação dos elos	74
4.1.2 Etapa da soldagem	75
4.1.3 Verificação, pesagem e seccionamento das correntes	76
4.1.4 Etapa do polimento	76
4.1.5 Embalagem	77
4.2 Processo de acabamento de metais da indústria Correntes São Carlos Ltda.....	77
4.2.1 A etapa de pré-tratamento	78
4.2.2 Revestimentos metálicos da indústria de Correntes São Carlos Ltda.....	81
4.3 Levantamento de resíduos e fontes para os processos de acabamento de metais da indústria Correntes São Carlos Ltda.	89
4.3.1 Efluente dos tanques de pré-tratamento e lavagens dos banhos	89
4.3.2 Outros resíduos	95
4.3.3 Considerações sobre o arraste	97
4.4 Propostas de alternativas de minimização para o processo de acabamento de metais da indústria Correntes São Carlos Ltda	99
4.4.1 Seleção de melhores alternativas	105
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	107
ANEXO A	110
ANEXO B	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01: Procedimentos para implantação de programa de minimização de resíduos	18
FIGURA 02: Técnicas de redução de resíduos na fonte	23
FIGURA 03: Técnicas de reciclagem	29
FIGURA 04: Dispositivo de captação de arraste	51
FIGURA 05: Planta da indústria Correntes São Carlos Ltda.....	64
FIGURA 06: Correntes Victor	65
FIGURA 07: Enforcador para cachorro.....	66
FIGURA 08: Correntes anti-derrapantes	66
FIGURA 09: Correntes para vacas e cabrestos	67
FIGURA 10: Fluxograma geral do processo produtivo da indústria Correntes São Carlos Ltda	73
FIGURA 11: Fluxograma do pré-tratamento	78
FIGURA 12: Fluxograma dos revestimentos de níquel e de cromo	82
FIGURA 13: Fluxograma do revestimento de zinco	86
FIGURA 14: Fluxograma do Sistema de Tratamento de Efluentes da indústria Correntes São Carlos Ltda	94

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Indústrias e seus principais resíduos	9
TABELA 02 - Fontes e causas de perda de material no processo	20
TABELA 03 - Consumo e descarte anuais de metais	30
TABELA 04 - Processos de desengraxe	35
TABELA 05 - Eletrólitos para revestimento de cromo	37
TABELA 06 - Eletrólitos cianídricos para a zincagem	39
TABELA 07 - Eletrólitos com sulfato para a zincagem	39
TABELA 08 - Concentrações de contaminantes no efluente bruto de indústrias de acabamento de metais e concentrações máximas permitidas para lançamento de efluente	44
TABELA 09 - Alternativas para o revestimento de zinco com cianeto	53
TABELA 10 - Alternativas para o revestimento de cobre com cianeto	54
TABELA 11 - Substituto para o cromo hexavalente na cromagem decorativa ...	56
TABELA 12 - Tecnologias de reciclagem	61
TABELA 13 - Características do tanque de tratamento de efluentes ácidos	90
TABELA 14 - Volume semanal de efluente ácido	91
TABELA 15 - Características do tanque de tratamento de efluentes de cromo	92
TABELA 16 - Volume semanal de efluente de cromo	92
TABELA 17 - Volume semanal de efluente de cianeto.....	93
TABELA 18 - Perdas por arraste e evaporação	98
TABELA 19 - Defeitos, causas e correções para o revestimento de zinco	111

TABELA 20 - Defeitos, causas e correções para o revestimento de níquel	112
TABELA 21 - Defeitos, causas e correções para o revestimento de cromo	113
TABELA 22 - Resíduos de acabamento de metais na norma NBR 10004	
Resíduos Sólidos – classificação	115

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01: Hierarquia de gerenciamento de resíduos	14
----------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
Cd	- Cádmió
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	- Cromo
Cu	- Cobre
Fe	- Ferro
ISO	- International Standardization Organization
Mn	- Manganês
NWMOA	- Northeast Waste Management Officials' Association
Pb	- Chumbo
PPW	- Pollution Prevention Wokgroup
US EPA	- United States Environmental Protection Agency
Zn	- Zinco

RESUMO

CAPELINI, M. (1999). *Proposta de minimização de resíduos em indústria de acabamento de metais: estudo de caso*. São Carlos, 1999, 120p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Tendo em vista a crescente preocupação em se criar novas soluções para o gerenciamento de resíduos industriais, em face aos problemas ambientais e econômicos que estes representam, apresentam-se neste trabalho, propostas de alternativas para o processo industrial, visando diminuir a geração de resíduos, na fonte ou através de reciclagem. Estas propostas estão embasadas na ênfase em minimização de resíduos, como estratégia de gerenciamento de resíduos. Utilizou-se para este fim, um estudo de caso de um processo industrial de acabamento de metais, realizado na indústria Correntes São Carlos Ltda, situada na cidade de São Carlos, Estado de São Paulo.

Palavras-chaves: gerenciamento de resíduos, minimização de resíduos, processo industrial, acabamento de metais.

ABSTRACT

CAPELINI, M. *A proposal for waste minimization in metal finishing industry: a case study*. São Carlos, 1999. 120p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The management of industrial waste presents major economic and environmental problems. This work proposes alternative solutions for waste management in industrial processes, aiming for diminishing the generation of waste at its source, or through recycling. These proposals emphasize waste minimization as a strategy for its management. To that end, a case study was developed, focusing on the finishing process of metal parts. The company studied was Correntes São Carlos LTD., located in São Carlos, São Paulo State, Brazil.

Keywords: waste management, waste minimization, industrial processes, metal finishing.

1) INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O crescente processo de industrialização iniciado no século XVIII com a Revolução Industrial e os conseguintes crescimentos das cidades, das populações e da sua necessidade de consumo, causou um grande aumento na quantidade de resíduos gerados.

Todas as atividades humanas sempre geraram resíduos e causaram algum tipo de impacto ambiental, mas se no passado o meio ambiente conseguia absorver este impacto, isso não tem acontecido nos dias de hoje. O grande avanço tecnológico trouxe uma melhora na qualidade de vida, no conforto e saúde para a humanidade mas, junto com isso, acelerou o processo de degradação ambiental a níveis hoje perigosos, ameaçando a sobrevivência coletiva. O homem começa a despertar para estes problemas. Legislações que visam a proteção ambiental, dentro do conceito de Desenvolvimento Sustentável, têm surgido e vêm ganhando força em todo mundo.

As indústrias, em parte motivadas pelas leis de proteção ambiental, e por outro lado, visando sua própria sobrevivência em um mundo globalizado, onde a concorrência assume dimensões nunca antes vistas, começam a perceber que para se manter no mercado terão que possuir uma grande versatilidade e capacidade de mudança, inclusive nas suas formas de gerenciamento, que deverão incluir novos conceitos, como o de gestão ambiental.

Dentro deste novo panorama, e em vista de ser a atividade industrial grande geradora de resíduos, muitas vezes perigosos, as indústrias não podem mais ignorar a importância de ter um sistema de gerenciamento de resíduos que considere a possibilidade de minimização, com a diminuição da quantidade de resíduos gerados

ou de sua toxicidade, e que proporcione a solução adequada quanto ao tratamento e disposição final daqueles que não puderem ser eliminados.

A minimização de resíduos, que tem como objetivos a redução da geração de resíduos, ou quando isto não for possível a sua reciclagem, surge dentro deste contexto de evolução da relação do homem com o meio ambiente e aparece como uma importante estratégia para o gerenciamento de resíduos.

Além dos benefícios ambientais da diminuição da carga poluidora lançada no meio ambiente, a minimização de resíduos traz também benefícios econômicos com a diminuição de despesas com transporte, tratamento e disposição e, em alguns casos, com a compra de matérias-primas.

→ (Os processos industriais de acabamento de metais consistem no revestimento de superfícies metálicas com alguns metais como o zinco, o cobre, o cromo, o níquel e o cádmio.)

As matérias-primas utilizadas nestes processos são basicamente substâncias químicas, muitas dessas perigosas. (Entre as substâncias mais usadas nestes processos citam-se os cianetos, utilizados em vários revestimentos como os de zinco, de cádmio, de cobre, de ouro e de prata, e o anidrido de ácido crômico (CrO_3), cromo hexavalente, utilizados na cromagem. Além destas substâncias outras como ácidos sulfúrico, nítrico e fluorídrico e hidróxidos de sódio e potássio, entre outros, também são muito utilizados nos banhos de revestimento, ou nos processos de pré-tratamento anteriores aos banhos.)

Conforme o NORTHEAST WASTE MANAGEMENT OFFICIALS' ASSOCIATION - NEWMOA (1997), (diferente da maioria das indústrias que utilizam substâncias químicas como matérias-primas, no acabamento de metais a maior parte destes materiais usados nos processos viram resíduos.)

Estas características dos processos de acabamento de metais, aliadas à sua grande utilização por vários tipos de indústrias, justificam a verificação de alternativas que minimizem esses resíduos.

O presente trabalho visa apresentar propostas de minimização de resíduos, utilizando como estudo de caso a indústria Correntes São Carlos Ltda, que emprega processo galvânico de acabamento de metais. Esta indústria situa-se à rua Dr David

Pedro Cassinelli 385, Jardim São Paulo, na cidade de São Carlos, Estado de São Paulo.

Os objetivos deste trabalho são:

- Fazer o levantamento do processo galvânico de acabamento de metais realizado pela referida indústria, identificar seus resíduos e fontes geradoras;
- Propor alternativas de minimização de resíduos, com base nos dados obtidos no item anterior.

O trabalho está estruturado em uma sólida revisão da literatura, que envolve questões relacionadas com a minimização de resíduos e com os processos de acabamento de metais, apresentação da metodologia utilizada na obtenção e análise dos dados do estudo de caso, apresentação dos dados sobre geração de resíduos e de propostas para minimização destes resíduos, bem como algumas considerações explicativas, e conclusões a que se chegou com este estudo.

2) REVISÃO DA LITERATURA

Os itens constantes na revisão da literatura estão organizados de modo a, primeiramente, situar a questão ambiental dentro de sua evolução na sociedade e nas indústrias. Desta forma, pretende-se demonstrar como surge e a importância da minimização de resíduos para o gerenciamento de resíduos industriais na atualidade.

Segue-se então, especificando o processo produtivo focado neste estudo, o acabamento de metais, seus resíduos e possibilidades de minimização aplicados a este processo.

2.1) Evolução da gestão ambiental

O planeta Terra sempre pareceu ao homem uma fonte inesgotável de recursos. Por mais que se usasse e abusasse de seus recursos, a natureza mostrava sua força, reconstituindo-se. Porém, mesmo com sua grande capacidade de regeneração, a natureza não tem conseguido responder com a velocidade necessária às rápidas mudanças impostas pelos homens, principalmente a partir da era industrial.

A percepção das interferências ambientais das atividades humanas e suas possíveis consequências tem forçado a uma mudança na forma de abordar as questões ambientais. Legislações ambientais têm surgido e ganhado importância em quase todos os países, desenvolvidos e em desenvolvimento. Isto tem refletido, como não poderia deixar de ser, na maneira das indústrias abordarem estas questões.

Contudo, este processo de mudança ocorre de forma gradual e, como quase todos os processos de mudanças, encontra resistências. Para KINLAW (1997), a

principal resistência vem de “hábitos de pensamentos”, ou seja, a forma pela qual nós nos acostumamos a ver o meio ambiente. O autor reduz estes “hábitos de pensamentos” em suas duas principais formas:

- 1 • hábito de perceber a natureza como um inimigo a vencer e também como um provedor de infinita generosidade, que deve se curvar à vontade humana.
- 2 • hábito de ver o meio ambiente como algo fragmentado e os seus problemas como pequenos pedaços, separados e facilmente compreensíveis.

Entretanto, o que se tem visto atualmente é que estas duas formas de pensamento mostraram-se muito limitadas. Romper com estas barreiras não é algo fácil de se fazer, já que estas formas de pensar estão incorporadas na própria estrutura de raciocínio do ser humano, adquiridas durante séculos de desenvolvimento. Se, por um lado, a fragmentação da realidade nos ajudou o entendimento de suas partes, por outro lado nos fez perder a noção do todo, só possível de ser compreendido através das interações entre estas partes. Já a visão de uma natureza a ser dominada e sempre pronta a servir, sugere que o homem pode ser visto como algo separado e independente desta, e serve como desculpa para as atitudes irresponsáveis com o meio ambiente.

Os processos industriais são as principais fontes de geração de resíduos perigosos. Além de serem grandes causadores de impactos ambientais, muitas vezes de difícil identificação. Contudo, não se pode pensar na nossa sociedade, com seu atual grau de desenvolvimento e sofisticação, sem as atividades industriais. Por estes motivos as indústrias têm estado em evidência quando se trata de legislações ambientais. E esta evidência força a uma mudança de atitude das indústrias para com o meio ambiente, seja para conseguir uma adequação à legislação (evitando-se assim multas e outras formas de penalidades), ou para obter, realmente, uma resposta mais eficiente ao desafio ambiental.

Embora as leis ambientais, que têm se tornado cada vez mais restritivas, apresentem-se como um forte mecanismo de pressão, e portanto de mudança da visão estratégica das indústrias, existem outros agentes de pressão. KINLAW (1997) enumera entre eles o crescimento e a organização de grupos ambientalistas, e aos próprios consumidores mais conscientes. SCHOT & FISCHER (1993) incluem entre

estas pressões a grande competitividade dos mercados, nacionais e internacionais, onde “produtos e tecnologias verdes”¹ aparecem como novas oportunidades de competição. Outra pressão importante, conforme o mesmo texto, é a de investidores e companhias de seguros, que têm incorporado questões ambientais em suas políticas, dando preferência de investimentos a empresas que apresentem boa reputação sobre estas questões.

Estas pressões tendem a provocar mudanças no comportamento e estratégia das empresas, com vista à sua própria sobrevivência. Contudo, se algumas conseguem ver vantagens competitivas nas mudanças de estratégia ambiental, a maioria ainda resiste às mudanças. Porém, conforme argumenta SCHOT & FISCHER (1993), fazendo uma analogia à teoria da seleção natural, na qual os organismos (empresas) mais capazes de se adaptar às mudanças em seu ambiente teriam mais chances de sobreviver, as empresas que insistirem em resistir à incorporação de questões ambientais em suas estratégias estarão condenando-se a um futuro de muita dificuldade, comprometendo a própria sobrevivência.

Segundo KINLAW (1997), as empresas apresentam-se em diversos graus de comprometimento com as questões ambientais. No grau de comprometimento mais baixo estariam as empresas que adotam estratégia reativa, caracterizando-se por possuir um planejamento a curto prazo e visando apenas a adequação à legislação ambiental vigente. E, no mais alto grau de comprometimento encontram-se as empresas proativas, adotando medidas que vão além da legislação, através de um planejamento a longo prazo. Estas vêm no gerenciamento ambiental um fator de competitividade. TIBOR & FELDMAN (1996) atribuem a estas empresas proativas a liderança na evolução do gerenciamento ambiental na empresa, de uma visão fragmentada e reativa, com enfoque em “apagar incêndios”, para uma abordagem mais sistêmica, integrada ao planejamento estratégico da empresa.

De acordo com REIS (1996), a preocupação com a qualidade do meio ambiente tem refletido em um aprimoramento dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) das empresas, em busca de um melhor desempenho ambiental. JUCHEM

¹ Produtos e tecnologias ambientalmente favoráveis, que não geram ou geram menos impactos ambientais.

(1995)², citado por OLIVEIRA (1998), coloca como objetivos dos SGAs: definir políticas, diretrizes e programas ambientais; produzir serviços e produtos ambientalmente compatíveis; informar acionistas, fornecedores e consumidores sobre as atividades ambientais da companhia; subsidiar campanhas para a preservação do meio ambiente.

Segundo REIS (1996), as normas da série ISO 14000 aparecem como importante auxílio para o desenvolvimento de SGAs eficientes, na medida em que definem os seus elementos básicos e oferecem ajuda para sua implementação e aprimoramento.

Os elementos de um SGA, segundo as normas ISO 14000, de acordo com TIBOR & FELDMAN (1996), consistem em: definição de uma política ambiental, determinação de objetivos e metas, implementação de um programa para atingir os objetivos, medição e avaliação da eficácia do programa, correção e aperfeiçoamento do sistema. Os autores argumentam que embora as normas ISO 14000 não estabeleçam um desempenho a ser alcançado, o gerenciamento ambiental baseado nos elementos apresentados levará a uma maior eficácia e melhor desempenho ambiental. Ainda segundo TIBOR & FELDMAN (1996), as normas da série ISO 14000 vêm em auxílio não só da preocupação com o meio ambiente, mas também para resolver a dificuldade criada com o surgimento de várias normas ambientais em diversos países. Assim, a série ISO 14000 viria padronizar os sistemas de gestão ambiental das empresas.

Dentro da evolução da gestão ambiental na indústria, e como parte muito importante desta, tem-se um desenvolvimento do gerenciamento de resíduos. Não poderia ser de outra forma, já que a geração de resíduos é um dos principais problemas ambientais de uma indústria.

² JUCHEM, P. (1995). *Introdução à gestão, auditorias e balanço ambiental para empresas*. Curitiba, Faculdade Católica de Administração e Economia (FAE)/ Centro de Desenvolvimento Empresarial apud OLIVEIRA C. A. A. (1998). *Programa de prevenção de poluição industrial: estudo de caso no processo de acabamento de metais de uma indústria*. São Carlos. 152p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

2.2) Resíduos industriais

Todos os processos industriais geram resíduos. Estes resíduos, que muitas vezes possuem constituintes perigosos, precisam ser tratados e dispostos corretamente, como forma de diminuir seus efeitos perniciosos sobre o meio ambiente.

SCHALCH et al. (1990) especificam como resíduos industriais "...aqueles que requerem cuidados especiais quanto à coleta, acondicionamento, transporte e destinação final, pois apresentam substancial periculosidade à saúde humana ou aos organismos vivos e se caracterizam pela letabilidade e/ou persistência e/ou efeitos cumulativos adversos)"

A mesma referência coloca como responsável pela variação quantitativa e qualitativa dos resíduos industriais o tamanho do parque industrial e das unidades industriais, os tipos de tratamento de efluente e os processos tecnológicos utilizados pelas indústrias.

HASAN (1995) indica que, considerando os resíduos classificados como perigosos segundo a United State Environmental Protection Agency, US EPA, agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, foram gerados nos EUA, no ano de 1991, 306 milhões de toneladas. De acordo com SHEN³ (1995), apud OLIVEIRA (1998) neste mesmo ano de 1991 foram gastos nos Estados Unidos aproximadamente 100 milhões de dólares com o controle de resíduos industriais. Em MATOS (1997) encontra-se que no Brasil são gerados anualmente um milhão e oitocentas mil toneladas de resíduos perigosos, 45.5% só no Estado de São Paulo.

(Os resíduos industriais podem estar em diversas formas e nos estados físicos sólido, líquido ou gasoso, ou ainda em uma composição destes estados. A maior parte dos resíduos dos processos de acabamento de metais constitui-se de resíduos líquidos, porém, um de seus maiores problemas são os resíduos sólidos gerados

³ SHEN, T. T. (1995). *Industrial pollution prevention*. Berlin, Alemanha, Springer-Verlag apud OLIVEIRA C. A. A. (1998). *Programa de prevenção de poluição industrial: estudo de caso no processo de acabamento de metais de uma indústria*. São Carlos. 152p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

durante o tratamento de soluções gastas e do efluente líquido. Forma-se um lodo que possui, geralmente, grandes concentrações de substâncias perigosas e metais pesados e precisa ser manejado com cuidado.)

A TABELA 1 dá uma visão geral dos vários tipos de indústrias e seus principais resíduos.

TABELA 1: Indústrias e seus principais resíduos

Descrição	Resíduos típicos gerados
Têxtil	solventes residuais, resíduos de tintas e acabamentos e óleos
Couro e produtos de couro	lodo curtido, graxas, óleos, lodo de tratamento de água residuária, solventes halogenados e não halogenados
Madeira e produtos de madeira	solução misturada alcalina e ácida, lodo de sedimento de fundo de tanque, lodo de tratamento de efluentes, solventes não halogenados
Papel e produtos afins	solventes halogenados e não halogenados, lodos de metais pesados, lodos ácidos, óleos residuais, sedimento de fundo de tanques, resinas e tintas
Produtos químicos e afins	solventes halogenados e não halogenados, óleos residuais, soluções ácidas e alcalinas, lodos de metais pesados, solventes inorgânicos, fenois, resinas líquidas, ácidos, resíduos de bactérias e biológicos, resíduos animais e sangüíneos, resíduos infecciosos, lodos de pintura, resíduos de praguicidas
Produtos petrolíferos	lodos e soluções alcalinas, catalisadores usados, ácidos, sólidos inorgânicos, óleos residuais, solventes halogenados, fenois, substâncias cáusticas
Borracha e plástico	óleos de processos aromáticos, solventes halogenados e não halogenados, sólidos e lodos fenólicos, óleos residuais, resíduos de pintura, plásticas, resinas

TABELA 1: Indústrias e seus principais resíduos

Descrição	Resíduos típicos gerados
Acabamento de metais	lodos com metais pesados, resíduos de lavagem, soluções ácidas e alcalinas, resíduos de neutralização cáustica, óleos residuais, lodos de acabamento de metais, solventes halogenados e não halogenados, sólidos inorgânicos, lodos de depuração
Fabricação de produtos metálicos	solventes halogenados e não halogenados, lodos de pintura, lodos de metais pesados, soluções ácidas e alcalinas, óleos residuais, resíduos altamente tóxicos, substâncias orgânicas policloradas, resíduos explosivos, lodo inorgânico
Maquinaria (exceto elétrica)	óleos residuais, soluções ácidas e alcalinas, resíduos de pintura, solventes halogenados e não halogenados, lodos com metais pesados
Transporte	óleos residuais, lodos com metais pesados, lodo de pintura, solventes clorados e não clorados, solventes halogenados e não halogenados, soluções ácidas e alcalinas, combustível de aviões

FONTE: TEIXEIRA (1996)⁴ apud OLIVEIRA(1998), p. 6

⁴ TEIXEIRA, P. F. P. (1996). *Manual sobre vigilância ambiental*. Série HSP_UNI/ Manualis Operativos PATEX ORGANIZATION PANAMERICANA DE LA SALUD. Fundacion W. K. KELLOG. N.12, v.4 apud OLIVEIRA, C. A. A. (1998). *Programa de prevenção de poluição industrial: estudo de caso no processo de acabamento de metais de uma indústria*. São Carlos. 152p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

2.2.1) Gerenciamento de resíduos industriais

De acordo com WILSON & SOESILO (1995), as questões relacionadas com gerenciamento de resíduos, principalmente no tocante a resíduos perigosos, têm se mostrado cada vez mais difíceis de serem resolvidas. Os autores apontam que os principais problemas relacionados com o gerenciamento de resíduos são:

- a) • o crescente rigor das leis e aumento de penalidades;
- b) • a não aceitação, por parte da vizinhança, de aterros, principalmente industriais;
- c) • riscos de contaminação nos aterros já desativados, os quais precisam ser continuamente monitorados (embora nem sempre o sejam);
- d) • crescente custo do gerenciamento de resíduos, podendo, inclusive, afetar seriamente as indústrias no seu desenvolvimento econômico;
- e) • quantidade de resíduos gerados, que vem aumentando dia a dia.

De acordo com HASAN (1995), o grau de consumo e industrialização de uma nação está intimamente ligado à geração de resíduos industriais e de resíduos perigosos, já que um grande número de processos industriais geram resíduos perigosos. Assim, os países que mais geram resíduos industriais e perigosos são os países desenvolvidos⁵. E é justamente nestes países onde surge primeiramente a preocupação com o gerenciamento de resíduos.

A maneira de abordar o gerenciamento de resíduos tem mudado ao longo do tempo. Estas mudanças refletem a evolução ocorrida nos níveis de industrialização, atitudes e tendências da própria sociedade. ←

① Num primeiro momento, quando praticamente inexistia preocupação ambiental, o preceito de “diluir e dispersar” era, segundo HASAN (1995), aplicada no manejo de resíduos. Ou seja, o resíduo era simplesmente despejado na terra, jogado na água ou lançado no ar. Esta prática mostrou-se satisfatória para aquele período de tempo, já que a relativa pureza do meio ambiente, as pequenas populações e concentrações dos resíduos, contribuíram para que o meio ambiente

⁵ Contudo, deve-se lembrar que a preocupação com os resíduos perigosos foi um dos fatores (juntamente com questões políticas e econômicas), que provocou uma transferência de indústrias dos países desenvolvidos para os em desenvolvimento, onde as leis ainda são menos restritivas. Com isso, houve um aumento da geração de resíduos perigosos nestes últimos.

tivesse condições de se recuperar. Porém, com o aumento populacional e a crescente industrialização, a quantidade de resíduos a ser descartado aumentou muito, tornando o simples lançamento no meio ambiente inviável. HASAN (1995) indica ainda, que o uso pela indústria de novas substâncias químicas, e conseqüente geração de resíduos destas substâncias, contribuiu para que esta forma de abordar os resíduos fosse revista.

De acordo com MATOS (1997), em uma segunda etapa, há o surgimento de legislações voltadas para a proteção ambiental. Porém, o gerenciamento de resíduos ainda não aparece de uma forma organizada. Embora haja um início da preocupação com o meio ambiente, as medidas pouco eficientes de “concentrar e conter”, não trazem grandes benefícios (HASAN: 1995). Há, então, um grande risco de vazamentos e contaminação do meio ambiente

Conforme indica MATOS (1997), o aparecimento de sistemas mais elaborados de gerenciamento de resíduos ocorre em uma terceira fase, dando ênfase à melhor forma de tratar e dispor os resíduos gerados e o desenvolvimento da reciclagem. Esta abordagem mostrou-se como um grande avanço no gerenciamento de resíduos, auxiliando na conservação da matéria prima e dos recursos naturais. Isso, porém, não foi capaz de resolver o problema da redução da quantidade e toxicidade de muitos resíduos gerados, representando muitas vezes apenas uma transferência de poluição de um meio para outro. Além disso, segundo argumenta SIMMONS (1991), todos os processos pelos quais passam os resíduos depois de gerados, durante a recuperação de constituintes para reciclagem, nas modificações por tratamento e durante a disposição, representam um risco de impacto ambiental e para a saúde humana.

De acordo com HASAN (1995), na quarta fase a ênfase dada para o gerenciamento de resíduos é a “prevenção da poluição”. Prevenção da poluição é definida pela US EPA como “uma ação que reduz a geração de resíduos nas suas fontes, que de outra maneira seriam lançados no ar, terra ou água” (Pollution Prevention Workgroup - PPW, 1993, p.4).

O desenvolvimento dessas abordagens refere-se aos países desenvolvidos. Embora o gerenciamento ambiental e de resíduos siga tendências mundiais, não se

manifesta da mesma forma e ao mesmo tempo em todos os países. Existem grandes diferenças de abordagem, principalmente entre os países desenvolvidos e os em desenvolvimento. Estas diversidades estão associadas a diferenças culturais, políticas e econômicas.

As empresas encontram-se em diversas etapas desta evolução, porém, se na maior parte do mundo o descarte direto já aparece como uma forma inviável de tratar a questão dos resíduos, pode-se dizer também que poucas empresas estariam na quarta fase de evolução

A prevenção da poluição surge a partir de uma percepção da possibilidade de esgotamento dos recursos naturais, e é coerente com o conceito de Desenvolvimento Sustentável. Este afirma que o desenvolvimento da atual sociedade e o atendimento às suas necessidades não podem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender às suas próprias necessidades. De acordo com SIMMONS (1991), os resíduos gerados hoje representam um risco para a atual e futuras gerações, já que muitos resíduos não são apenas tóxicos, mas também de longa vida. A redução de resíduos apresenta-se, então, como importante estratégia de prevenção da poluição e conservação da qualidade ambiental.

2.3) Minimização de resíduos

Minimização de resíduos consiste em qualquer método que reduza a quantidade ou toxicidade de um resíduo, diminuindo assim a quantidade de resíduos a serem tratados ou dispostos. De acordo com HIGGINS (1989), isto não inclui a aplicação de técnicas de redução de volume ou toxicidade dos resíduos depois deles já terem sido gerados, o que é considerado tratamento.

São técnicas de minimização: a redução na fonte e a reciclagem. A prevenção da poluição, que segundo o Pollution Prevention Workgroup - PPW (1993), é outro nome para redução de resíduos na fonte, tem como objetivo não só a diminuição da geração de um resíduo (e outras formas de poluição), como também, sempre que

possível, a sua eliminação. MATOS (1997) também coloca o termo “tecnologia limpa” como sinônimo de prevenção da poluição.

A US EPA estabeleceu uma hierarquia para o gerenciamento de resíduos considerando os benefícios ambientais de cada método. Nesta hierarquia a redução de resíduos na fonte encontra-se como primeira opção. Seguem-se à redução na fonte, a reciclagem, o tratamento e disposição adequados dos resíduos. A hierarquia de gerenciamento de resíduos da US EPA e as definições de cada uma das opções encontram-se representados no QUADRO 1.

QUADRO 1- Hierarquia de gerenciamento de resíduos

Redução na fonte: significa a redução ou eliminação de resíduos na fonte, geralmente dentro do processo. As medidas incluem modificações no processo, substituição de matéria prima, melhora na purificação da matéria prima, melhora nas práticas de manejo e de gerenciamento, no aumento da eficiência do maquinário e reciclagem dentro do processo. Redução na fonte implica, em qualquer atividade, que reduza a quantidade de resíduos existentes no processo. Reduzir na fonte é prevenir a geração de resíduos.

Reciclagem: é o uso ou reuso de resíduos perigosos como um efetivo substituto para um produto comercial, ou como ingrediente ou matéria prima em um processo industrial. Isto inclui a recuperação de frações de contaminantes de um resíduo ou remoção destes para que o resíduo possa ser utilizado. Reciclagem pode incluir o uso de resíduos como combustível suplementar ou substituto. No entanto, processos nos quais a eficiência média de energia é menor que 60%, são considerados incineração (tratamento) e não recuperação de energia (reciclagem).

Tratamento: é qualquer método, técnica ou processo que mude as características físicas, químicas ou biológicas de um resíduo perigoso, para neutralizá-lo, recuperar energia ou recursos materiais, ou para devolvê-lo ao meio como resíduo não perigoso ou menos perigoso, seguro para manejo, apto a ser recuperado ou estocado, ou reduzido em volume.

Disposição: é a deposição de resíduos perigosos dentro ou sobre um terreno ou água, de maneira que este resíduo ou seus constituintes possam ser lançados na atmosfera, ou depositados em corpos hídricos, inclusive águas subterrâneas.

FONTE: COMELLA & RITTMAYER (1990), p.71

HIGGINS (1989) salienta que, embora o objetivo da minimização de resíduos seja chegar a uma situação ideal de eliminação de resíduos, ela só poderá ser feita até onde for econômica e tecnologicamente viável. Ou seja, adotar a minimização de resíduos como ênfase no gerenciamento não significa a eliminação das técnicas de tratamento e disposição.

2.3.1) Benefícios e dificuldades da minimização de resíduos

Além dos benefícios ambientais da minimização de resíduos, de acordo com PPW (1993), há benefícios para a saúde do trabalhador devido a uma menor exposição a materiais perigosos e risco de acidentes.

Benefícios econômicos também são obtidos. Estes advêm de uma melhoria na eficiência dos processos produtivos e de um menor custo de tratamento, transporte e disposição e do uso mais eficiente da matéria-prima e energia. Além disso, há diminuição de despesas com penalidades associadas ao não cumprimento de legislação. ROCCA et al. (1993) mencionam, também, a obtenção de receita com a venda de materiais recuperados dos resíduos.

Outro benefício da minimização de resíduos, abordado por THEODORE & McGUINN⁶ (1992), apud OLIVEIRA (1998), é a diminuição da responsabilidade com gerenciamento, transporte, saúde e segurança do trabalhador e disposição de resíduos, lembrando que a responsabilidade com o resíduo não termina quando este é disposto, e que os locais de deposição de resíduos devem ser monitorados pelas indústrias geradoras.

SCHOT & FISCHER (1993), em um projeto aonde foram avaliadas diversas indústrias que se utilizavam ou tentavam implantar alguma técnica de minimização de resíduos, observaram que muitas das indústrias participantes do projeto

⁶ THEODORE, L; MCGUIN, Y. C. (1992). *Pollution prevention*. New York. Van Nostrand Reinhold
OLIVEIRA C. A. A. (1998). *Programa de prevenção de poluição industrial: estudo de caso no processo de acabamento de metais de uma indústria*. São Carlos. 152p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

obtiveram, como benefício indireto da adoção de técnicas de prevenção da poluição, a melhoria na qualidade dos seus produtos. Isso pode sugerir que a minimização de resíduos, qualidade de produtos e eficiência de processos de produção estão mais relacionados do que supõe a maioria dos administradores de indústrias.

Outra vantagem identificada pelas indústrias envolvidas no projeto, foi o fato de tornarem-se mais capacitadas a antecipar futuras mudanças nas leis, já que passaram a ter uma melhor visão dos resíduos gerados e de suas fontes.

Além destes benefícios, pode ser obtido também, uma melhora na imagem pública da indústria, criando assim um diferencial de marketing frente às concorrentes.

Por outro lado, a minimização de resíduos também enfrenta dificuldades. Segundo FLORES (1991), mesmo nos Estados Unidos, onde a minimização de resíduos é apoiada em leis e incentivos fiscais, ela tem encontrado algumas barreiras para o seu desenvolvimento. Ainda segundo este mesmo autor, estas barreiras são atribuídas, em grande parte, ao enfoque dado pela maioria dos agentes dos órgãos de proteção ambiental ao tratamento de resíduos depois de gerados, a que o autor chama “barreiras institucionais”. Para SCHOT & FISCHER (1993) a preferência dos legisladores por padrões de emissões de poluentes lançados no meio ambiente, ao invés de usar sistemas de preço ou limitação dos bens ambientais, transfere o “preço ambiental” para o custo das tecnologias de controle. Os autores indicam ser isto também uma barreira institucional, na medida em que faz das indústrias “espectadoras passivas” frente às legislações, e as induz, de certa forma, em posturas reativas com relação às questões ambientais e à legislação.

Além das barreiras institucionais existem também, de acordo com FLORES (1991), barreiras econômicas e técnicas, já que algumas das alternativas de minimização necessitam de pesquisas e recursos financeiros, que podem não ser disponíveis na empresa. Acrescenta-se a isto a relutância que muitas indústrias têm de mudar processos produtivos já bem conhecidos e testados.

A relação entre os benefícios e dificuldades e a capacidade de superá-las, determinará a viabilidade das alternativas de minimização.

HIGGINS (1989) examinou vários estudos de caso de implantação de programa de minimização de resíduos e identificou entre eles os que obtiveram sucesso e os que falharam. Entre os que obtiveram sucesso o autor verifica algumas características em comum:

- os funcionários da produção foram fortemente motivados a implementar e a manter as modificações necessárias;
- a tecnologia usada foi “elegante em sua simplicidade”, ou seja, não houve necessidade de grandes mudanças, pesquisas caras e prolongadas.

A simplicidade da alternativa, como uma característica importante para seu sucesso, sugere que a maioria das indústrias não encontram-se aptas a grandes transformações nos seus processos produtivos, e que as mudanças devem ocorrer de modo gradual.

Ainda conforme HIGGINS (1989), estas características apresentaram-se de forma bem menos intensa nos casos que não obtiveram sucesso.

MOHANTY & DESMUKH (1998) também analisaram vários estudos de caso de indústrias onde houve implantação de técnicas de minimização de resíduos. Os autores só mencionam as que obtiveram sucesso, referindo à motivação dos funcionários, não só como necessária para o bom andamento do processo de implementação e manutenção de modificações nos processos de produção, mas, principalmente, como importante fonte geradora de informações e idéias.

2.3.2) Implantação de programa de minimização de resíduos

A implantação de um programa de minimização de resíduos, segundo MATOS (1997), começa com a participação de todos os envolvidos com a organização. Sem isso o comprometimento e a cooperação, necessários para o sucesso do programa, não podem ser alcançados. Esta conscientização, juntamente com a determinação de metas e objetivos consistentes com as outras políticas da empresa, são realizadas na primeira fase de implantação do programa, conforme indica a FIGURA 1.

Reconhecimento da necessidade de minimização de resíduos

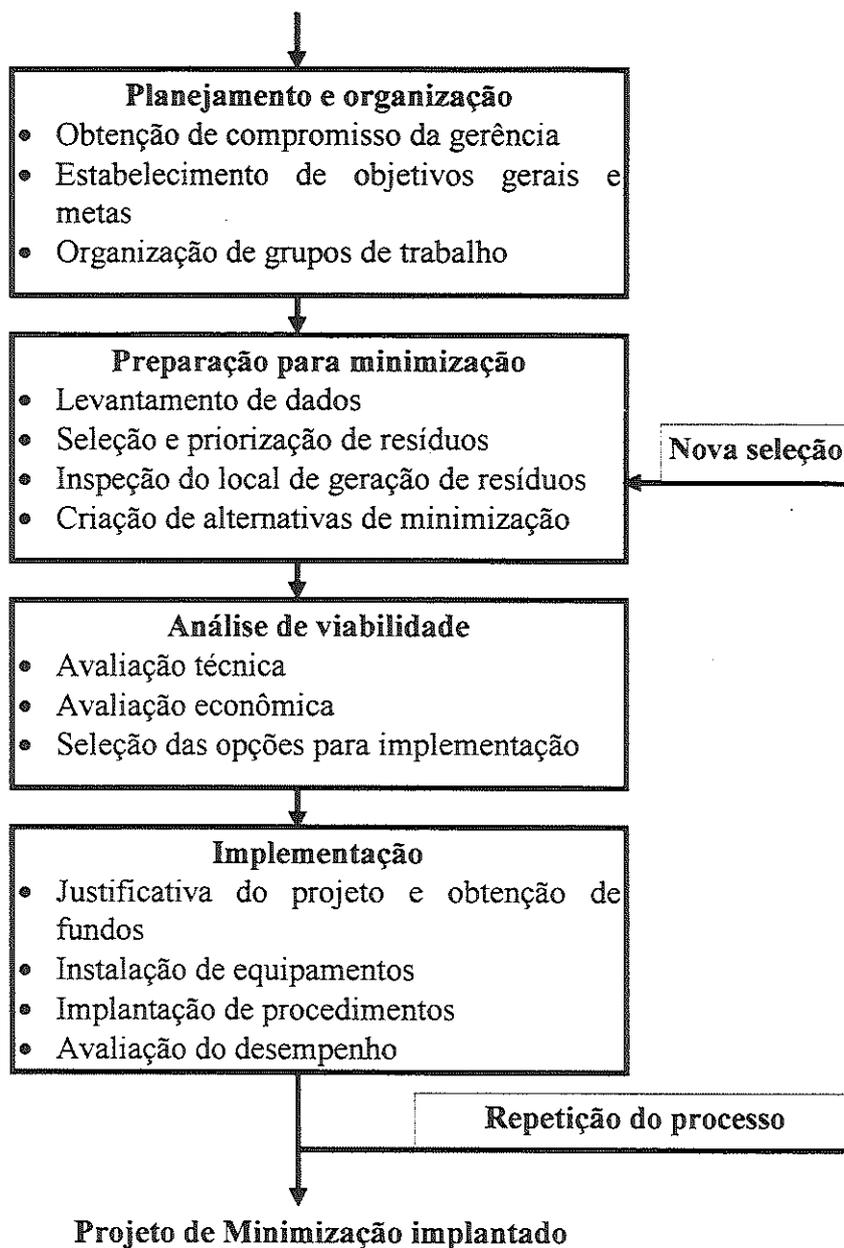


FIGURA 1: Procedimento para implantação de programa de minimização de resíduos

FONTE: STRAUS & MENESES (1993), p.222.

A esta primeira fase segue-se a de preparação para a minimização. Esta é a etapa da obtenção de dados sobre processo produtivo e geração de resíduos. CHEREMISINOFF & KING (1991) dividem os dados necessários para a implantação de um programa de minimização em informações de projeto, ambientais, de produção e econômicas.

◆ **informações de projeto:**

- diagrama de fluxo;
- balanço de massa e energia dos processos de produção;
- descrições de operações e processos;
- descrição e layout de equipamentos;
- layout de tubulações;
- equipamentos de controle de poluição.

◆ **informações ambientais:**

- relações de resíduos e resíduos perigosos gerados;
- limites de emissões permitidas pela legislação e outras informações sobre a legislação ambiental.

◆ **informações de produção:**

- inventários de produtos e matérias-primas;
- composição dos produtos;
- procedimentos de operação;
- planejamento de produção.

◆ **informações econômicas:**

- custo de tratamento e disposição de resíduos;
- custo de matéria prima;
- custos operacionais e de manutenção.

A identificação das fontes e causas de geração de resíduos é um dos principais passos dessa etapa.

A TABELA 2 mostra algumas das fontes potenciais de perda de material no processo.

TABELA 2: Fontes e causas de perda de material no processo

Área	Fonte/Causa
Carregamento	<ul style="list-style-type: none"> • vazamento nas mangueiras ou em conexões de linhas • drenagem de sedimentos de linhas entre os enchimentos • perfurações, vazamentos, ou corrosão nos containeres • vazamentos de válvulas, tubulações e bombas
Armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> • excedente nos enchimento dos tanques • funcionamento inadequado de instrumentação de fluxo • perfurações, vazamentos, ou corrosão nos containeres • vazamentos de válvulas, tubulações e bombas • procedimentos impróprios na transferência de materiais • falta de inspeção regular • falta de programa de treinamento
Processamento	<ul style="list-style-type: none"> • vazamentos nos tanques do processo • operação e manutenção impróprias de equipamentos do processo • transbordamento do tanque de processo • vazamento em válvulas tubulações e bombas • limpeza de equipamentos • utilização de matéria prima sem ou fora de especificação

FONTE: FREEMAN (1990)⁷ apud STRAUS & MENESES (1993), p.223

⁷ FREEMAN, M. H. (1990). *Harzadous waste minimization*. Sigapore, McGraw-Hill. apud STRAUS E. L.; MENESES, L. U. (1993). Minimização de resíduos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Natal. 1993. *Anais*, v. 2, p. 212-225

Com o auxílio dos dados obtidos pode-se fazer uma seleção e priorização de resíduos a serem minimizados. De acordo com NEWTON (1990), a seleção e priorização de resíduos deve ser feita baseando-se em critérios como custo de tratamento e disposição, quantidade gerada, riscos inerentes ao resíduo, potencial de recuperação de subprodutos, potencial de complicação com legislação ambiental. A partir disso são identificadas as alternativas de minimização.

Em uma terceira fase, estas alternativas de minimização devem ser analisadas segundo parâmetros econômicos e técnicos, para determinar a viabilidade de implantação de cada uma. São, então, selecionadas as melhores alternativas.

Conforme indica NEWTON (1990), a avaliação técnica de uma alternativa de minimização deve considerar as limitações da indústria e os requerimentos dos produtos. THEODORE & McGUINN (1992)⁸, apud OLIVEIRA (1998), lembram ainda do cuidado em assegurar a qualidade do produto.

Entre os fatores a serem enfocados na análise técnica das alternativas de minimização, segundo NEWTON (1990), estão: segurança dos trabalhadores, necessidades de manutenção e de espaço, compatibilidade com operações existentes, necessidades de treinamento e potencialidade para problemas ambientais.

As alternativas consideradas viáveis tecnicamente são então, avaliadas economicamente. De acordo com NEWTON (1990), a avaliação econômica compreende custo de investimento e custo operacional. No custo de investimento estão incluídos custos de aquisição e instalação de equipamento, modificações e instalação de tubulações, construções, treinamento de funcionários. Nos custos operacionais que, segundo o autor, representam na maioria das vezes uma economia de capital, estão incluídos diminuição de custo de disposição e de gastos com matérias-primas, mudança de custos de operação e manutenção, mudança em gastos gerais. O mesmo autor sugere que podem ser usados indicadores usuais de avaliação econômica de projetos, como retorno e período de retorno de investimento.

Após as análises de viabilidade técnica e econômica é feito um relatório com as alternativas de minimização selecionadas para implementação. Neste relatório deve constar estimativas de desempenho esperado para cada uma das alternativas.

⁸ Ver nota 4.

A primeira etapa da fase de implementação é, como no caso de implantação de outros projetos, angariar recursos financeiros e materiais (equipamentos, construções etc). Conforme NEWTON (1990), a indústria pode recorrer a serviços de investimentos privados ou governamentais. Em alguns países, como Estados Unidos e Alemanha, onde a minimização de resíduos faz parte da política do governo, há projetos de ajuda técnica e financeira à implantação destes programas.

Com os recursos necessários, equipamentos instalados e operários treinados, as técnicas de minimização de resíduos podem ser postas em prática.

Após a implantação das opções de minimização, estas devem ser monitoradas, com o objetivo de verificar se seu desempenho corresponde ao esperado.

MOHANTY & DESHMUKH (1998), sugerem que depois de assegurado o bom desempenho das opções de minimização adotadas, faça-se um guia de prevenção e redução de resíduos, incorporando-os aos manuais de operação da indústria.

Conforme pode ser verificado na FIGURA 1 (página 18), e como argumenta MATOS (1997), o programa de minimização não é interrompido quando se alcança os primeiros resultados desejados, já que é um processo a ser melhorado continuamente através da seleção de novos resíduos, melhoria e das técnicas de minimização, surgimento de novas tecnologias e expansão do programa para outras áreas da indústria.

2.3.3) Técnicas de minimização de resíduos

A minimização de resíduos inclui alternativas passíveis de serem implantadas a curto e a longo prazos. As medidas a curto prazo são, geralmente, mais simples e de baixo custo, porém apresentam resultados menos efetivos que as medidas a longo prazo. Entre estas últimas incluem-se aquelas que necessitam de um planejamento mais elaborado, pesquisas envolvendo mudanças ou novas tecnologias e maiores investimentos de capital. Por outro lado, costumam trazer resultados mais eficientes.

São formas de minimização de resíduos a redução na fonte e a reciclagem.

Redução na fonte

As técnicas de redução de resíduos na fonte consistem em mudança no produto e no processo, conforme ilustrado na FIGURA 2.

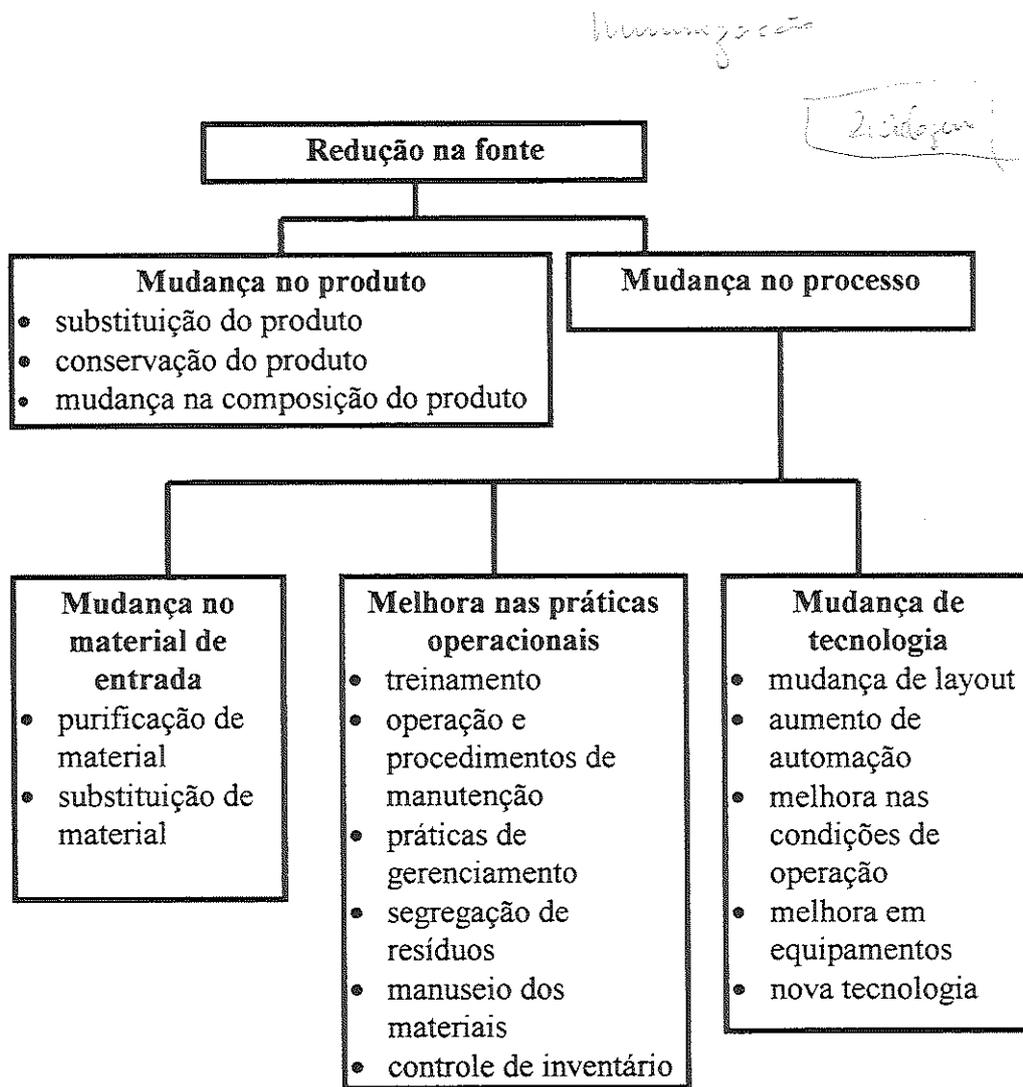


FIGURA 2: Técnicas de redução de resíduos na fonte

FONTE: PPW (1993), p. 5

◆ Mudanças no produto

As mudanças no produto incluem:

- modificações no projeto do produto para menor geração de resíduo de seu uso;
- substituição do produto por similar menos perigoso;
- desenvolvimento de produtos com materiais não perigosos ou menos perigosos, reduzindo a carga poluidora durante o processo de fabricação, manuseio e depois do descarte final;
- desenvolvimento de produtos com alta qualidade e mais duráveis, reduzindo o descarte através do aumento na vida do produto;
- incorporação da análise do ciclo de vida.

A mudança no projeto dos produtos é a forma mais completa de redução de resíduos, pois analisa todas as etapas de vida, do desenvolvimento do projeto ao descarte. JOHANSSON (1992) chama esta mudança de “ecodesign”, ou projeto ecológico, e identifica três níveis de mudança: 1) o redesenho ecológico dos produtos existentes através da análise do ciclo de vida, melhorando a eficiência global com relação a consumo de material e energia, geração de resíduos, facilidade de reciclagem e simplificação da disposição; 2) projeto de novos produtos e serviços para substituir os existentes, com melhor performance e ecologicamente mais favoráveis; 3) mudança em estilo de vida, criando novos princípios de qualidade de produto.

Porém, esta tecnologia de minimização pode não ser aplicável a muitos casos, devido a falta de recursos e necessidade de tempo e pesquisa para implantação, além de envolver questões como demanda, preferência de consumidores e estilo de vida.

No caso da substituição de produto por outro similar, ROCCA et al. (1993) indicam alguns fatores que devem ser analisados na determinação da viabilidade desta mudança:

- garantia da manutenção da qualidade do produto;
- viabilidade econômica da substituição;

- conseqüências ambientais do processamento e destinação dos resíduos gerados na fabricação do substituto;
- o custo/ benefício ambiental da substituição.

Como exemplo de substituição de produto, os autores citam o uso de hidrocarbonetos alifáticos como substituintes de solventes mais tóxicos, como o percloroetileno e tricloroetileno, gerando resíduo menos tóxicos.

SCHOT & FICHER (1993) citam a diminuição do uso de solventes orgânicos em tintas. De acordo com os autores, os solventes orgânicos começaram a ser usados a partir da década de 50 na composição de tintas, e estão usualmente presente em altas concentrações, em torno de 30 a 65% (podendo chegar a 90%). Atualmente sabe-se que estes solventes são altamente prejudiciais, não só depois de tornarem-se resíduos, como também durante a fabricação e aplicação das tintas, devido a emissões tóxicas. O uso de tintas com baixas concentrações de solventes orgânicos reduz a poluição ambiental e diminui o risco para a saúde humana. Como exemplo de tinta com baixa concentração de solventes, os autores mencionam as tintas com bases aquosas (5 a 10% de solventes).

◆ Mudança no processo

Segundo o PPW (1993), as mudanças no processo permitem que os recursos sejam utilizados de forma mais eficiente e com menos geração de resíduos. As mudanças no processo constituem-se de mudanças de material, melhoria nas práticas operacionais e mudança de tecnologia.

Mudança de material

As mudanças no material de entrada ocorrem quando há substituição de uma matéria-prima por outra menos ou não perigosa, ou ainda, a redução do uso destes materiais, com a conseqüente geração de resíduos menos perigosos. O uso de

materiais com maior grau de pureza, evitando a entrada de impurezas, que poderiam comprometer a eficiência do processo e gerar mais resíduo, também é considerado mudança de material.

FREEMAN (1989)⁹ apud MATOS (1997) cita como exemplo de minimização de resíduos através de mudança no material, a redução de fósforo no efluente líquido da indústria têxtil, através da diminuição do uso de substâncias que contém fósforo. Outro exemplo é a redução do uso de cádmio em pigmentos na indústria de tintas.

Melhoria nas práticas operacionais

Segundo STRAUS & MENESES (1993), os procedimentos operacionais de uma indústria, geralmente utilizados há muito tempo, acabam por se tornar práticas padrão. Muitas indústrias resistem a mudar estas práticas já bem conhecidas. Contudo, o estudo e modificações das práticas operacionais podem aumentar a eficiência do processo e diminuir a geração de resíduos.

Grande parte das modificações nas práticas operacionais são simples e de baixo custo, além de poderem ser implantadas em curto espaço de tempo. Os benefícios alcançados com a adoção destas opções podem servir como incentivo para mudanças mais profundas, para as quais algumas indústrias ainda não estejam preparadas ou tenham receio de implantar.

Algumas das modificações no processo são:

- treinamento de funcionários, que tem como objetivo, de acordo com a US EPA (1998)¹⁰, reduzir a geração de resíduos do uso incorreto de ferramentas, equipamentos e materiais. Outra importante função do treinamento é

⁹ FREEMAN, M. H. (1990). *Hazardous waste minimization*. Sigapore, McGraw-Hill. apud MATOS, S. (1997). *Proposta para minimização de resíduos sólidos industriais: estudo de caso com areia de fundição*. São Carlos. 107p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

¹⁰ UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (1998). *Profile of the Metal Fabrication Industry*. <http://es.epa.gov/oeca/sector/index.html#metal>. (16 Dec.).

conscientização da necessidade de reduzir resíduos, do manejo adequado e seguro de materiais e informar quanto às metas e objetivos da indústria;

- inspeção, manutenção preventiva de equipamentos e controle de vazamentos, reduzindo perdas no processo com vazamentos e gotejamentos, aumentando a eficiência e diminuindo a produção de produtos fora de especificação;
- segregação de resíduos, evitando misturar resíduos de diferentes tipos e resíduos perigosos com não perigosos. Isso diminui a quantidade de resíduos perigosos a serem tratados e dispostos. Uma importante consequência da segregação de resíduos, de acordo com STRAUS & MENESES (1993), é a possibilidade de recuperação ou reprocessamento do resíduo ou de seus componentes. Outra vantagem deste método é sua simplicidade, que viabiliza uma rápida implantação. Um exemplo de segregação de resíduos, mencionados pela US EPA (1998), é a separação de cavacos no processamento de metal por tipos diferentes e a separação de diferentes óleos usados;
- melhora nas práticas de compra e controle de inventário, reduzindo a geração de resíduos de produtos estragados. HIGGINS (1989) observa que a prática de comprar matérias-primas em grandes quantidades, visando um menor custo de compra, não considera o custo de disposição de resíduos de materiais vencidos e que não foram usados. Para diminuir este custo, o autor aconselha a compra em recipientes de tamanho apropriado ao uso atual, redução do inventário de materiais perigosos ao mínimo necessário e verificação do uso total de material de um recipiente antes de abrir outro;
- planejamento e seqüenciamento da produção, que conforme US EPA (1998), é usado para identificar e eliminar as operações desnecessárias, diminuir perdas e gastos de tempo e material, aumentando a eficiência do processo produtivo.

Mudança de tecnologia

As mudanças de tecnologia envolvem mudanças no processo e em equipamentos, com o objetivo de reduzir a geração de resíduos e aumentar a eficiência do processo produtivo.

NEWTON (1990) informa que nesta técnica de minimização estão incluídas opções onde são necessárias pequenas modificações e capital, e outras que precisam de grandes investimentos de recursos e modificações mais profundas, ou mesmo substituição de equipamentos e desenvolvimento de novas tecnologias.

De acordo com ROCCA et al. (1993), embora o alto custo de desenvolvimento de novas tecnologias que gerem menos resíduos e impactos ambientais, os benefícios ambientais são consideráveis e, justamente por isso, é este o foco principal da minimização de resíduos. Os autores chamam estas tecnologias de “tecnologias limpas” ou, conforme MOHANTY & DESMUKH (1998), “tecnologias verdes”.

As modificações tecnológicas incluem:

- novas tecnologias, que pode ser a adoção de tecnologias já existentes ou desenvolvimento de tecnologias;
- adoção ou aumento do uso de automação, diminuindo a geração de produtos fora de especificação e substituição, sempre que possível, dos processos em batelada por processos contínuos;
- modificações em layout e tubulações;
- mudanças no gerenciamento, planejamento e controle da produção, como por exemplo adoção do “Just in time”, que otimiza os processos, reduz inventário e gera menos resíduo (embora este não seja seu objetivo principal);
- melhora ou substituição de equipamentos;
- mudanças nas condições de operação (temperatura, pressão, tempo de residência);

Reciclagem

A reciclagem de resíduos é uma técnica que vem sendo utilizada há algum tempo, e que já está bastante difundida em muitos setores industriais. Este método de minimização pode ser uma importante alternativa de gerenciamento de resíduos, contribuindo para a redução de resíduos e conservação de recursos naturais.

As técnicas de reciclagem dividem-se em uso e reuso e recuperação, conforme pode ser visto na FIGURA 3.

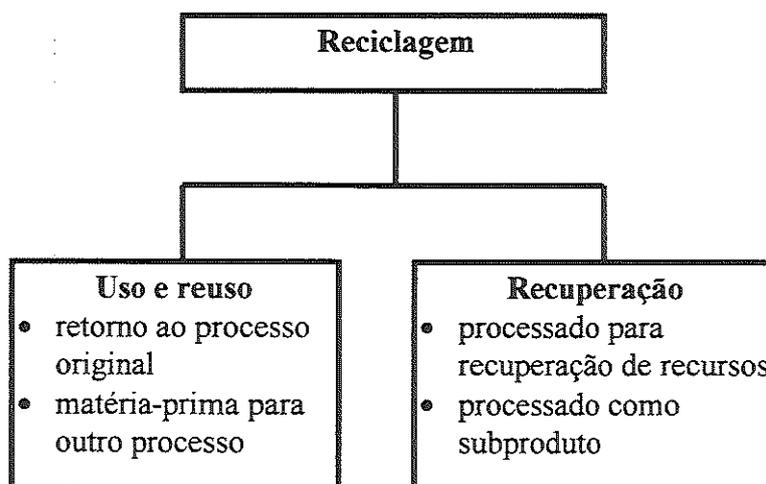


FIGURA 3: Técnicas de reciclagem

FONTE: CHEREMISINOFF & KING (1991), p.66. (modificado)

O uso e reuso constitui a volta do resíduo como matéria-prima para o próprio processo ou em outro processo. ROCCA et al. (1993) citam como exemplo, o reuso de solventes gastos para limpeza de equipamentos e o reuso de poeira coletada no local de produção de pesticidas, como matéria-prima no processo. Outro exemplo, apontado por MATOS (1997), é a reutilização de sobras de tintas de impressão para a fabricação de tinta preta.

A **recuperação** consiste na recuperação de um composto do resíduo para que seja utilizado no próprio processo, ou em outro processo. Um exemplo é a recuperação de óleos lubrificantes, prática obrigatória no Brasil, segundo ROCCA et al. (1993). Outro exemplo desta alternativa de reciclagem é a recuperação de metais de diversos resíduos que o contém (como resíduo de galvanoplastia). JOHASSON (1992) observa que a recuperação de metais de resíduos ainda é realizada em um nível bem inferior às suas reais possibilidades, enquanto o consumo mundial torna-se cada vez maior. O autor aponta como consequência disso não só problemas ambientais, como também a perda de importante matéria-prima. A TABELA 3 mostra uma estimativa do consumo e descarte anual, mundial, de alguns metais.

TABELA 3: Consumo e descarte anuais de metais

Metal	Consumo¹¹(milhões de toneladas)	Descarte¹²(milhões de toneladas)
Ferro	915	319
Cobre	29	4.4
Chumbo	73	2.3
Zinco	139	3.9
Manganês	32	1.6

FONTE: JOHASSON (1992), p. 17.

De acordo com SCHIMIT & KODUCULA (1985), a reciclagem de resíduos industriais depende de fatores tecnológicos e econômicos. Os fatores econômicos seriam, segundo os autores, a limitação mais importante, já que as técnicas de reciclagem são caras, o que muitas vezes inviabiliza a sua realização. Para superar esta dificuldade, ainda segundo os mesmos autores, deve-se identificar as limitações de cada processo com objetivo de melhorá-lo, barateando-o de forma a torná-lo mais atrativo.

¹¹ Consumo mundial no ano de 1986.

¹² Descarte mundial no ano de 1988.

Por outro lado, os fatores econômicos também podem contribuir para adoção da reciclagem (ou outro método de redução de resíduos), já que os gastos com tratamento, transporte e disposição dos resíduos tendem a aumentar.

ROCCA et al. (1993) apontam como condições que influenciam a viabilidade da reciclagem, a distância da unidade de reprocessamento, o custo de transporte do ponto de geração até esta unidade, o volume de resíduo a ser reciclado e o custo de estocagem à espera de reciclagem.

A reciclagem dentro do processo gerador é, de acordo com a hierarquia da US EPA (Quadro 1, página 14), uma das opções a ser primeiramente considerada. Porém, isso nem sempre é possível. Alguns problemas, como custo de compra e instalação de novos equipamentos, custo de operação e modificações no processo, algumas vezes necessárias, dificultam a utilização dos resíduos dentro do processo. A reciclagem fora da indústria geradora pode ser mais viável em muitos casos, principalmente em indústrias pequenas e que geram pouco resíduo. ROCCA et al. (1993) afirmam que empresas especializadas em recuperação de resíduos têm se tornado muito comuns. Contudo, uma vantagem muito importante da reciclagem no próprio local é que a qualidade do material reciclado é mais facilmente assegurada, e o controle da qualidade do reciclado é muito importante para sua utilização na própria indústria ou sua aceitação no mercado.

Em muitos países tem sido utilizado, como mecanismo de incentivo da reciclagem, a “Bolsa de resíduos”. Através deste meio as indústrias anunciam seus resíduos para venda ou doação, indicando o nome dos resíduos e suas características (quantidade, composição química etc).

2.4) O processo de acabamento de metais

(O processo galvanotécnico de acabamento de metais consiste, segundo BRAILE & CAVALCANTI (1979), no revestimento de materiais metálicos com camada de determinados metais, através de métodos eletrolíticos ou por imersão simples da peça a revestir em uma solução adequada. Nestes processos as peças a

revestir funcionam como um cátodo de uma célula eletroquímica) ARAGÃO (1984) menciona que superfícies não metálicas também podem ser revestidas através destes processos. A qualidade do processo depende do controle de parâmetros como voltagem, amperagem, temperatura e tempo de permanência da peça no banho.

De acordo com o NORTHEAST WASTE MANAGEMENT OFFICIALS' ASSOCIATION - NEWMOA (1997), o revestimento metálico tem como objetivo melhorar algumas das propriedades do material como: resistência a corrosão e desgaste, dureza, soldabilidade, resistência a manchas e agentes químicos, aumentar condutividade ou resistência elétrica. O revestimento pode também ser feito somente com finalidade estética.

(O acabamento de metais pode ser a única atividade realizada por uma indústria, porém, em muitos casos, representa apenas uma etapa do processo produtivo. Isto é o que afirma ARAGÃO (1984), que cita as indústrias automobilística, aeronáutica, de componentes elétricos, eletrodomésticos, e de tubulações hidráulicas, entre algumas que utilizam processos de acabamento de metais como uma etapa de seus processos produtivos.) NEWMOA (1997) informa que a indústria automobilística é responsável por quase 40% do uso destes processos nos Estados Unidos. Deve-se observar, porém, que em muitas indústrias onde havia processos galvânicos de acabamento de metais como parte do processo produtivo, estes foram terceirizados. Este processo de terceirização ocorre principalmente nas grandes indústrias.¹³

(De acordo com o PPW (1993), a maioria dos processos de acabamento de metais consiste em 3 etapas: limpeza das peças, tratamento superficial para modificação das propriedades da superfície e lavagem das peças.)

¹³ Pode-se citar como exemplos de indústrias que terceirizaram seus processos de acabamento de metais a Electrolux, situada em São Carlos, e a Dako, em Campinas. Estas indústrias mantiveram em seus processos somente acabamentos mais simples e menos poluidores que os galvânicos, como a fosfatização, que será abordada mais adiante.

2.4.1) Limpeza das peças (Pré - tratamento)

Para que ocorra uma boa adesão da camada revestida, a superfície metálica deve ser submetida a um pré-tratamento que elimine sujeiras, óleos e óxidos. NEWMOA (1997) aponta as falhas na aderência da camada revestida ou na sua capacidade de proteção, como principal problema da não realização de uma limpeza adequada da superfície.

Segundo ARAGÃO (1984), o pré-tratamento consiste em: esmerilhamento e polimento, limpeza e desengraxe, decapagem e desoxidação, lavagem e neutralização.

De acordo com FRAUNHOFER (1976), o pré-tratamento é feito, geralmente, em várias etapas. (A escolha do tipo de pré-tratamento a ser usado depende de vários fatores, como tipo de revestimento que será realizado posteriormente, material base e tipo de sujeira a ser eliminada.) A estes fatores, NEWMOA (1997) adiciona também o grau de limpeza requerido.

Conforme PPW (1993), (existem quatro tipos de contaminantes que devem ser considerados no processo de acabamento de metais: 1) resíduos de óleos lubrificantes utilizados durante o processo de fabricação da peça, graxa utilizada como proteção de peças estocadas e graxas e óleos aderidas na superfície durante o manuseio das peças; 2) partículas de poeira que muitas vezes encontram-se aderidas ao resíduo de óleos e graxas; 3) incrustações de óxidos; 4) resíduos de tinta utilizados para proteger a superfície.)

Ainda segundo a mesma referência, (estas impurezas podem ser removidas através de quatro diferentes mecanismos, ou da ação de dois ou mais mecanismos: 1) ação de solventes; 2) detergentes; 3) através de reações químicas; 4) ação mecânica.)

De acordo com FRAUNHOFER (1976), (o polimento pode ocorrer através de ação mecânica, química ou eletrolítica.) No polimento mecânico utiliza-se uma substância abrasiva, presa a um disco ou cinta, que gira a alta velocidade, removendo camadas superficiais do metal.

Para GALVANOTECHNIK (1973)¹⁴ e ARAGÃO (1984) este processo de remoção de pequenos pedaços da superfície do metal, através da ação de abrasivos, chama-se esmerilhamento. Como polimento os autores definem o aplainamento e o fechamento de sulcos e estrias, através da pressão entre os grãos da politriz com a superfície, sem que haja a remoção de material. GALVANOTECHNIK (1973) indica como principal abrasivo utilizado no esmerilhamento o carvão de silício, e no polimento o óxido de alumínio (alumina).

Embora os processos de polimento mecânico sejam muito utilizados, FRAUNHOFER (1976) menciona que os processos químico e eletrolítico vêm sendo cada vez mais utilizados. No polimento químico o metal é tratado com uma substância ácida ou alcalina, que dissolve seletivamente o metal, dando brilho à superfície. No polimento eletrolítico o metal da superfície é dissolvido anodicamente em um eletrólito adequado, pela passagem de corrente reversa.

(A etapa seguinte ao polimento é, geralmente, a remoção de graxas, óleos e resíduos do polimento.) FRAUNHOFER (1976) indica que (os dois meios usados para isso são solventes desengraxantes ou limpadores em emulsão).

(Entre os solventes desengraxantes, ARAGÃO (1984) relaciona os solventes orgânicos e os solventes alcalinos a quente. O mesmo autor menciona que o desengraxe também pode ser realizado por processo eletrolítico.) A TABELA 4 mostra um resumo dos processos de desengraxe das peças.

¹⁴ Este texto é um trabalho realizado pela equipe da revista de galvanoplastia alemã, GALVANOTECHNIK. Ver referência bibliográfica.

TABELA 4: Processos de desengraxe

TIPO DE PROCESSO	DENOMINAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO	FINALIDADE DO PROCESSO
tratamento com ultra-som	limpeza com ultra-som, faixa de frequência 20 kHz e mais	aumento da ação da limpeza e de desengraxamento em solventes, soluções alcalinas e decapantes ácidos
processos físicos químicos	desengraxamento com solvente, desengraxamento por imersão, desengraxamento por condensação, desengraxamento com emulsão	remoção de óleos, graxas, pó e substâncias de polimento
processos eletroquímicos	catódico, anódico, com inversão periódica dos pólos em soluções alcalinas, em soluções ácidas	desengravar, decapar, leve eliminação de pó, remoção de carepa
processos químicos em soluções aquosas	em soluções alcalinas	desengravar, remoção de pó e substâncias de polimento
processos químicos em soluções aquosas	em ácidos minerais, com adição de substâncias tensoativas, inibidores	desengravar, decapar em ácido fosfórico, passivação

FONTE: GALVANOTECHNIK (1973), p.98.

De acordo com ARAGÃO (1984), a decapagem e desoxidação são realizados com o intuito de remover óxidos e impurezas da superfície metálica, utilizando-se de soluções ácidas ou alcalinas.

Após cada uma destas etapas, as peças precisam ser lavadas e, se necessário, neutralizadas.

2.4.2) Revestimentos metálicos

Vários metais são usados nos processos de acabamento de metais. Entre os principais metais utilizados para os revestimentos estão, de acordo com HIGGINS (1989), o cromo, o níquel, o cádmio e o zinco. Também são muito usados, entre outros, o cobre, o ouro e a prata.

♦ Revestimento de cromo - (cromeação ou cromagem¹⁵)

De acordo com BRAILE (1979), existem dois tipos de revestimentos de cromo: a cromeação dura e a decorativa.

HIGGINS (1989) enquadra dentro da cromeação decorativa (ou brilhante) a realizada para melhorar o brilho da superfície revestida. Outra finalidade dessa cromeação é dar proteção à corrosão. Segundo este mesmo autor, nestes tipos de revestimentos são suficientes pequenas espessuras de camada, e o processo ocorre em poucos minutos.

Como exemplo da cromeação dura, BRAILE & CAVALCANTI (1979) mencionam o revestimento de ferramentas, com finalidade de melhorar suas características mecânicas. Através desse tipo de revestimento, pode-se conseguir superfícies com maior dureza e resistência ao desgaste, sendo necessário para isso, maior espessura de camada de revestimento e tempo de tratamento. Segundo HIGGINS (1989), a duração deste processo pode chegar a 24 horas ou mais.

GALVANOTECHNIK (1973) menciona que as espessuras da camada de revestimento para a cromeação brilhante varia de 0.2 a 0.5 μm , já na cromeação dura necessita de espessuras de camada que variam de 0.1 μm até alguns milímetros. Segundo FRAUNHGFER (1976), somente com espessuras superiores a 25 μm pode-se obter uma superfície com boa característica de dureza.

Os eletrólitos utilizados na cromeação são à base de solução aquosa do trióxido de cromo (cromo hexavalente), CrO_3 , chamado de anidrido de ácido crômico ou ácido crômico. De acordo com GALVANOTECHNIK (1973), as concentrações variam de 250 a 600 g CrO_3/l . Outro constituinte comum deste banho é o sulfato, cuja quantidade é calculada a 1% da do ácido crômico.

A TABELA 5 mostra uma especificação para composição de eletrólitos de cromeação decorativa e dura.

¹⁵ As duas denominações foram encontradas na bibliografia consultada

TABELA 5 - Eletrólitos para revestimento de cromo

Componentes do eletrólito e condições de operação	Solução diluída	Solução concentrada
ácido crômico (g/l)	250	400
ácido sulfúrico (g/l)	2,5	4,0
temperatura do banho (° C)	40-70	25-50
densidade de corrente(A/dm ²)	16-40	8-20
aplicação	deposição dura	deposição decorativa

FONTE: FRAUNHOFER (1976), p.85

♦ Revestimento de níquel - (niquelagem ou niquelação¹⁶)

De acordo com GALVANOTECHNIK (1973), o níquel foi o primeiro metal a ser depositado galvanicamente e é, atualmente, o metal mais importante da galvanotécnica.

O revestimento com níquel é aplicado para proteger contra corrosão e aumentar a resistência ao desgaste da superfície metálica (HIGGINS: 1989). Além disso, é utilizado também com funções estéticas (BRAILE: 1979), assim como para a reconstituição de peças usadas (OLIVEIRA: 1998).

Segundo HIGGINS (1989), a deposição metálica é rápida, completando-se o processo satisfatoriamente em poucos minutos.

De acordo com GALVANOTECHNIK (1973), o níquel não tem boa resistência ao embaçamento. Devido a isto, muitas vezes o cromo é utilizado como um revestimento posterior ao níquel, protegendo a superfície. Porém, a utilidade da camada posterior de cromo não é unicamente proteger contra embaçamento, já que o cromo também contribui bastante para a proteção à corrosão.

BRAILE & CAVALCANTI (1979) indicam que a niquelação pode ser fosca ou brilhante.

¹⁶ As duas denominações foram encontradas na literatura.

Os componentes de um eletrólito de níquel são: a) sal metálico, cujo mais importante é o sulfato de níquel; b) sal condutor, com o objetivo de aumentar a condutividade elétrica, sendo o mais utilizado o cloreto de níquel (melhor) e o cloreto de sódio (mais barato); c) substância tampão, para evitar o aumento do pH da solução, o mais utilizado é o ácido bórico; d) umectantes, para evitar a formação de poros, algumas das substâncias utilizadas são ésteres de ácido sulfúrico e ácido fosfórico de álcoois ; e) abrilhantadores, utilizados na niquelação brilhante, que são geralmente substâncias orgânicas; f) aditivos de dureza, também geralmente substâncias orgânicas (GALVANOTECHNIK: 1973).

◆ Revestimento de zinco - (zincagem)

De acordo com GALVANOTECHNIK (1973), a zincagem é realizada com finalidade estética ou como proteção à corrosão, ou com ambas finalidades, sendo mais econômico que o revestimento níquel-cromo. O revestimento eletrolítico de zinco é o mais utilizado, depois do de níquel e de cromo.

Outro processo de revestimento com zinco é a zincagem a fogo. Na zincagem galvânica pode-se obter uma grande variedade de espessuras de camada, porém de acordo com FRAUNHOFER (1976), a zincagem galvânica não é econômica quando se deseja grandes espessuras de revestimento, maiores que 30 μm , sendo então, preferível utilizar outro tipo de zincagem. Outra situação onde a zincagem galvânica não é adequada, apontado por GALVANOTECHNIK (1973), é quando se tem superfícies com grandes áreas a revestir. Por outro lado, a zincagem a fogo, por utilizar-se de altas temperaturas, em torno de 450 °C, pode ocasionar deformações e mudanças na estrutura cristalina das superfícies a serem revestidas.

GALVANOTECHNIK (1973) divide os eletrólitos da zincagem galvânica em ácidos e alcalinos. Entre os ácidos estão os sulfúricos, clorídricos e borofluorídricos, e entre os alcalinos os cianídricos, de zincato e de pirofosfato. De acordo com FRAUNHOFER (1976), os eletrólitos mais utilizados na zincagem galvânica são os que utilizam cianetos.

As tabelas 6 e 7 mostram respectivamente, exemplos de composição e condições de operação de eletrólitos cianídricos (alcalino) e sulfúricos (ácido).

TABELA 6 - Eletrólitos cianídricos para a zincagem

Componentes e condições de operação	Convencional	baixo cianeto
Zinco metálico (g/l)	60	9
cianeto de sódio (g/l)	40	4
hidróxido de sódio (g/l)	80	90
temperatura (° C)	20-35	20-25
densidade de corrente (A/dm ²)	1-10	0,1-3

FONTE: FRAUNHOFER (1976), p.96

TABELA 7 - Eletrólitos com sulfato para a zincagem

Componentes e condições de operação	eletrólito	eletrólito	eletrólito	eletrólito
	1	2	3	4
Sulfato de zinco (g/l)	400	225-350	350	375
cloreto de amônia (g/l)	22	14-28	-	-
sulfato de amônia (g/l)	-	-	30	-
sulfato de sódio (g/l)	75	-	-	75
sulfato de alumínio (g/l)	-	28	-	-
sulfato do magnésio (g/l)	-	-	-	60
pH	3,5-4,5	3,5-4,2	3-4,5	3-4
temperatura de operação (° C)	20-30	35-50	38-55	55-65
densidade de corrente (A/dm ²)	1-3	1-3	10-60	25-40

FONTE: FRAUNHOFER (1976), p.96

◆ Revestimento de cádmio

De acordo com GALVANOTECHNIK (1973), o cádmio é utilizado com o objetivo de proteger o material a ser revestido da corrosão. Segundo HIGGINS (1989), além deste propósito, o cádmio pode ser utilizado para melhorar a resistência ao desgaste e para decoração.

O revestimento com cádmio vem sendo cada vez mais substituído por revestimentos de ligas de zinco, conforme indica GALVANOTECHNIK (1973). Isto ocorre, principalmente, devido ao alto custo e toxicidade do cádmio. Segundo HIGGINS (1989), porém, o cádmio tem algumas vantagens com relação ao zinco: 1) o cádmio tem uma melhor soldabilidade; 2) o processo de revestimento com cádmio é mais fácil de se controlar; 3) a proteção à corrosão do revestimento de cádmio é um pouco superior ao zinco, quando submetidos ao ambiente marinho.

De acordo com GALVANOTECHNIK (1973), os eletrólitos mais comuns de cádmio são os cianídricos, com óxido ou cianeto de cádmio e cianeto de sódio.

◆ Outros revestimentos (ouro, prata, cobre)

O cobre apresenta, como características, ductilidade, boa condutividade de calor e eletricidade. Este revestimento é muito utilizado em indústrias automobilísticas, de equipamentos elétricos, de eletrodomésticos e de adornos. Segundo HIGGINS (1989), devido a sua propriedade de bom condutor de eletricidade, o cobre tem sido utilizado como revestimento sobre plástico, na fabricação de placas de circuito impresso.

Os eletrólitos de cobre são cianídricos e sulfídricos.

O ouro e a prata são utilizados em revestimento de contatos elétricos de alta precisão, devido às suas propriedades de excelentes condutores e por serem inertes (metais nobres). São também utilizados em finas camadas para revestimentos decorativos (HIGGINS: 1989).

Os eletrólitos dos revestimentos de ouro e prata também são cianídricos.

◆ Outros processos de acabamento de metais

Além dos revestimentos citados, outros processos de acabamento de metais como a fosfatização, anodização e passivação são muito utilizados pelas indústrias. De acordo com NEWMOA (1997), estes revestimentos são utilizados como proteção para a superfície, antes de um outro processo de revestimento ou com fim decorativo.

A fosfatização é, conforme GALVANOTECHNIK (1973), um processo no qual são obtidos fosfatos metálicos de pequena espessura a partir da imersão ou pulverização com soluções de ácidos fosfóricos. Este processo é muito utilizado como base aderente e proteção anticorrosiva para pintura.

De acordo com GALVANOTECHNIK (1973), na anodização, a superfície metálica, geralmente de alumínio, é oxidada anodicamente formando um filme de óxido metálico, que protege o metal contra ataque da atmosfera e de outros metais. NEWMOA (1997) indica que este processo é muitas vezes utilizado como pré-tratamento para pintura.

Segundo NEWMOA (1997), a passivação é um processo em que a peça é imersa em solução de ácido nítrico, ou de ácido nítrico com dicromato de sódio. É utilizada para prevenir a corrosão e estender a vida da peça.

◆ Informações gerais sobre operação e equipamento

De acordo com FRAUNHOFER (1976), os ânodos utilizados na deposição galvânica podem ser de dois tipos: ânodos inertes, onde a deposição ocorre através da utilização de íons metálicos adicionados à solução, e ânodos que se dissolvem durante a deposição, mantendo a concentração dos íons metálicos na solução. Conforme GALVANOTECHNIK (1973), os ânodos insolúveis são compostos de ferro, aço inoxidável, ferro solúvel, grafite, ligas de chumbo ou platina, dependendo da composição do eletrólito. Segundo FRAUNHOFER (1976), o ânodo inerte deve ter uma alta condutividade e uma baixa taxa de corrosão (quando o ânodo é

susceptível a corrosão pode ocorrer uma entrada indesejável de íons estranhos na solução, prejudicando a eficiência do processo). O uso do ânodo inerte é aconselhável quando o metal é mais caro que o do sal do mesmo metal. Quando é utilizado o ânodo que se dissolve, é desejável que a taxa de dissolução do ânodo seja o mais próximo possível da taxa de deposição metálica no cátodo, ou seja, a eficiência no ânodo deve ser igual a no cátodo. Quando a eficiência no ânodo é maior, pode ocorrer uma queda na qualidade por excesso de acumulação de íons metálicos na solução. Por outro lado, se a eficiência no ânodo é menor, pode ocorrer uma diminuição (eliminação) de íons metálicos na solução e uma conseqüente necessidade de repor os íons metálicos no banho.

Quanto ao formato, GALVANOTECHNIK (1973) indica que os ânodos podem ser uma haste, chapa ou esferas contidas dentro de uma cesta de titânio.

Os eletrólitos utilizados nos banhos de revestimento contém, de acordo com FRAUNHOFER (1976), além do íon metálico, vários outros constituintes como agentes condutivos para manter o fluxo de corrente, agente tampão que mantém o pH da solução, agentes niveladores e abrilhantadores, e molhadores.

Conforme indica BRAILE & CAVALCANTI (1979), para cada caso específico de material de revestimento e a revestir, existe um banho. Os autores informam, ainda, que estes banhos possuem, muitas vezes, fórmulas patenteadas ou são preparadas na própria indústria.

2.4.3) Resíduos gerados pelos processos de acabamento de metais

Os resíduos gerados no processo de acabamento de metais constituem-se de substâncias tóxicas e corrosivas. Conforme ARAGÃO (1984), encontram-se nos despejos cianetos, ácidos crômicos, metais pesados, ácido nítrico, ácido clorídrico, hidróxidos de sódio e potássio, entre outros.

NWMOA (1997) menciona que a maior parte dos produtos químicos utilizados nestes processos saem como resíduos. Isto é agravado pelo fato de que muitos destes produtos químicos são altamente tóxicos e cancerígenos. Alguns dos

processos mais problemáticos são os recobrimentos com cádmio, chumbo, cromo (com cromo hexavalente) e os que utilizam cianetos como o de zinco, cobre, bronze e prata.

Estes processos geram resíduos líquidos, sólidos e alguns, como o revestimento com cromo, produzem também emissões atmosféricas.

Algumas referências a resíduos de acabamento de metais, encontradas na listagem 1 (resíduos de fontes não específicas), da norma NBR 10004 Resíduos sólidos - classificação, são mostrados no anexo B (página 114).

◆ Despejos líquidos

O efluente líquido é o resíduo gerado em maior quantidade. A lavagem das peças, tanto das etapas de pré-tratamento como dos banhos de revestimento, é a maior responsável por este efluente. A água de lavagem, de acordo com NWMOA (1997), carrega baixas concentrações dos componentes químicos utilizados nestas etapas.

BRAILE & CAVALCANTE (1979) classificam os despejos em quatro tipos:

- ácidos contendo cromo;
- ácidos isentos de cromo (contendo metais como cobre, zinco e cádmio);
- alcalinos contendo cianetos;
- alcalinos isentos de cianetos (contendo sulfuretos, hidróxidos, ortofostatos e silicatos).

Alguns dados referentes a alguns contaminantes encontrados nos despejos são mostrados na TABELA 8.

TABELA 8: Concentrações de contaminantes no efluente bruto de indústrias de acabamento de metais e concentrações máximas permitidas para lançamento de efluente

Contaminante	Concentração nos despejos (mg/l)	Concentração máxima admissível (mg/l)
cianetos	30-500	0.2
cádmio	15-20	0.2
cobre	20-100	1.0
chumbo	0-30	0.5
cromo hexavalente	50-600	0.5
ferro	muito variável	15.0
níquel	25-200	2.0
zinco	15-20 30-500	5.0

Os dados da tabela 8, referentes às concentrações de contaminantes nos despejos e às concentrações máximas admissíveis, foram extraídos, respectivamente de ARAGÃO (1984) e da resolução CONAMA nº 20, de julho de 1986, artigo 21, que estipula as condições de lançamento de efluentes para qualquer fonte poluidora.

De acordo com a bibliografia consultada, as principais origens de despejos líquidos são:

- lavagem do pré-tratamento, contendo solventes orgânicos de óleos e graxas, banhos ácidos e alcalinos;
- soluções concentradas do pré-tratamento que não são regeneráveis;
- lavagem das peças retiradas dos banhos eletrolíticos ácidos e alcalinos;
- descarte de banhos contaminados;
- respingos (arraste entre os tanques);
- vazamentos de tanques e tubulações;
- lavagem de piso;

O efluente líquido é, geralmente, tratado no próprio local e descartado na rede de esgoto ou em corpos d'água (desde que estejam de acordo com o estipulado na legislação).

◆ Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos, embora não sejam gerados em grande quantidade, são muito preocupantes, pois possuem grandes concentrações de metais, e poucas alternativas de manejo.

NWMOA (1997) indica como principais resíduos sólidos:

- lodo de fundo de tanque dos banhos de revestimentos gastos que precisam ser descartados quando perdem a eficácia ou no caso de contaminação;
- lodo de fundo de tanque dos banhos de decapagem gastos;
- resíduos de dispositivos de controle de poluição atmosférica;
- resíduos sólidos diversos como os provenientes dos filtros e dos *containers* vazios;
- descartes de solventes usados para remoção de graxas;
- lodo proveniente do tratamento de efluente.

Os resíduos sólidos são tratados no local ou levados para alguma unidade de tratamento e recuperação fora do local.

◆ Emissões atmosféricas

Vários processos de acabamento de metais produzem emissões atmosféricas. Os mais preocupantes, conforme informa NWMOA (1997), são os revestimentos com cromo hexavalente e a anodização, que precisam de dispositivo de controle atmosférico. FREEMAN (1995) informa que os processos de desengraxe com solventes clorados e outros limpadores orgânicos geram grande quantidade de emissões atmosféricas por evaporação.

2.5) Minimização de resíduos nos processos de acabamento de metais

Conforme a bibliografia consultada, as possibilidades de minimização de resíduos para os processos de acabamento de metais abrangem todas as suas etapas, desde o pré-tratamento, tratamento e lavagem das peças, até os possíveis tratamentos subsequentes (como pintura e tratamentos térmicos), para melhorar as propriedades do material ou aspecto estético.

As alternativas de redução englobam procedimentos mais simples e com menor custo, como melhorias em práticas operacionais, e alternativas que necessitam de mais pesquisas e investimento de capital como a substituição ou redução de alguns materiais tóxicos.

As principais técnicas de minimização de resíduos, aplicadas aos processos de acabamento de metais, são: melhorias nas práticas operacionais, prevenção de arraste, substituição e redução de uso de materiais perigosos, modificações na lavagem e reciclagem.

2.5.1) Melhoria nas práticas operacionais

HIGGINS (1989) sugere que alguns cuidados e modificações nas práticas operacionais podem ser implantados com sucesso na redução de resíduos, e com um pequeno custo de investimento. Estas modificações poderiam trazer como benefícios, além de redução de resíduos, um uso mais eficiente de matéria prima, energia e equipamentos, e uma melhor qualidade do produto.

Algumas das práticas operacionais que poderiam reduzir resíduos são treinamento de funcionários, inspeção e manutenção preventiva, procedimentos de compra e manuseio de materiais.

◆ **treinamento de funcionários**

O treinamento e conscientização dos trabalhadores são essenciais para quase todas as técnicas de minimização de resíduos. Realmente, o sucesso da implantação de um programa de minimização está intimamente ligado à forma como os trabalhadores estão comprometidos com ele e desempenham suas funções diárias.

Entre as técnicas de minimização onde o treinamento de funcionários é muito importante pode-se citar a conservação e manutenção de equipamentos, a prevenção da contaminação dos banhos, a prevenção de respingos (arraste), a conservação de matéria-prima e a prevenção de gasto desnecessário de água e de componentes químicos dos banhos.

Além de redução de resíduos, também é alcançado com o treinamento uma maior segurança dos trabalhadores e um menor potencial de riscos ambientais, já que os trabalhadores estarão melhor informados quanto aos perigos dos materiais utilizados e formas adequadas de manejá-los. NWMOA (1997) sugere que o programa de treinamento seja feito conjuntamente com o setor de higiene e segurança do trabalho.

◆ **inspeção e manutenção preventivas**

De acordo com PPW (1993), o sucesso na implementação de todas as sugestões de minimização depende de um programa regular e planejado de inspeção de processos, equipamentos, tubulações, estoques e registros de treinamento.

A inspeção preventiva de tanques, tubulações e equipamentos ajuda a identificar possíveis falhas e vazamentos, antes que estes ocorram ou tomem proporções maiores. A manutenção preventiva garante que os equipamentos funcionem de forma eficiente, reduzindo a geração de resíduos e perdas de qualidade dos produtos.

NWMOA (1997) observa que, em um primeiro momento, o custo pode aumentar com a introdução de um programa de inspeção e manutenção preventiva, porém, este custo tende a diminuir em pouco tempo.

◆ Práticas de compra, estoque e manejo de materiais

A matéria-prima utilizada nos processos de acabamento de metais é basicamente composta de substâncias químicas. Segundo PPW (1993), o controle de compra e manejo destas substâncias é um importante meio de reduzir a geração de resíduos.

Alguns dos procedimentos de compra estoque e manejo recomendados pela bibliografia consultada são:

- diminuir inventário e comprar materiais em menor quantidade, que apesar de aumentar o preço de aquisição, diminui os custos com disposição de materiais vencidos e não usados. Comprar materiais de boa qualidade, livre de impurezas e, se possível, não perigosos.
- estocar materiais em local fechado e limitar o acesso a este estoque, designando poucos funcionários treinados para o manejo;
- etiquetar todos os materiais do estoque, colocando composição, data de aquisição e prazo de validade, e garantir o uso completo de materiais que foram adquiridos primeiro, antes de começar a usar outro. Estes procedimentos previnem a geração de resíduos de material vencido e a contaminação dos banhos com materiais inadequados ou estragados;
- dar preferência a fornecedores que aceitem o retorno de *containers* vazios, que reciclem substâncias recuperadas dos resíduos e que possam fornecer amostras de substâncias menos perigosas para testes nos banhos.

◆ práticas operacionais diversas

Algumas práticas operacionais bastante simples, que foram encontradas na literatura, podem ser aplicadas em qualquer indústria de acabamento de metais sem a necessidade de grandes mudanças e investimentos. Estas práticas são:

- manter a limpeza nas áreas dos processos de acabamento de metais para evitar a entrada de elementos estranhos e a contaminação dos banhos. A limpeza do local também facilita a detecção de vazamentos em tanques e tubulações;
- manter limpos ganchos e os racks, usados como suporte das peças nos banhos, e não usa-los se estes estiverem quebrados ou apresentarem rachaduras, para evitar entrada de elementos estranhos no banho e o aumento de geração de lodo (pela decomposição dos metais utilizados nestes suportes);
- usar tanques e equipamentos resistentes à corrosão;
- retirar os ânodos dos tanques quando estes não estiverem em uso. De acordo com HIGGINS (1989), os ânodos sofrem um processo de erosão dentro dos banhos, mantendo a concentração de metais. Porém, sua permanência nos banhos desativados aumenta esta concentração de forma indesejada, provocando a necessidade de descarte de uma porção do banho para reduzir a concentração de metais;
- colocar tampas nos tanques que não estiverem em uso para evitar contaminação;
- controlar o nível de água dos tanques de lavagem e das soluções dos tanques de revestimento, de forma a garantir a eficiência do processo e evitar derramamentos;
- diminuir o consumo de água nas lavagens, reduzindo a geração de efluente líquido;
- monitorar a composição dos banhos e manter os parâmetros de operação dentro dos limites aceitáveis. Estes limites geralmente já são conhecidos, porém se não o forem, devem ser determinados. Muitas vezes os próprios fornecedores dos componentes dos banhos orientam seus clientes quanto às condições de operação.

2.5.2) Prevenção de arraste

HIGGINS (1989) define o arraste como a formação de um filme na superfície da peça, que é carregado de um tanque a outro, causando perda de solução e contaminação do tanque de lavagem subsequente, aumentando assim, a taxa de descartes das soluções, além de provocar respingos no piso e perda de material.

O arraste é uma das principais causas de contaminação dos tanques e redução da vida das soluções, e por isso apresenta-se como um importante foco de redução de resíduos.

A bibliografia consultada faz referência a uma série de medidas, algumas bem simples, que podem diminuir ou evitar o arraste, como:

- reduzir a velocidade de retirada das peças dos banhos, aumentando o tempo de escoamento. A redução de substâncias carregadas, alcançada com o aumento do tempo de escoamento, pode ser bastante significativa, conforme NWMOA (1997). Esta mesma referência, menciona um estudo de caso de uma indústria que conseguiu uma redução de 40% no arraste, com o aumento do tempo de escoamento das peças, de 3 para 10 segundos;
- ter maior cuidado ao retirar as peças do banho, rotacionando-as ou agitando-as, se preciso, para evitar acúmulo de solução nas cavidades. A forma, tamanho e existência de cavidades e depressões nas peças são fatores que, conforme PPW (1993), influenciam muito a quantidade de solução carregada;
- redesenhar suportes e ganchos das peças, evitando formas propícias a acúmulo de líquidos;
- dispor as peças de forma angular nos suportes e evitar posicioná-las umas sobre as outras, facilitando o escoamento das soluções;
- introdução de tanques de drenagem após os banhos, para escoamento das peças e recolhimento de solução;
- mudar condições de processo (aumentar temperatura e diminuir concentração) para reduzir a viscosidade e usar agentes molhadores para diminuir a tensão superficial da solução. Estas mudanças só podem ocorrer, obviamente, se não comprometerem a qualidade do produto.



- usar dispositivo de captação de arraste para direcionar as soluções que escorrem das peças de volta aos tanques de processo.

Na FIGURA 4 é apresentado um esquema de processo que utiliza dispositivo de captação de arraste.

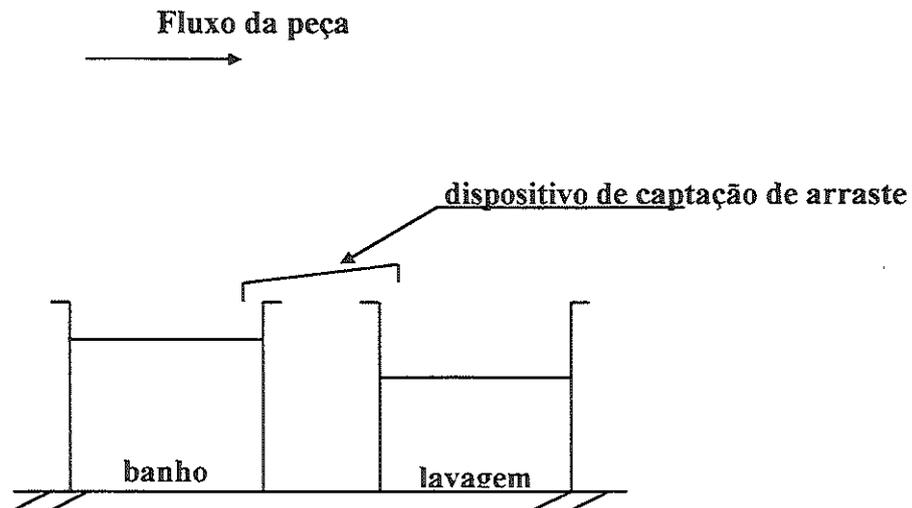


Figura 4: Dispositivo de captação de arraste

Fonte: HUGENNEYER (1978)¹⁷ apud ARAGÃO (1984), p. 41

2.5.3) Substituição e redução do uso de materiais perigosos

Uma das alternativas mais importantes para a redução da geração de resíduos perigosos é a substituição ou redução do uso de materiais perigosos nos processos produtivos. Se, por um lado, esta alternativa requer investimentos às vezes altos, por outro, pode tornar o resíduo menos perigoso, diminuindo os custos com tratamento e

¹⁷ HUGENNEYER, C. (1978). Tratamento de águas residuárias em galvanoplastia *Noticiário da galvanoplastia e proteção superficial*. V. 17, mai/jun. apud ARAGÃO J. M. S. (1984). *Estudo sobre a remoção de metais pesados em águas residuárias de indústrias de acabamento de metais*. São Carlos. 159p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

disposição, e evitando problemas com a legislação ambiental e saúde do trabalhador, vindo a se tornar atrativa. Contudo, deve-se salientar que poucas indústrias estariam aptas a investir e desenvolver pesquisas necessárias à aplicação desta alternativa.

Os mais importantes materiais perigosos a serem substituídos nos processos de acabamento de metais são o cianeto e o cromo hexavalente.

◆ substituição/redução de cianeto

O cianeto é um dos mais perigosos materiais utilizados nos processos de acabamento de metais, e, justamente por isso, tem sido alvo de pesquisas que visam reduzir ou eliminar seu uso, substituindo-o por outras substâncias.

Uma das dificuldades encontradas na substituição de materiais é a possibilidade de comprometimento da qualidade do produto.

O cianeto, de acordo com NWMOA (1997), possui a propriedade de formar compostos complexos muito estáveis com os metais de revestimento e tem grande tolerância a muitas impurezas, o que não ocorre com seus substitutos. Devido a isso, alguns cuidados devem ser tomados, para garantir a qualidade do revestimento nos banhos sem cianeto. Entre estes cuidados estão uma limpeza e controle do processo mais rigorosos e a remoção periódica de ferro e outros contaminantes via filtração.

Vários processos de acabamento de metais utilizam cianetos. Os mais importantes são a zincagem, os revestimento com cobre e com cádmio.

Substituição de cianeto na zincagem

A substituição de cianeto mais bem estudada e conhecida ocorre, conforme HIGGINS (1989), na zincagem. O autor informa que existem várias alternativas à tradicional zincagem alcalina com cianeto. Entre estas, o banho com baixo cianeto (contendo aproximadamente 20% da quantidade de cianeto do tradicional), o banho

alcalino sem cianeto (com hidróxido de sódio e zinco) e o banho ácido sem cianeto (com cloreto ou sulfato).

A TABELA 9 mostra vantagens e desvantagens das principais alternativas de zincagem sem cianeto. As informações da tabela foram retiradas de NWMOA (1997).

TABELA 9: Alternativas para o revestimento de zinco com cianeto

Processo	substituto	vantagens ¹⁸	desvantagens
zincagem alcalina com cianeto	zinco alcalino sem cianeto (hidróxido de sódio e de zinco)	mais barato de todos os processos de zincagem; menor geração de lodo devido a baixa concentração de metais	difícil controle do nível de zinco no banho; baixa eficiência do cátodo; menor tolerância à impurezas
	zinco ácido sem cianeto (cloreto ou sulfato)	alto brilho; alta eficiência do cátodo; bom potencial para reciclagem; efluente fácil de tratar	investimento inicial em equipamento é muito alto; menor tolerância à impurezas

Substituição de cianeto no revestimento de cobre

As alternativas para o tradicional revestimento de cobre com cianeto são os banhos alcalinos (com sulfato de cobre e sulfato de amônio) e ácidos (com sulfato ou fluorborato). A TABELA 10 mostra algumas vantagens e desvantagens destes revestimentos. As informações contidas nesta tabela foram retiradas de FREEMAN (1995) e NWMOA (1997).

¹⁸ Todas as alternativas têm a vantagem de serem menos perigosas que a zincagem com cianeto.

TABELA 10: Alternativas para o revestimento de cobre com cianeto

processo	substituto	vantagens ¹⁹	desvantagens
revestimento de cobre com cianeto	cobre alcalino sem cianeto	processo mais rápido; menor geração de lodo devido a menor concentração de cobre (de 50 a 25 % do tradicional); tratamento do efluente mais simples	custo de operação mais alto; maior sensibilidade à impurezas; controle de operação mais difícil
	cobre ácido com fluorborato	estável e fácil de controlar	alto custo de operação e de tratamento de efluente; mais perigoso que as outras alternativas sem cianeto
	cobre ácido com fostato	processo simples e econômico para operar; tratamento de efluente barato e simples	muito corrosivo; não é adequado para revestimentos sobre aço e zinco

Substituição de cianeto no revestimento de cádmio

Os banhos tradicionais de revestimento de cádmio são alcalinos a base de cianeto. As alternativas para o revestimento de cádmio sem cianeto são: banho alcalino com sulfato, banho ácido com fluorborato e banho ácido com sulfato.

¹⁹ Todas as alternativas têm a vantagem de serem menos perigosas que o tradicional revestimento cianídrico de cobre

NWMOA (1997) informa que estas alternativas, embora mais seguras que o banho de cádmio tradicional, trazem como inconveniente uma pior resistência a corrosão (principalmente em ambientes marinhos) e pior qualidade de acabamento, além de geralmente custarem mais.

A melhor alternativa para o caso do cádmio, segundo FREEMAN (1995), é a substituição de revestimento, eliminando assim tanto o cianeto como o cádmio, que também é muito tóxico. Os revestimentos substitutos mencionados pelo autor são de ligas de zinco, de zinco-cobalto, de zinco-níquel e de zinco-ferro. Estes revestimentos também são mais caros que o de cianeto, porém o tratamento é mais barato e o resíduo bem menos perigoso.

◆ Substituição de cromo hexavalente

O cromo hexavalente é, juntamente com o cianeto, um dos mais perigosos materiais usados nos processos de acabamento de metais. O tratamento dos resíduos com este contaminante requer a adição do metabissulfito de sódio ou outro agente redutor, para reduzir o cromo de hexavalente para trivalente. Uma diminuição dos custos de tratamento pode ser conseguida com o uso direto do cromo trivalente.

De acordo com NWMOA (1997), a substituição do cromo hexavalente pelo trivalente tem se apresentado muito satisfatória no revestimento decorativo, porém não é viável no caso da cromeação dura.

Na TABELA 11 encontram-se as principais vantagens e desvantagens do uso do cromo trivalente na cromeação decorativa. As fontes de onde foram retirados os dados da tabela são: HIGGINS (1989), PPW (1993), FREEMAN (1995) e NWMOA (1997).

TABELA 11: Substituto para o cromo hexavalente na cromagem decorativa

processo	substituto	vantagens	desvantagens
cromagem com cromo hexavalente	cromagem com cromo trivalente	não produz emissões atmosféricas; elimina a etapa de redução e diminui os custos de tratamento; a concentração do banho é bem menor, gerando 1/7 do lodo gerado com o cromo hexavalente; lodo gerado é bem menos perigoso; não gera resíduos de dispositivos de controle de emissões atmosféricas; pode melhorar a taxa de produção e diminuir rejeitos	espessura de revestimento é mais limitada e pode haver quebra da camada revestida; a cor do revestimento é mais escura e menos brilhante; aumento do uso de aditivos para melhorar aspecto da cor; as soluções custam 2 ou 3 vezes mais.

Para o caso da cromagem dura, FREEMAN (1995) indica a substituição por revestimento de liga de níquel e tungstênio, contudo o autor lembra que os benefícios dessa substituição ainda devem ser estudados, já que tanto o níquel como o tungstênio também são perigosos.

◆ Substituição de substâncias quelantes

Substâncias químicas quelantes, como fosfatos, silicatos, e os ácidos orgânicos cítrico e malêico, são muitas vezes adicionadas para aumentar a solubilidade dos metais nos banhos.

O problema do uso destas substâncias, de acordo com PPW (1993), é que elas inibem a precipitação dos metais do efluente, requerendo a adição de um agente precipitador, complicando o tratamento e gerando mais lodo. NWMOA (1997) dá como exemplo de agente precipitador mais comumente usado nestes casos o sulfato de ferro, que pode aumentar a quantidade de lodo em até 8 vezes. O texto sugere a substituição destas substâncias por substâncias químicas não quelantes, que, embora possuam um preço mais elevado, produzem bem menos lodo.

2.5.4) Redução de resíduos nos processos de lavagem

Como já foi dito anteriormente, a lavagem é a principal responsável pela geração de efluente líquido nos processos de acabamento de metais. Algumas modificações nestes processos podem diminuir o uso de água na lavagem e o volume do efluente.

De acordo com NWMOA (1997), as principais estratégias para reduzir o uso de água são a melhora da eficiência e o controle do fluxo de água.

◆ Melhora da eficiência da lavagem

Um dos meios de melhorar a eficiência da lavagem é aumentar o tempo de contato da peça com a água.

O tempo de contato varia de acordo com a peça (tamanho, formato, material e revestimento) e tamanho do tanque de lavagem. Para cada situação existe um tempo de contato “ótimo” (que proporciona a eficiência máxima do banho), que deve, segundo NWMOA (1997), ser encontrado através de experimentos.

Embora o aumento do tempo de contato melhore a eficiência, há uma diminuição na taxa de produção.

Conforme US EPA (1998)²⁰, uma agitação no tanque de lavagem pode ser feita para diminuir o tempo de contato e garantir a homogeneidade no tanque. Esta agitação é manual, com ar comprimido (que deve ser filtrado para evitar contaminação com impurezas) ou com dispositivos mecânicos.

Uma das principais causas da perda da eficiência da lavagem é a contaminação, devido à entrada de impurezas. A qualidade da água usada influencia bastante esta perda de eficiência.

Muitas indústrias utilizam água de torneira em seus processos. Esta água, de acordo com PPW (1993), contém uma série de contaminantes como fostatos e carbonatos, que comprometem a qualidade da lavagem (e dos banhos de revestimento) e aumentam a quantidade de lodo do tratamento de efluente. Para evitar essa contaminação a bibliografia consultada recomenda o uso de água purificada ou destilada.

♦ Controle do fluxo de água

A principal forma de controlar o uso de água na lavagem é, de acordo com a bibliografia consultada, a lavagem em contra corrente, onde o fluxo de água é no sentido contrário ao da peça.

Este sistema de lavagem pode ser realizado com um ou mais tanques consecutivos. HIGGINS (1989) observa que a eficiência aumenta com o uso de múltiplos estágios, sendo máxima para 3 tanques. Somente o último tanque é abastecido com água fresca, e o primeiro tanque, bem concentrado, pode ser usado para repor a perda por evaporação do tanque de processo, ou ser enviado para reciclagem. O autor lembra, porém, que a necessidade de espaço para instalação dos tanques inviabiliza sua adoção em muitas indústrias.

²⁰ UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (1998). *Profile of the Metal Fabrication Industry*. <http://es.epa.gov/oeca/sector/index.html#metal>. (16 Dec.).

2.5.5) Reciclagem

O aumento dos custos com tratamento e disposição de resíduos, e as possíveis complicações legais do trato inadequado destes, tem feito com que o interesse das indústrias de acabamento de metais pelos métodos de reciclagem (antes considerados muito caros), aumente. Isto é particularmente verdade para as grandes indústrias. Em pequenas indústrias, onde estes métodos ainda podem ser economicamente inviáveis, a reciclagem fora do local, através de firmas especializadas neste trabalho, é mais adequada.

FREEMAN (1995) indica que as técnicas de reciclagem são aplicadas nos processos de acabamento de metais para as seguintes finalidades:

- reuso de soluções concentradas dos tanques de lavagem nos banhos de revestimento;
- recuperação de metais e outras substâncias das soluções concentradas, para uso nos banhos, em outros processos ou venda (inclusive para os próprios fornecedores) ;
- regeneração e reuso das soluções;
- recuperação de substâncias do efluente líquido.

Os principais benefícios da aplicação da reciclagem são uma menor quantidade de resíduos líquidos (pela retirada de impurezas e reutilização da água nos processos), diminuição da geração de lodo (pela retirada e reuso de metais do efluente líquido e das soluções gastas) e economia em compra de materiais.

Porém, como já dito anteriormente, nem sempre as técnicas de reciclagem são economicamente viáveis. NWMOA (1997) relaciona, entre os fatores que justificam economicamente a adoção destas técnicas, o volume do resíduo que contém o material passível de ser recuperado, a concentração deste material no resíduo, o potencial de reuso deste material, o custo da técnica utilizada para a recuperação da solução e custo de tratamento e disposição do resíduo. Um estudo, citado no referido texto, concluiu, ao analisar as possibilidade de recuperação de alguns metais de uma determinada indústria, que seria economicamente viável a

recuperação de 80 a 90 % de cobre, de 30 a 40 % de zinco, de 90 a 95 % de níquel e de 70 a 75 % de cromo, que antes contribuíam para a geração de lodo nesta indústria.

Para que a recuperação ou reuso de substâncias seja possível os resíduos devem ser segregados.

De acordo com NWMOA (1997), a implementação de procedimentos de melhoria do processo e, principalmente das lavagens, aumenta muito o potencial de recuperação e reuso das soluções.

As tecnologias de reciclagem mais usadas nestes processos são: evaporação, osmose reversa, troca iônica e recuperação eletrolítica.

Na TABELA 12 encontram-se relacionadas as tecnologias mais comuns, suas vantagens e desvantagens, e suas principais aplicações. Os dados foram extraídos de HIGGINS (1989), FREEMAN (1995), NWMOA (1997) e OLIVEIRA (1998).

TABELA 12: Tecnologias de reciclagem

Processo	Descrição	Vantagens	Desvantagens	Principais aplicações
evaporação	método no qual as soluções são concentradas, utilizando evaporadores atmosféricos ou à vácuo. Desta forma, a água de lavagem concentrada, pode suprir a perdas por evaporação e arraste nos banhos de revestimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Operação e manutenção simples • não utiliza substâncias químicas adicionais • possibilidade de reutilização das soluções • baixo custo para soluções concentradas • baixo custo quando a evaporação atmosférica pode ser usada 	<ul style="list-style-type: none"> • alta demanda de energia e altos custos, quando o volume de líquido é grande e quando não pode ser utilizada a evaporação atmosférica • as soluções químicas podem ser corrosivas para o evaporador (necessidade de controle de pH) 	<ul style="list-style-type: none"> • usos: recuperação de metais e outras substâncias • banhos onde a eficiência foi comprovada: cromeação decorativa; niquelação; revestimento cianídrico e ácido de cobre; revestimento cianídrico de cádmio
osmose reversa	processo em que o efluente líquido é forçado através de uma membrana semi-permeável, que permite a passagem de água, mas rejeita os sólidos.	<ul style="list-style-type: none"> • pequeno espaço requerido para instalação • utilizado em soluções diluídas • recupera metais e possibilita a reutilização da água • não usa substâncias químicas adicionais • alcança altas taxas de recuperação 	<ul style="list-style-type: none"> • equipamentos tendem a ser mais caros que os de outras tecnologias de reciclagem • problemas com colmatação das membranas torna essencial a filtração anterior 	<ul style="list-style-type: none"> • usos: recuperação de metais; purificação de água de torneira; tratamento de efluente • banhos: o uso mais difundido é na niquelação; outros como revestimentos cianídricos e sulfídricos de cobre, sulfídricos de zinco, também podem utilizar esta tecnologia, porém de forma mais limitada.

TABELA 12: Tecnologias de reciclagem

Processo	Descrição	Vantagens	Desvantagens	Principais aplicações
troca iônica	processo no qual os íons metálicos da solução são removidos através da substituição por íons da resina de troca. Estas resinas são catiônicas ou aniônicas. A água purificada, desta forma, pode ser reusada. Durante a regeneração da resina forma-se uma solução concentrada de metais, que são assim recuperados.	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser usada para recuperar praticamente todos os metais • custo de operação e manutenção são, geralmente, baixos • opera em baixas concentrações • seletiva no que remove 	<ul style="list-style-type: none"> • custo de troca da resina é alto • necessita de controle rigoroso de pH • pode requerer tratamento posterior, como evaporação, para concentrar a solução 	<ul style="list-style-type: none"> • usos: tratamento da água de torneira para melhorar qualidade; recuperação de metais e outras substâncias químicas da água de lavagem; tratamento de água residuária • banhos: cromagem e decapagem da cromagem; revestimento ácido de cobre e decapagem deste revestimento, revestimentos de níquel, de prata e de zinco
recuperação eletrolítica	Íons metálicos são depositados no cátodo de uma célula eletrolítica e posteriormente removidos mecânica ou quimicamente.	<ul style="list-style-type: none"> • alcança altos níveis de recuperação (mas não recupera todo o metal) • processo semelhante aos revestimentos eletrolíticos e baixa manutenção • custo de equipamento, geralmente, é baixo 	<ul style="list-style-type: none"> • pode haver formação de gases • pode haver alto consumo de energia e um conseqüente aumento de custo • pode haver combustão espontânea do metal depositado 	<ul style="list-style-type: none"> • usos: recuperação de metais da água de lavagem • banhos: revestimentos cianídrico da cádmio e de cobre, revestimentos de níquel, de ouro, prata e zinco

3) METODOLOGIA

A metodologia seguida neste trabalho, tendo em vista a identificação e proposição de alternativas de minimização de resíduos para processos de acabamento de metais, utilizando-se para isso de um estudo de caso, começa com a apresentação do local onde este foi desenvolvido, a indústria de Correntes São Carlos Ltda.

A fase seguinte foi o levantamento do processo produtivo, das etapas de produção de correntes aos banhos galvânicos (acabamento de metais), dando ênfase a estes últimos.

O passo seguinte foi o levantamento dos resíduos gerados e de suas fontes, para os processos identificados na etapa anterior.

Finalmente, utilizando-se as informações das etapas anteriores e da bibliografia consultada, foram identificadas e selecionadas as alternativas de minimização de resíduos.

3.1) Apresentação da indústria Correntes São Carlos Ltda.

A indústria Correntes São Carlos Ltda. situa-se na rua Dr. David Pedroso Cassineli 385, Jardim São Paulo, na cidade de São Carlos, Estado de São Paulo.

A planta da indústria está representada na FIGURA 5. Esta planta foi fornecida pela indústria.

Esta indústria foi fundada em 2 de setembro de 1985, após desmembramento da antiga indústria Colmeia, fundada na década de 50. Deste desmembramento surgem as indústrias Correntes São Carlos Ltda. e Colmel Ltda. Na época desta separação, todos os equipamentos, máquinas e veículos foram divididos. A indústria Correntes São Carlos Ltda. funciona hoje com esses equipamentos, que são, na sua maioria, de origem italiana.

Conta atualmente com 30 funcionários, 27 destes trabalhando diretamente na produção e 3 na administração. Há ainda o diretor geral, que é o próprio proprietário da empresa.

A empresa produz vários tipos de correntes, chegando a uma produção de 60 a 80 toneladas por mês, quando o mercado está aquecido. A produção média dos últimos 6 meses foi de 40 toneladas. Os tipos de correntes produzidas são: correntes soldadas, polidas e galvanizadas, correntes anti-derrapantes, para vacas, para luminária (lustre), para xaxim e artigos para cães, como colar de garra e enforcador de garra.

A indústria vende seus produtos em diversos estados brasileiros. Seus clientes são cooperativas agrícolas, fábricas de carrocerias, lojas de ferragens, indústrias de implementos agrícolas e barcos.

As FIGURAS 6, 7, 8 e 9 mostram alguns dos produtos desta indústria. Estas figuras foram retiradas do catálogo de produtos da indústria, uma vez que não foi permitido tirar fotos dentro da área de produção.

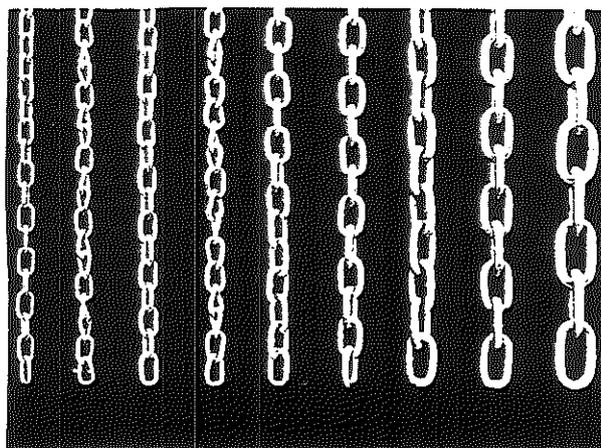


FIGURA 6: Correntes Victor

FONTE: Catálogo de produtos da empresa

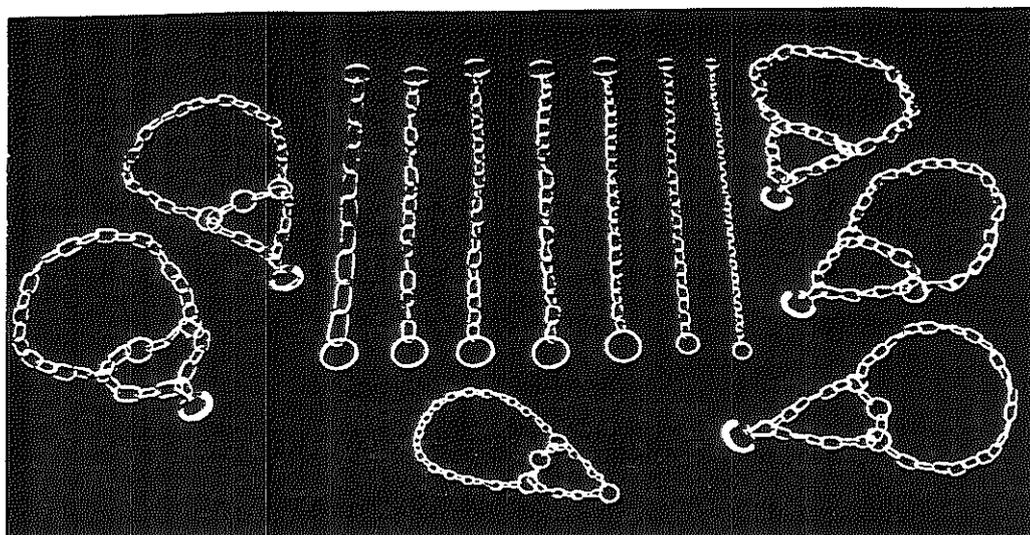


FIGURA 7: Enforcador para cachorro

FONTE: Catálogo de produtos da empresa

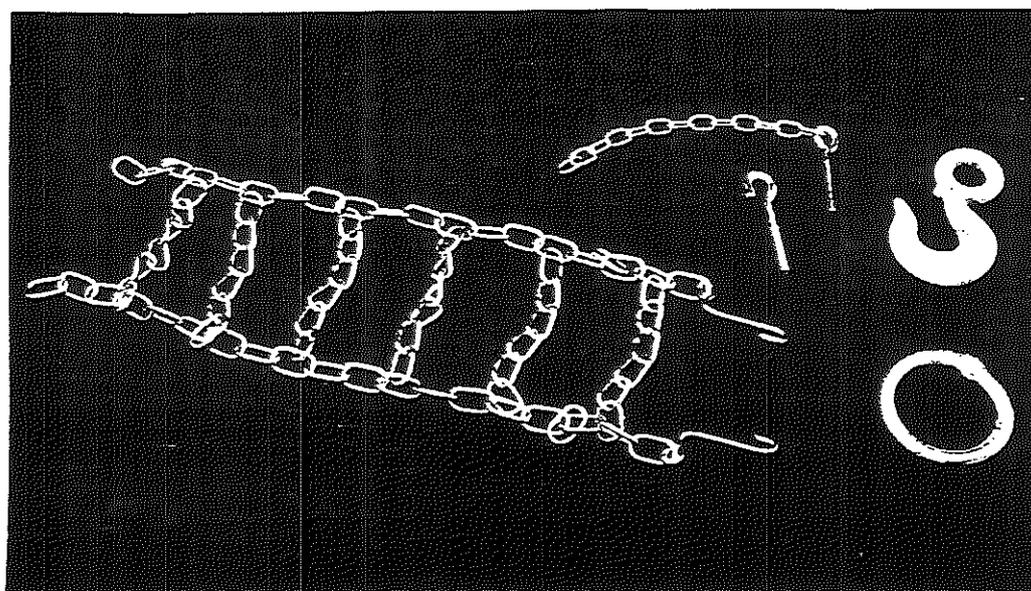


FIGURA 8: Correntes anti-derrapantes

FONTE: Catálogo de produtos da empresa

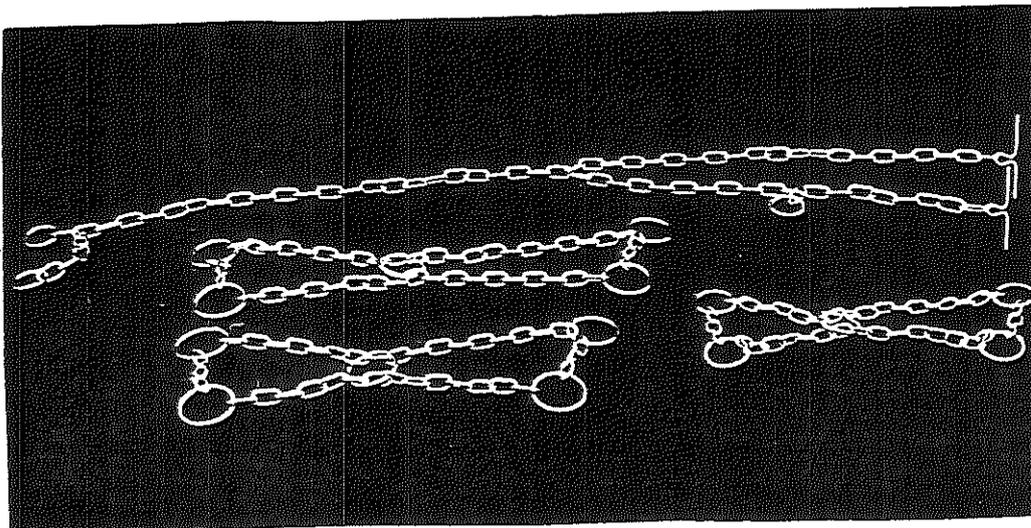


FIGURA 9: Correntes para vacas e cabrestos

FONTE: Catálogo de produtos da empresa

3.2) Levantamento do processo produtivo

O processo produtivo começa com o recebimento da matéria prima, que segundo a especificação da indústria fornecedora, a Belgo Mineira Bekaert Trefilaria S/A, constitui-se de arame BTC (aço com baixo teor de carbono) para correntes industriais soldadas.

Os arames são fornecidos em diferentes diâmetros, variando de 2 a 20 mm, e armazenados até o momento de sua utilização. Do armazenamento, passa-se à etapa da formação e união de um elo a outro, seguida da fase de soldagem dos elos. Depois

da soldagem as correntes são polidas e testadas quanto à carga a que serão submetidas. As correntes passam, após isto, por processo de polimento.

Conforme a necessidade, ou pedido do cliente, as correntes passam pelos banhos galvânicos. Os banhos têm como objetivos melhorar o aspecto estético das correntes e protegê-las contra a corrosão. Três tipos de revestimentos são realizados por esta indústria:

- revestimento de cromo (cromagem), com cromo hexavalente;
- revestimento de níquel (niquelagem);
- revestimento de zinco (zincagem), com cianeto.

Segundo informações fornecidas pela empresa, em média 40% das correntes são apenas polidas e 60% passam pelos revestimentos.

Os processos de acabamento de metais realizados pela indústria Correntes São Carlos Ltda. foram observados mais detalhadamente, identificando os revestimentos realizados pela indústria, etapas de pré-tratamento a que passam as correntes antes dos banhos, resíduos gerados e suas fontes.

Durante esta etapa foram identificadas, sempre que possível, as matérias primas utilizadas e demais condições dos processos. Para isso utilizou-se informações de funcionários da indústria e da empresa fornecedora dos componentes químicos dos banhos, foram feitas visitas a área de produção e consulta à bibliografia específica sobre o assunto.

3.3) Levantamento de resíduos e de suas fontes

Os resíduos gerados nas diversas etapas do processo produtivo, bem como suas fontes geradoras, foram levantados através de visitas na área de produção e informações da própria indústria.

Com relação aos banhos galvânicos foram utilizadas também informações sobre geração de resíduos para processos de acabamento de metais, encontradas na bibliografia consultada. Constatou-se que seus resíduos constituem-se, basicamente,

de efluente líquido gerado pelos descartes dos tanques de lavagem, de desengraxe e de neutralização.

Este resíduo líquido é lançado em 3 diferentes tanques de segregação de efluentes. Os 3 tipos de efluentes são: efluente de cromo, efluente alcalino com cianeto e efluente ácido.

Deste efluente foram coletadas duas amostras, uma do tanque ácido e uma do tanque de cromo, com objetivo de determinação de pH e metais (cobre, cádmio, manganês, ferro, níquel, chumbo, cromo hexavalente, cromo total e zinco)²¹. A determinação de pH foi realizada através de potenciômetro e a de metais por espectrofotometria de absorção atômica.

Na coleta e preservação das amostras foram seguidas as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. As coletas foram realizadas em um dia de descartes de soluções dos tanques, após estes descartes.

Com relação à quantificação desse efluente, levou-se em conta que os descartes são realizados de forma descontínua, uma vez por semana, com volumes praticamente constantes, e iguais aos volumes dos tanques de lavagem que são descartados. Os próprios funcionários responsáveis pelos banhos são também responsáveis pelos descartes²², realizados manualmente, através de 3 diferentes tubulações (com abertura na área dos tanques), que segregam os efluentes conforme suas características. As fontes de cada tipo de efluente foram identificadas através de informações dos funcionários e observações realizadas durante os descartes.

Os efluentes são tratados para remoção de contaminantes. Após a remoção de metais e cianeto, no caso do efluente com cianeto, o pH é corrigido se necessário, e o efluente tratado é lançado na rede de esgoto. O lodo é bombeado para o tanque de lodo e acaba misturado com o lodo do tratamento de outro efluente, já que a prensagem (com filtro prensa) não é feita logo após o tratamento. Devido a presença de cianeto, não se pode realizar o teste de lixiviação desse lodo, como forma de caracteriza-lo segundo a norma NBR 10004 Resíduos sólidos - classificação.

²¹ Não foi possível a determinação de cianeto devido a falta do kit para determinação de cianeto.

²² Conforme pôde ser observado durante as visitas, são 3 funcionários responsáveis pelos banhos, sendo 1 mais experiente, que orienta os outros na execução das tarefas.

Após passar pelo filtro prensa, o lodo é estocado, já que a indústria não tem local apropriado para disposição²³.

3.4) Alternativas de minimização de resíduos

As alternativas de minimização de resíduos levaram em conta as especificidades da indústria utilizada para o estudo de caso. Esta indústria possui ainda uma estratégia reativa com relação ao gerenciamento ambiental, buscando somente a adequação à legislação, através do tratamento adequado de seus efluentes. Não há Sistema de Gestão Ambiental e nem gerenciamento de resíduos elaborado. Estes fatores contaram muito na escolha de melhores alternativas de minimização de resíduos aplicáveis a esta indústria.

Utilizando-se informações sobre o processo produtivo e a geração de resíduos, bem como informações sobre minimização de resíduos para acabamento de metais disponíveis na literatura, foram identificadas as alternativas de minimização de resíduos aplicáveis ao processo estudado.

Entre estas alternativas constam, basicamente, treinamento de funcionários, mudança de procedimentos, prevenção de arraste e recuperação de metais.

Uma seleção de melhores alternativas foi realizada levando-se em conta a situação e o interesse atual da indústria por técnicas de minimização de resíduos. Considerando que a indústria, embora não esteja em crise, não dispõe de recursos para implantação de alternativas custosas e demoradas, e que também não apresenta muito interesse a respeito do assunto, as alternativas selecionadas são relativamente simples e baratas.

²³ Segundo informações da indústria este lodo está sendo estocado a aproximadamente 15 anos.

3.5) Considerações finais

Embora este estudo esteja focado no processo de acabamento de metais, os demais processos foram analisados, mesmo que superficialmente, como forma de se ter uma visão mais ampla das etapas por que passam as correntes e os resíduos gerados até passarem pelos banhos.

A escolha de não se aprofundar no estudo dos processos e geração de resíduos anteriores à etapa dos banhos galvânicos, foi feita tendo em vista o tempo que se dispunha para realização do trabalho e o próprio objetivo deste, focado nos processos de acabamento de metais.

4) RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no estudo são apresentados a seguir, juntamente com algumas considerações que visam esclarecê-los.

De acordo com a metodologia adotada, descreve-se, primeiramente, os processos de formação e união dos elos, soldagem, teste de carga, seccionamento e polimento. Estas etapas, embora não tenham sido estudadas em profundidade, são expostas detalhadamente, objetivando a um melhor entendimento, visto que não foi permitido tirar fotos de equipamentos e processos.

Passa-se então, à apresentação dos resultados dos processos de acabamento de metais e dos resíduos gerados.

Por fim, chegando ao objetivo deste trabalho, relaciona-se as alternativas de minimização de resíduos e faz-se uma seleção de algumas que poderiam ser implantadas mais facilmente pela indústria Correntes São Carlos Ltda.

Na FIGURA 10 apresenta-se o fluxograma geral do processo produtivo da referida indústria.

A simbologia utilizada em todos fluxogramas é seguinte:

- entrada de materiais
- saída de resíduos
- movimentação das correntes

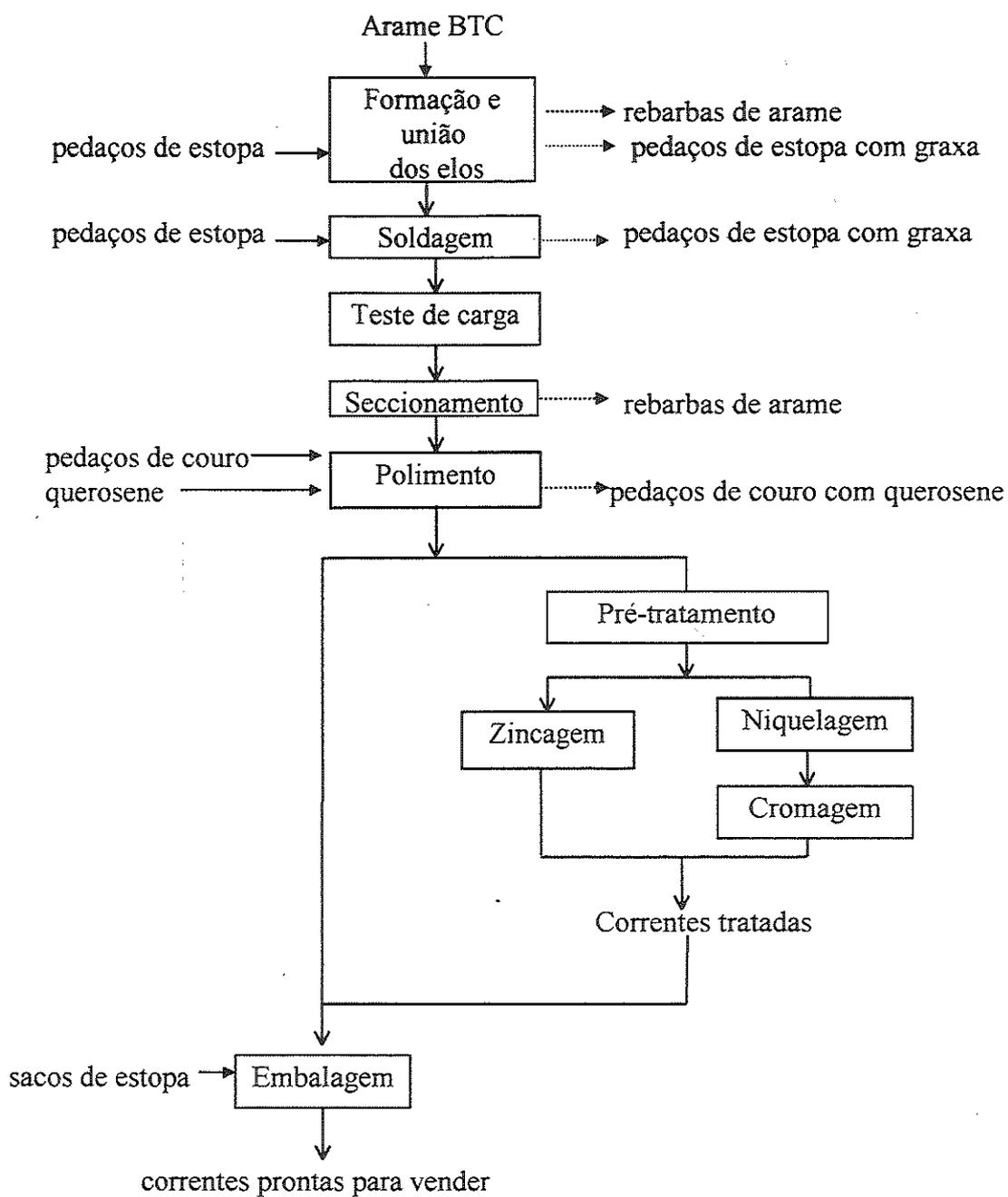


FIGURA 10: Fluxograma geral do processo produtivo da indústria Correntes São Carlos Ltda.

Os fluxogramas do pré-tratamento e dos revestimento metálicos encontram-se detalhados mais adiante.

4.1) Descrição do processo de produção das correntes e considerações sobre seus resíduos

4.1.1) Etapa da formação dos elos

A etapa da formação dos elos começa com a disposição dos rolos de arame sobre suportes rotativos. A ponta exterior do fio é presa na máquina formadora dos elos através de um dispositivo que prende e puxa o fio. O arame, então, é empurrado sobre uma superfície que dá o formato de um elo aberto. Dois dispositivos na lateral da superfície fecham o elo. Estes dois movimentos ocorrem quase simultaneamente. Logo após a formação de um elo, uma pinça prende e vira o elo lateralmente, colocando-o na parte interna da superfície que dá forma aos elos. Desta forma, cada elo que está sendo formado é preso no elo anterior, formando-se a corrente.

Existem 28 máquinas formadoras de elos. Todas são similares em seu aspecto e funcionamento, porém cada uma está adaptada para trabalhar com uma pequena variação de diâmetro. Por exemplo, uma determinada máquina pode produzir correntes a partir de fios de arame com diâmetro de 4.5, 5 ou 5.5 milímetros de diâmetro.

Quase todas as correntes já se encontram formadas depois de passarem pelo processo descrito, porém as correntes com diâmetros maiores passam ainda por uma prensa mecânica para chegar ao formato adequado. A ação da prensa alonga os elos que se encontravam arredondados.

O tamanho das correntes é determinado pelo tamanho do fio de arame que a originou. Segundo informações da indústria, o comprimento do rolo é muito variável.

Não há grande geração de resíduos nesta etapa do processo produtivo. O resíduo mais significativo consiste em rebarbas de arame, já que as máquinas formadoras dos elos não consegue trabalhar com pedaços muito pequenos de fio. Portanto, de cada rolo de arame sobram pequenos pedaços de sua ponta (muito variável). Este resíduo é armazenado em tambores e depois vendidos a um ferro velho. Devido à pequena geração destes resíduos, o período de armazenamento para

venda gira em torno de 3 meses. O peso médio das rebarbas acumuladas durante estes 3 meses é 60 Kg. Outro resíduo gerado nesta etapa consiste de pedaços de estopa sujos com graxa, durante a limpeza do equipamento. Segundo informações da empresa, esta limpeza é feita mensalmente, ou a intervalos maiores. Este resíduo é recolhido pelo serviço de coleta de resíduos municipal.

4.1.2) Etapa da soldagem

Através de observação do processo de soldagem e comparação com literatura sobre o assunto, percebe-se que o processo que mais se aproxima do observado é o chamado de soldagem por resistência. Encontra-se na literatura a seguinte descrição do processo de soldagem por resistência: “(...) a união de peças metálicas é produzida em superfícies sobrepostas ou em contato topo a topo, pelo calor gerado na junta através da resistência à passagem de uma corrente elétrica (Efeito Joule) e pela aplicação de pressão (...)” (MARQUES, P. V., 1991, p. 283). Neste tipo de processo não são usados eletrodos, já que a soldagem ocorre através do aquecimento e pressão sobre a superfície a ser soldada, ou seja, o próprio material da corrente é responsável pela união dos elos. Segundo MARQUES (1991), o processo de soldagem por resistência proporciona à região soldada boa aparência e propriedades mecânicas. O autor menciona ainda que este processo pode ser bem econômico já que não existe a necessidade de material consumível.

O processo de soldagem da indústria Correntes São Carlos Ltda. ocorre conforme descrito a seguir: o operário responsável por cada equipamento prende um elo com um alicate e posiciona-o no dispositivo do equipamento que exerce pressão sobre o elo preso. A região do elo a ser unida é aquecida até o ponto de fusão e através da pressão ocorre a união. As correntes são soldadas elo por elo. O comando de *abre e fecha* do dispositivo que prende e pressiona os elos é feito através de um pedal na parte inferior do equipamento de soldagem. As únicas correntes que não passam pelo processo de soldagem são os suportes para vaso, embora estes também possam ser soldados, se o cliente assim o desejar.

Existem 16 equipamentos de soldagem.

Não foi verificada geração de resíduos nesta etapa. Os possíveis resíduos são panos de estopa sujos com graxa da limpeza do equipamento e produtos com soldagem deficiente (segundo informações da empresa estas falhas praticamente não ocorrem).

4.1.3) Verificação, pesagem e seccionamento das correntes

Após a soldagem as correntes são verificadas quanto à carga a que suportam. De acordo com os funcionários da indústria, todas as correntes são testadas. Para isso, são presas a um equipamento e tracionadas com uma carga adequada a cada uma. As correntes são testadas de 60 em 60 cm. Após o teste de carga, as correntes são pesadas e cortadas em lotes de 25 ou 50 Kg. Para o seccionamento, as correntes são presas em uma morsa e com o auxílio de um alicate são cortadas manualmente. A ruptura se dá na região soldada.

Na fase do teste de carga praticamente não há geração de resíduos. O resíduo possível seria corrente rompida durante a verificação de carga. Durante o seccionamento um elo de cada corrente pode ser perdido. Quando isso ocorre o material é armazenado junto com as rebarbas da formação dos elos. Porém este elo retirado pode ser preso a uma outra corrente, se não tiver sido danificado durante o corte.

4.1.4) Etapa do polimento

O polimento das correntes é feito em um tambor rotativo com capacidade para 500 kg. Junto com as correntes são adicionados aproximadamente 5 Kg de pedaços de couro e 0.5 litros de querosene. O atrito entre as correntes e os pedaços de couro é responsável pelo polimento. O querosene é adicionado como lubrificante e para dar brilho às correntes.

Esta etapa do processo produtivo é responsável por uma grande geração de resíduos sólidos, já que após o uso os pedaços de couro impregnados com querosene são descartados. Segundo informações da indústria, estes são recolhidos pelo serviço de coleta de resíduos municipal. Com uma produção mensal de 40 toneladas e admitindo-se que a cada 500 Kg de correntes polidas são utilizados 5 Kg de pedaços de couro, tem-se uma taxa de descarte de 400 Kg de couro mensalmente. Estes pedaços de couro não representam custos para a empresa, já que são doados por curtumes existentes na região.

Após a etapa do polimento, algumas correntes já estão prontas para a venda. Como já foi mencionado, 40% das correntes não passam pelos banhos galvânicos. São mais baratas que as correntes que passam pelos banhos, porém têm menor durabilidade, já que não são resistentes à corrosão.

4.1.5) Embalagem

As correntes são embaladas em sacos de estopa, em lotes de 50 ou 25 Kg, conforme pedido do cliente. A parte superior desses sacos são, às vezes, cortados para reduzir seu tamanho. Estes pedaços de pano são recolhidos pelo serviço de coleta de resíduos municipal.

4.2) Processo de acabamento de metais da indústria Correntes São Carlos Ltda.

Após o polimento as correntes passam pela etapa dos revestimentos metálicos da superfície, com o objetivo de melhorar o aspecto estético e proteger contra corrosão. Os revestimentos usados na indústria em observação são a niquelagem seguida de cromagem, e a zincagem. Antes do revestimento as correntes passam por um pré-tratamento para que a superfície fique limpa das impurezas do processo produtivo. O pré-tratamento é comum a todos os revestimentos.

Procurou-se relacionar todos os produtos químicos utilizados nos banhos e pré-tratamento, porém, onde estes dados não estiveram disponíveis, compensou-se esta falta através de consultas à literatura.²⁴

4. 2. 1) Pré-tratamento

O pré-tratamento, feito para desengraxe e decapagem das correntes antes do revestimento, é realizado em sete tanques consecutivos. A seqüência de tanques do pré-tratamento pode ser vista na FIGURA 11.

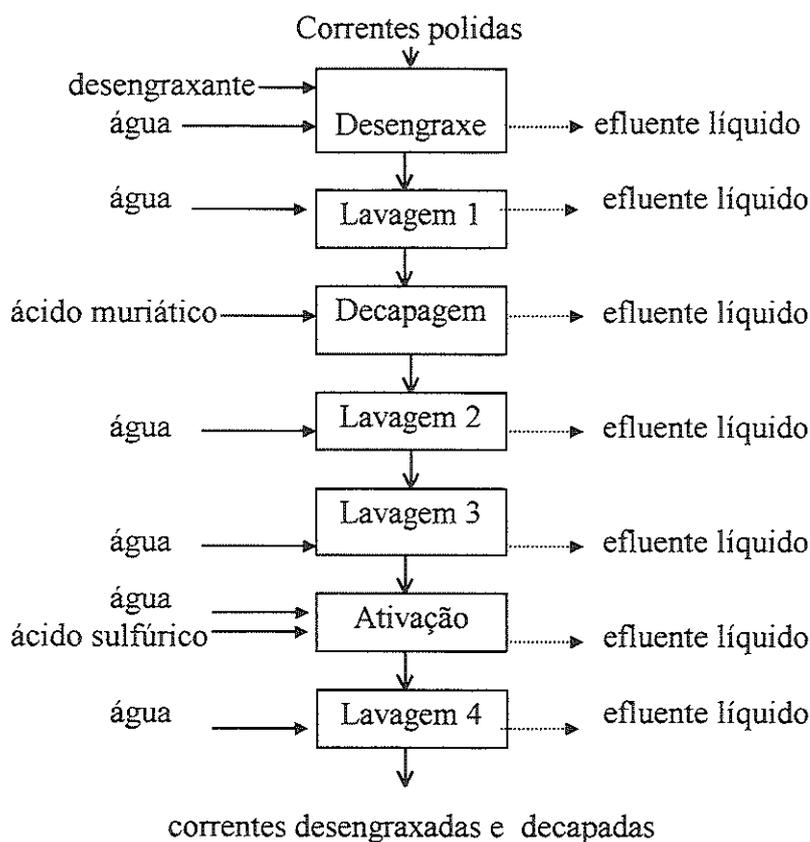


FIGURA 11: Fluxograma do pré-tratamento.

²⁴ A indústria não soube precisar exatamente a composição dos banhos. Entrando-se em contato com a empresa fornecedora de elementos químicos para os banhos, a DILETA - Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda., pode-se obter maiores informações, contudo estas também não foram completas.

- Primeiro tanque - Desengraxe

Composição: Composto DI-MERSÃO 009²⁵ (desengraxante químico a quente)

Volume: 200 litros

Tempo de tratamento: poucos segundos

Temperatura: tratamento a quente, temperatura superior a 50 °C.

Descarte: uma vez por semana, toda sexta-feira a solução é descartada

Destino do descarte: tanque de tratamento de efluentes ácidos

Todos os dias são adicionados 15 litros de água para compensar as perdas por arraste ou evaporação.²⁶

- Segundo tanque – Lavagem 1

Composição: água

Volume: 200 litros

Tempo de tratamento: poucos segundos

Temperatura: ambiente

Descarte: uma vez por semana, toda sexta-feira

Destino do descarte: tanque de tratamento de efluentes ácidos

Todos os dias são adicionados 15 litros de água para repor perdas por arraste e evaporação.

- Terceiro tanque - Decapagem

Composição: ácido muriático

Volume: 200 litros

Tempo de tratamento: aproximadamente 15 minutos

²⁵ Produto fornecido pela DILETA, de composição desconhecida.

²⁶ Observou-se que a eficiência deste desengraxe não é constante ao longo da semana, já que o desengraxante vai sendo diluído. Através de entrevista com o funcionário responsável pelos banhos pôde-se constatar que esta perda de eficiência é comum a outros tanques do pré-tratamento e tratamento das correntes. Outra observação realizada é que a adição de água e outros componentes químicos nos tanques ocorrem mais pela experiência do funcionário.

Temperatura: ambiente

Descarte: este tanque não é descartado toda semana. O período de uso varia de 2 a 3 meses, quando é necessário recompor a solução.

Destino do descarte: quando descartada a solução vai para o tanque de tratamento de efluentes ácidos.

- Quarto tanque – Lavagem 2

Composição: água

Volume: 200 litros

Tempo de tratamento: poucos segundos

Temperatura: ambiente

Descarte: uma vez por semana, toda sexta-feira

Destino do descarte: tanque de tratamento de efluentes ácidos

Todos os dias são adicionados 15 litros de água para repor perdas.

- Quinto tanque – Lavagem 3

Composição: água

Volume: 200 litros

Tempo de tratamento: poucos segundos

Temperatura: ambiente

Descarte: uma vez por semana, toda sexta-feira

Destino do descarte: tanque de tratamento de efluentes ácidos

Todos os dias são adicionados 15 litros de água para repor perdas.

- Sexto tanque - Ativação

Composição: água e ácido sulfúrico

Volume: 200 litros

Tempo de tratamento: poucos segundos

Temperatura: ambiente

Descarte: uma vez por semana, toda sexta-feira

Destino do descarte: tanque de tratamento de efluentes ácidos

Todos os dias são adicionados 15 litros de solução para repor perdas.

- Sétimo tanque – Lavagem 4

Composição: água

Volume: 200 litros

Tempo de tratamento: poucos segundos

Temperatura: ambiente

Descarte: uma vez por semana, toda sexta-feira

Destino do descarte: tanque de tratamento de efluentes ácidos

Todos os dias são adicionados 15 litros de água para repor perdas.

Toda sexta-feira, quando as soluções são descartadas, os efluentes são lançados por encanamentos, que os enviam para o tanques de tratamento de efluente.

4.2.2) Revestimentos metálicos

Após a etapa do pré-tratamento, as correntes passam pelo processo de revestimento metálico.

◆ Niquelagem e cromagem

As correntes que passarão por este revestimento são introduzidas inicialmente no tanque de banho de níquel. Para isso são presas em ganchos de cobre, que por sua vez são presos em um suporte também de cobre, fixo na parte superior do tanque (barra para cátodo). Este suporte possui um movimento responsável pela agitação do banho. Após a niquelagem, as correntes são lavadas em 3 tanques de água sucessivos. As correntes são então cromadas e depois lavadas em

4 tanques de água. A FIGURA 12 mostra o fluxograma dos revestimentos de níquel e cromo.

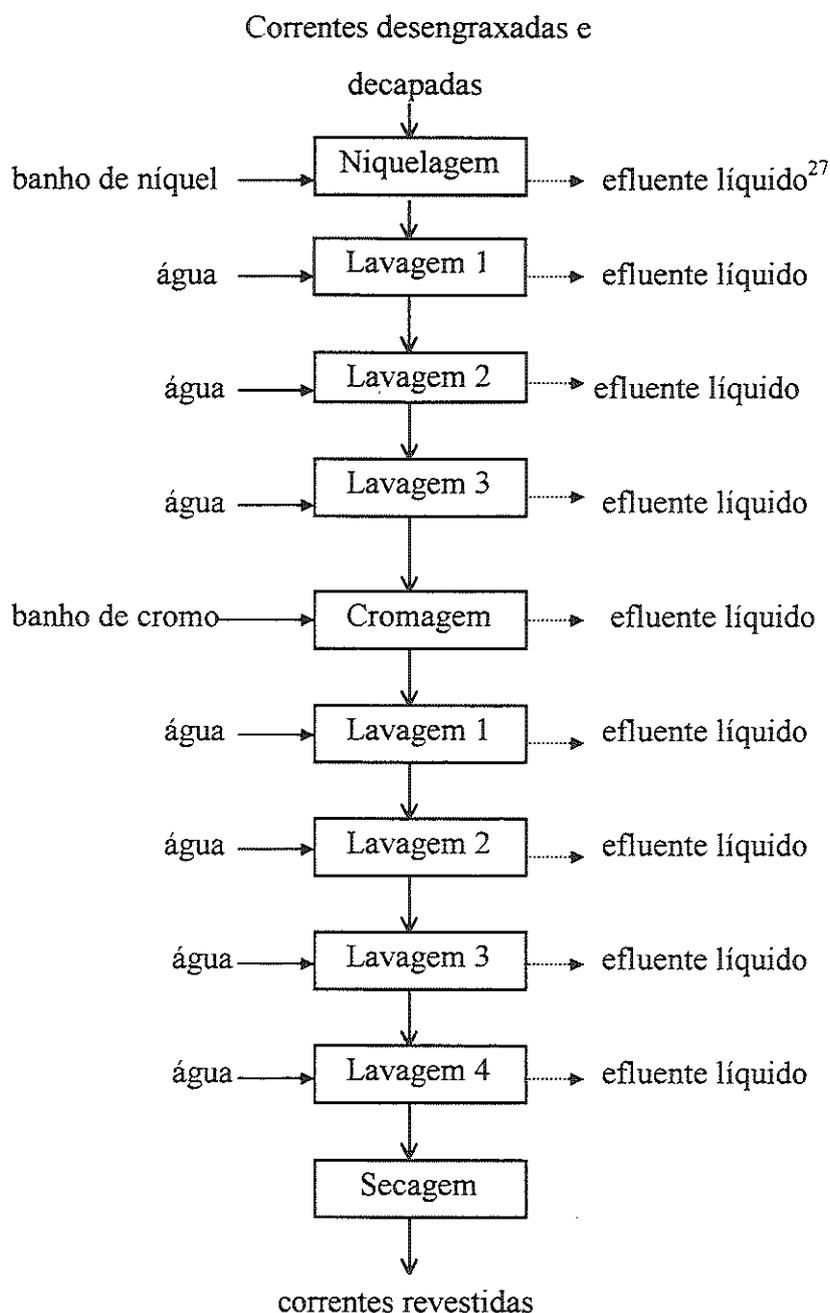


FIGURA 12: Fluxograma do revestimento de níquel e cromo.

²⁷ Este efluente só é gerado caso haja a necessidade de descarte do banho, por contaminação e perda da eficiência da solução. O mesmo ocorre com o banho de cromo. Portanto o período de descarte não pôde ser determinado.

- Tanque de niquelagem

composição do banho: sulfato de níquel, cloreto de níquel, ácido bórico

outros aditivos: nivelador de níquel, brilhantador, molhador

volume: 1000 litros

tempo de tratamento: 15 a 20 minutos

temperatura: 40 a 50 °C

reposição de componentes: todos os dias são adicionados 0,5 litro de nivelador de níquel, 0,5 litro de brilhantador e 0,5 litro de molhador; todas as semanas, às sextas-feiras, são adicionados 20 litros de água, 0,5 litro de sulfato de níquel, 0,5 litro de cloreto de níquel e 0,5 litro de ácido bórico²⁸.

Não há descarte do banho.

De acordo com GALVANOTECHNIK (1973)²⁹, o sulfato de níquel é o mais importante sal metálico usado nos eletrólitos de níquel. O cloreto de níquel, segundo esta mesma referência, é usado para aumentar a condutividade elétrica (sal condutor) e, também, melhorar a solubilidade anódica. O ácido bórico é usado para evitar um aumento indesejado de pH (substância tampão).

Como molhadores são mais utilizados os sulfatos de álcoois. Estas substâncias inibem a formação de poros sobre a superfície da camada revestida. Os brilhantadores, usados para melhorar a aparência estética, são na maioria substâncias orgânicas (GALVANOTECHNIK, 1973). Nada se encontrou na literatura a respeito de niveladores de níquel.

²⁸ Os elementos adicionados referem-se mais a experiência e critério do funcionário responsável, do que a um processo laboratorial preciso. Segundo afirmação do funcionário esta adição de elementos químicos aos banhos, é em função da qualidade dos revestimentos ao longo do tempo ou das falhas e defeitos de qualidade. No anexo A, página 110, apresentam-se algumas das falhas mais frequentes nos processos de acabamento de metais e critérios para correções, utilizados na prática industrial. Estes critérios são utilizados em todos os banhos. Isto não significa que a indústria não recorra às análises laboratoriais para verificar a composição de seus banhos, apenas, esta não é a prática dominante.

²⁹ Esta referência foi usada para suprir a falta de informações sobre eletrólitos utilizados nos banhos. Isto porque constatou-se a semelhança entre as informações recolhidas na indústria e as recomendações encontradas na citada referência.

O revestimento ocorre por imersão simples das correntes nos banhos, ou seja, sem auxílio de corrente elétrica externa. Os ânodos constituem-se de 12 placas de níquel presas a suportes de cobre (barras de ânodos). Existem dois suportes para os ânodos que são dispostos uniformemente ao longo desse suporte. Os suportes para ânodos são fixos na lateral do tanque. O suporte para o cátodo é semelhante ao descrito para o ânodo e posiciona-se entre as duas barras de ânodos paralela a estas.

As placas de níquel encontram-se revestidas com sacos de *nylon* para evitar que uma “lama” formada no ânodo durante a deposição metálica suje o banho. As placas são retiradas do banho e limpas a cada 15 dias em água corrente.

O pH adequado para o trabalho deve estar entre 4.6 e 4.8. Quando o pH está alto é adicionado ácido sulfúrico e quando está baixo soda cáustica. De acordo com a literatura consultada, o controle do pH no banho de níquel deve ser rigoroso pelo risco de comprometimento da qualidade do revestimento.

- Tanques de lavagem do banho de níquel

São três tanques consecutivos.

Composição: água

Volume: 200 litros

Tempo de tratamento: poucos segundos

Temperatura: ambiente

Descarte: uma vez por semana, toda sexta-feira

Destino do descarte: tanque de tratamento de efluentes ácidos

Todos os dias são adicionados aproximadamente 10 litros de água para repor a água perdida por evaporação e por arraste.

- Tanque de cromagem

Composição: água, composto Bright³⁰

Outros componentes: tamponagem para cromo

Volume: 800 litros

Tempo de tratamento: aproximadamente 10 a 15 segundos

Temperatura: 40 °C

Reposição de componentes: todos os dias, antes do início do trabalho, são adicionados 0,5 litro de tamponagem para cromo. O tamponamento tem a função de impedir a liberação de gases tóxicos do banho de cromo. Todas as semanas são adicionados 20 litros de água para repor as perdas. A cada 15 dias a solução é recomposta.

Não há descarte do banho, a menos que haja contaminação.

O revestimento, assim como o de níquel, ocorre por imersão simples das correntes no banho. Como ânodo são usadas placas de cromo e o cátodo é a própria peça. O banho possui 6 placas de cromo³¹. Os suportes, também de cobre, são semelhantes aos usados no tanque de níquel.

- Tanque de lavagem do banho de cromo

São quatro tanques sucessivos.

Composição: água

Volume: 200 litros

Tempo de tratamento: poucos segundos

Temperatura: ambiente

Descarte: uma vez por semana, toda sexta-feira

³⁰ No capítulo sobre os processos de revestimentos metálicos da revisão bibliográfica, são mostrados exemplos de eletrólitos para cromagem (tabela 5, página 37). O composto Bright é um eletrólito fornecido pela empresa DILETA. Embora não tenham sido especificados quais os componentes desse eletrólito, sabe-se que o principal é o ácido crômico (cromo hexavalente) e que a cromagem realizada pela indústria Correntes São Carlos Ltda. é a cromagem brilhante, aplicada para fins estéticos e para proteção à corrosão.

³¹ De acordo com o funcionário questionado, os ânodos são de cromo, porém, em toda bibliografia consultada os ânodos da cromagem com as características descritas são ânodos insolúveis de chumbo.

Destino do descarte: tanque de tratamento de efluente de cromo

Todos os dias são adicionados aproximadamente 10 litros de água para repor a água perdida por evaporação e por arraste.

Quando a água de lavagem está muito “suja” uma lavagem final é feita em água corrente, em baixo de torneira.

◆ Zincagem

As correntes que receberão revestimento de zinco são imersas em um banho galvanizado de cianeto de zinco. São presas através de ganchos semelhantes aos citados anteriormente, presos a duas barras metálicas fixas na parte superior do tanque. Não há agitação no banho. O revestimento ocorre por imersão simples.

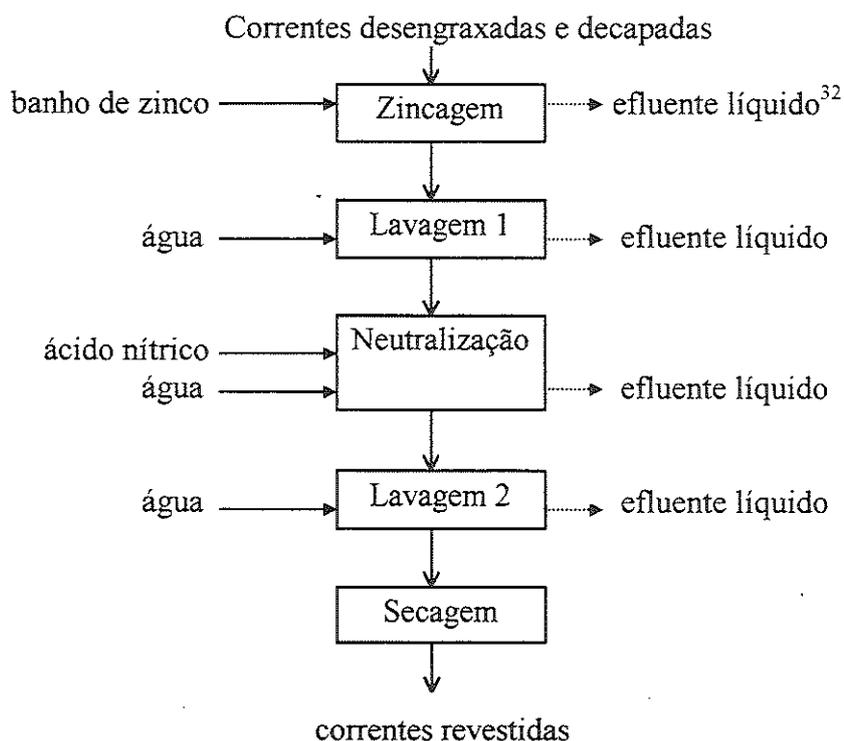


FIGURA 13: Fluxograma do revestimento de zinco.

³² Este efluente só é gerado caso haja a necessidade de descarte do banho, por contaminação e perda da eficiência da solução.

- Tanque de banho de zinco³³

Composição: zinco metálico (15 a 20 g/l), óxido de zinco (19 a 25 g/l), cianeto de sódio (37 a 50 g/l), hidróxido de sódio (65 a 75 g/l), purizink (0,5 a 1,0 ml/l), zinco bright 77 - super³⁴ (3 a 4 ml/l)

Relação cianeto de sódio/ zinco metálico: 2,5: 1,0

Volume: 3000 litros

Tempo de tratamento: 15 minutos

Temperatura: ambiente

reposição de componentes: todos os dias são adicionados 5 litros de purificador, 5 litros de água e 5 litros de abrillantador. A cada 15 dias são adicionados 50 Kg de cianeto de sódio; todas as sextas-feiras 10 Kg de óxido de zinco e 25 Kg de soda cáustica.

Não há descarte do banho, a menos que haja contaminação.

A indústria possui 2 tanques de zincagem, mas atualmente, somente 1 está em funcionamento. Os ânodos constituem-se de 12 placas de zinco. Os suportes para ânodos e cátodos de todos os tanques de revestimento metálicos são semelhantes.

Após a zincagem as correntes passam por lavagem, neutralização e lavagem.

- Primeiro tanque – Lavagem 1

Composição: água

Volume: 200 litros

Tempo de tratamento: poucos segundos

Temperatura: ambiente

Descarte: uma vez por semana, toda sexta-feira

Destino do descarte: tanque de tratamento de efluente de cianeto

Todos os dias são adicionados 10 litros de água para repor as perdas por arraste e evaporação.

³³ Neste banho pôde-se obter informações mais completas sobre a composição e condições de operação.

³⁴ Como no caso da cromagem, os compostos chamados purizink e zinco bright 77-super são produtos da DILETA Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda.

- Segundo tanque -Neutralização

Composição: solução ácido nítrico 0,5%

Volume: 150 litros

Tempo de tratamento: poucos segundos

Temperatura: ambiente

Descarte: todos os dias

Destino do descarte: tanque de tratamento de efluente com cianeto

- Terceiro tanque

Composição: água

Volume: 200 litros

Tempo de tratamento: só passa pelo tanque

Temperatura: ambiente

Descarte: uma vez por semana, toda sexta-feira

Destino do descarte: tanque de tratamento de efluente de cianeto

Todos os dias são adicionados 10 litros de água.

- ◆ Secagem

A secagem é feita em um tambor rotativo perfurado internamente. As correntes são mantidas dentro do equipamento por aproximadamente 15 minutos. O líquido escorre pelos orifícios. O equipamento possui movimento rotativo e é aquecido por uma resistência elétrica. O calor e a rotação fazem com que as correntes sequem.

4.3) Levantamento de resíduos e fontes para os processo de acabamento de metais

Os resíduos gerados nos processos de acabamento de metais da indústria de Correntes São Carlos Ltda, consistem, basicamente, de efluente líquido dos descartes dos tanques de pré-tratamento, de lavagem do pré-tratamento e de lavagem dos banhos galvânicos. A maior parte do volume desse efluente provêm dos tanques de lavagem. Outro contribuinte para o efluente líquido são as lavagens do piso, que ocorrem uma vez por semana. Estas lavagens são feitas pelos próprios funcionários responsáveis pelos banhos. Em todos os tanques há perda de líquidos por arraste e a grande parte deste líquido é derramado no piso. Durante as lavagem as soluções derramadas no chão pelo arraste são lançadas indiscriminadamente nos tanques de tratamento de efluente.

4.3.1) Efluente dos tanques de pré-tratamento e lavagem dos banhos

Apesar de serem os descartes dos tanques de lavagem os maiores contribuintes para geração de efluentes líquidos, se comparado com processos onde o fluxo dos tanques de lavagem é contínuo, essa geração em termos de volume é pequena.

As fontes dos 3 tipos de efluentes são:

- *fontes de efluente ácido*: descartes dos tanques de pré-tratamento (desengraxe, decapagem e ativação), descartes dos 4 tanques de lavagem do pré-tratamento e descartes dos 3 tanques de lavagem da niquelagem. Em todos os tanques, com exceção do tanque de decapagem (ácido muriático) a frequência de descarte é semanal. No tanque de decapagem o descarte ocorre a cada 2 ou 3 meses. O banho de níquel, em caso de contaminação, também é descartado no tanque de segregação de efluentes ácidos ;

• *fontes de efluente de cromo*: descartes dos 4 tanques de lavagem da cromagem. A frequência de descarte é semanal. Banho de cromo no caso de descarte;

• *fontes de efluente de cianeto*: descartes dos dois tanques de lavagem e do tanque de neutralização da zincagem. A frequência de descarte é semanal para os tanques de lavagem e diária para o de neutralização. Banho de zincagem no caso de contaminação;

As concentrações de contaminantes no tanque de segregação de efluentes ácidos são mostrados na TABELA 13. Na TABELA 14 encontram-se relacionados os volumes semanais de descarte para esse efluente e as fontes de descarte. A semana de trabalho é de 5 dias. O volume descartado semanalmente é praticamente constante, pois, independente da taxa de produção e do arraste, o nível dos tanques é mantido, mediante a adição de água e outras substâncias.

TABELA 13: Características do tanque de tratamento de efluentes ácidos

parâmetros	resultados
pH	2.2
CN ⁻	³⁵
Cu	0.36
Zn	200.00
Pb	2.71
Cd	ND
Ni	100.00
Fe	20.19
Mn	0.15
Cromo hexavalente	25.00
Cromo total	60.00

ND: Não detectado

* Concentrações de metais em mg/l

³⁵ A concentração do cianeto não pôde ser determinada devido à falta do kit para determinação de cianeto.

Como o tanque de lavagem da niquelagem é descartado neste efluente, já se esperava que níquel fosse encontrado em concentração elevada. Porém, a concentração de ferro apresentou-se bem menor do que esperado, já que o tanque de lavagem da decapagem também é descartado neste efluente. A concentração de ferro deve se elevar quando a solução de decapagem é descartada, o que não ocorreu durante o período de estudo na indústria³⁶. A alta concentração de zinco não era esperado, pois não há descartes da linha da zincagem neste efluente. Na TABELA 8, página 44, têm-se as concentrações de contaminantes normalmente encontradas nos efluentes de indústrias de acabamento de metais.

TABELA 14: Volume semanal de efluente ácido

fonte	volume/semana (litros)
Pré-tratamento	
desengraxante	200
lavagem 1	200
decapagem ³⁷	-
lavagem 2	200
lavagem 3	200
ativação	200
lavagem 4	200
Niquelagem	
banho de níquel ³⁸	-
lavagem 1	200
lavagem 2	200
lavagem 3	200
Total	1800

³⁶ Período de estudo na indústria de dois meses e meio, de julho a setembro de 1998.

³⁷ Descartes a cada 2 ou 3 meses. Nenhum descarte foi feito durante o período de estudo na fábrica.

³⁸ Não houve descarte.

Na TABELA 15 são mostrados os resultados da determinação de contaminantes para o tanque de segregação do efluente de cromo. Conforme esperado há uma predominância de cromo neste efluente. A concentração de níquel deve-se ao revestimento com este metal realizado antes da cromagem. A TABELA 16 demonstra o volume semanal descartado neste efluente e as fontes de descarte.

TABELA 15: Características do tanque de tratamento de efluentes de cromo

parâmetros	resultados
pH	5.2
Cu	0.60
Zn	60.00
Pb	ND
Cd	ND
Ni	65.00
Fe	15.33
Mn	ND
Cromo hexavalente	84.00
Cromo total	101.00

ND: Não detectado

* Concentrações de metais em mg/l

TABELA 16: Volume semanal de efluente para o tanque de cromo

fonte	volume/semana (litros)
Cromagem	
banho de cromo ³⁹	-
lavagem 1	200
lavagem 2	200
lavagem 3	200
lavagem 4	200
Total	800

³⁹ Não houve descarte

O efluente de cianeto não foi caracterizado. Na TABELA 17 são mostrados o volume semanal descartado neste efluente e as fontes de descarte.

TABELA 17: Volume semanal de efluente para o tanque de cianeto

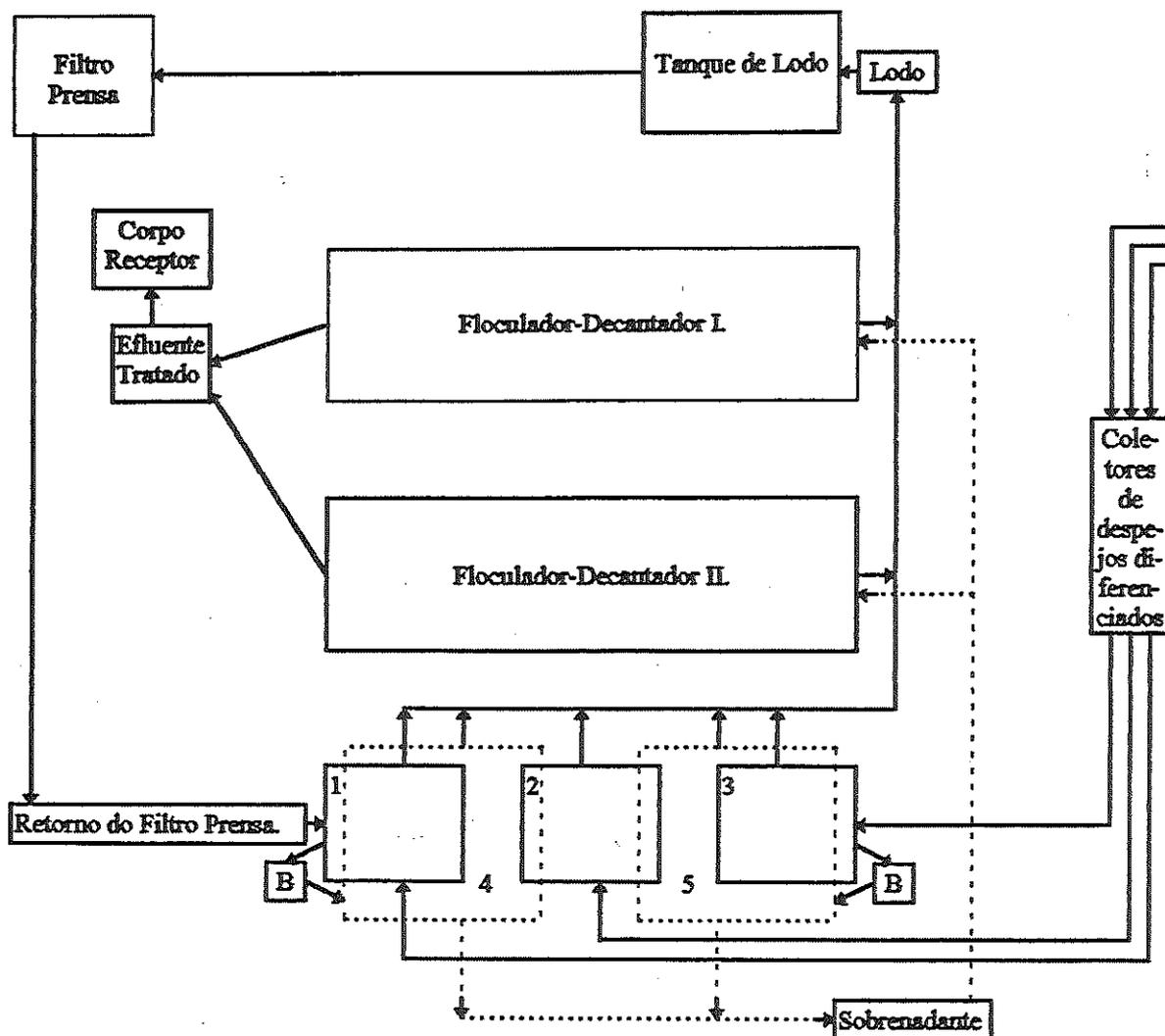
tanque	volume/semana (litros)
Zincagem	
banho de zinco ⁴⁰	
lavagem 1	200
lavagem 2	200
neutralização ⁴¹	750
Total	1150

◆ Tratamento de efluentes

Os efluentes passam por tratamento para remoção de metais e de cianeto, no caso de efluente de cianeto. O sistema de tratamento de efluentes da indústria Correntes São Carlos Ltda. é constituído de: 3 tanques para segregação de despejos, onde são coletados os 3 tipos de efluentes, 2 floculadores elevados (um para efluente de cianeto e outro para cromo), 2 floculadores térreos, 1 tanque para decantação do lodo e 1 filtro prensa. A FIGURA 14 mostra um fluxograma do sistema de tratamento de efluentes dessa indústria.

⁴⁰ Não houve descartes.

⁴¹ O tanque de neutralização, com 150 litros é descartado todos os dias (semana de 5 dias de trabalho)



- Legendas:** 1 - Tanque para despejo contendo Cromo.
 2 - Tanque para despejo contendo Cianeto.
 3 - Tanque para despejo contendo Soluções ácidas.
 4 - Floculador-Decantador Suspensão I.
 5 - Floculador-Decantador Suspensão II.
 B - Bombas de Transferência.

FIGURA 14: Fluxograma do Sistema de Tratamento de Efluentes da indústria Correntes São Carlos

FONTE: CAMPOS (1994)⁴²

⁴² CAMPOS, J. R. (1994). *Controle e tratabilidade dos despejos líquidos da Estação de Tratamento de Efluentes da Correntes São Carlos*. Notas de aula apresentadas na disciplina SHS 878 - Técnicas Experimentais em Saneamento Ambiental, do Programa de Pós-graduação do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- *Tratamento de efluente ácido:* o tratamento desse efluente consiste na neutralização e precipitação de metais com cal. O lodo decantado é descartado. Caso necessário, deve-se corrigir o pH antes do lançamento na rede de esgoto.
- *Tratamento de efluente de cianeto:* a remoção de cianeto desse efluente é realizada através de oxidação alcalina com hipoclorito de sódio. Após a decantação o lodo é descartado. O sobrenadante é floculado com sulfato de alumínio para remoção de zinco. O lodo sedimentado é enviado para o tanque de lodo. O efluente tratado é lançado na rede de esgoto.
- *Tratamento do efluente de cromo:* o cromo hexavalente é reduzido a trivalente com metabissulfito de sódio. Após a redução a cromo trivalente, o efluente é floculado com cal. O lodo resultante é enviado para o tanque de lodo e o efluente tratado é lançado na rede de esgoto.
- *Tratamento do lodo:* os lodos sedimentados nos três tratamentos são enviados para o tanque de lodo. Desse tanque, o lodo é bombeado para um filtro prensa para desumidificação. Após a prensagem é armazenado em barris a espera de um destino mais adequado, já que a indústria não possui local para disposição destes resíduos.

4.3.2) Outros resíduos

Quando os tanques de banhos de revestimento são esvaziados (por contaminação ou perda de eficiência) há geração de resíduos das soluções descartadas e do lodo de fundo de tanque. Somente um caso de descarte total de banhos foi mencionado pela indústria. Houve, no início do ano de 1998, um incidente com o tanque de banho de cromo. Isto ocorreu devido a problemas com matéria-prima. Nessa ocasião, a solução do tanque precisou ser totalmente descartada e o banho refeito. Nenhum outro incidente foi relatado pela indústria ou observado nas visitas.

De acordo com a bibliografia consultada, os banhos de revestimentos metálicos podem ser usados durante alguns anos sem a necessidade de descarte, desde que as impurezas sejam filtradas. Os banhos da indústria Correntes São Carlos Ltda são filtrados, segundo informações dos funcionários, porém não houve filtrações durante o período de estudo⁴³. O resíduo sólido gerado na filtração é mandado para a indústria fornecedora de componentes químicos dos banhos, onde é usado como matéria-prima.

Além desses resíduos, de acordo com a literatura, o banho de cromo é responsável por emissão atmosférica tóxica. A indústria não possui dispositivo de controle atmosférico. A tamponagem adicionada ao banho é, segundo GALVANOTECHNIK (1973), uma forma eficiente de reduzir esta emissão, contudo, não a elimina.

Outros resíduos indicados na bibliografia consultada são os gerados por vazamentos em tubulações. A indústria nega já ter tido problema com vazamentos, o que também não foi observado durante as visitas.

Além dos resíduos gerados no processo produtivo propriamente dito, há ainda, o lodo gerado no tratamento de efluente. Como já mencionado anteriormente, os lodos gerados nos tratamentos dos 3 tipos de efluente são misturados e estão sendo estocados por falta de local apropriado para disposição. Referências a lodo e a outros resíduos gerados nos processos de acabamento de metais, encontradas na listagem 1, resíduos de fontes não específicas, da norma NBR 10004 Resíduos sólidos - classificação, são mostradas no anexo B (página 114).

⁴³ O período de estudo na indústria Correntes São Carlos Ltda foi de dois meses e meio, de julho a setembro de 1998.

4.3.3) Considerações sobre o arraste

O arraste, como já definido anteriormente, é um carreamento de líquido, que aderido à superfície da peça quando esta é retirada de um tanque, é derramado no piso ou transportado para o tanque (de lavagem, de banhos de revestimentos, de decapagem etc.) subsequente, podendo contaminar a solução deste tanque, diminuindo sua eficiência ou mesmo provocando sua perda.

O descarte de soluções devido a contaminações representa a geração de um resíduo adicional, desnecessário para o processo de acabamento de metais e que poderia ser evitado. A diminuição da eficiência, embora não provoque necessariamente o descarte das soluções, causa uma perda de qualidade do revestimento, podendo gerar resíduos de produtos mal acabados.

As perdas por arraste no processo estudado são relativamente grandes, considerando-se os volumes dos tanques. Em consequência disso há a necessidade de adição de água e soluções para recompor e manter o nível dos tanques. Estas adições são diárias para a maioria dos tanques.

Todos os tanques são fontes de perdas por arraste, porém, nos tanques de lavagens, onde praticamente não há tempo para o escoamento das correntes, estas perdas são bem maiores. O mesmo ocorre com os tanques de desengraxe e de neutralização.

A TABELA 18 mostra uma estimativa aproximada da perda por arraste e evaporação⁴⁴.

⁴⁴ A perda por evaporação não deve ser muito significativa para a maioria dos tanques, já que a área superficial destes é pequena e quase todos, com exceção dos banhos de níquel, de cromo e a solução desengraxante, trabalham à temperatura ambiente. A perda por arraste e evaporação foi considerada igual a quantidade de líquido adicionada, diariamente, para manter constante o nível dos tanques.

TABELA 18: Perdas por arraste e evaporação

Tanque	volume/dia (litros)	Volume/semana ⁴⁵ (litros)
Pré-tratamento		
desengraxe	15	75
lavagem 1	15	75
lavagem 2	15	75
lavagem 3	15	75
neutralização	15	75
lavagem 4	15	75
niquelagem		
banho de níquel	-	20
lavagem 1	10	50
lavagem 2	10	50
lavagem 3	10	50
cromagem		
banho de cromo	-	20
lavagem 1	10	50
lavagem 2	10	50
lavagem 3	10	50
lavagem 4	10	50
Zincagem		
banho de zinco	-	25
lavagem 1	10	50
lavagem 2	10	50
Total	180	965

⁴⁵ Este volume é uma medida aproximada, conforme relatado pelo funcionário entrevistado. Se a perda de solução dos tanques for maior ou menor, a quantidade adicionada também irá variar. Em uma das visitas à indústria, por ocasião da reposição das perdas nos tanques, o funcionário adicionou exatamente a quantidade de água relacionada na TABELA 18, como demonstração de sua prática diária.

4.4) Propostas de alternativas de minimização de resíduos para o processo de acabamento de metais da indústria Correntes São Carlos Ltda.

As alternativas de minimização de resíduos, identificadas para o processo de acabamento de metais estudado, são aqui relacionadas, junto com algumas considerações de sua aplicabilidade. Lembra-se que a implantação de minimização de resíduos em uma indústria precisa primeiramente do reconhecimento da administração quanto à necessidade de diminuir resíduos. Sem isso, qualquer gasto referente a esta implantação será considerado desnecessário, inviabilizando qualquer iniciativa.

◆ Melhoria nas práticas operacionais

As mudanças nas práticas operacionais podem trazer também uma melhoria na qualidade do produto. Estas práticas são:

- treinamento de funcionários. A conscientização e treinamento de funcionários é muito importante para todas alternativas de minimização propostas neste trabalho. Os processos de agitação nos banhos, movimentação de peças, mergulho e retirada das peças dos tanques, descartes de soluções, entre outros, são manuais, e dependem por isso, de treinamento para que sejam realizadas de forma satisfatória. Particularmente, para as alternativas de prevenção de arraste, mais ligadas à maneira como estes trabalhadores desempenham suas funções, o treinamento e conscientização são imprescindíveis. O treinamento também melhora a segurança para os trabalhadores;
- melhorar o controle de compra de matéria-prima para evitar contaminação e perda da eficiência dos banhos, o que causa descartes desnecessários;
- manter o local limpo para evitar contaminação dos banhos e visualizar melhor vazamentos e derramamentos de soluções;

- colocar tampas nos tanques que não estiverem em uso, para evitar entrada de impurezas, que possam prejudicar a qualidade dos revestimentos, ou mesmo provocar perda dos banhos;
- manutenção e limpeza de suportes (ganchos) para evitar que entrada de impurezas nos banhos e lavagens possam contaminar as soluções ou aumentar a geração de lodo;
- planejamento da produção e estabelecimento formal de procedimentos e operações. O que foi observado na indústria estudada, é que as execuções das operações e procedimentos baseiam-se na experiência prática de muitos anos, mas não estão bem estabelecidas. O planejamento da produção e a formalização dos procedimentos internos, melhora o controle dos processos, aumentando a eficiência. Este controle possibilita a identificação de falhas nas operações, gastos de água, energia e matérias-primas desnecessários, e perdas de material e geração de resíduos no processo. Esta é uma das medidas mais importantes para que um programa de minimização de resíduos possa ser implantado, já que sem ela o conhecimento e controle do processo é muito limitado.

◆ Minimização de arraste

Existem vários meios de se diminuir a quantidade de solução carregada, que podem ser implantados separadamente ou em conjunto, para se obter melhores resultados:

- aumentar o tempo de escoamento das correntes retiradas dos banhos. Pôde-se constatar durante as visitas à fábrica que as correntes são mergulhadas e retiradas dos tanques muito rapidamente. Grande quantidade de solução é carregada para o piso. Praticamente não há tempo para escoamento das peças. O aumento do tempo de escoamento diminui a perda de soluções, evita a contaminação dos banhos, aumenta a vida das soluções e diminui a quantidade de contaminantes derramados no piso e a necessidade de lavagens deste, reduzindo assim a quantidade de efluente. Lembra-se, aqui o exemplo dado na página 50, da redução de 40% no arraste pelo



aumento do tempo de escorrimento das peças de 3 para 10 segundos. Por outro lado, o aumento do tempo de escorrimento diminui a taxa de produção. Como a indústria está trabalhando atualmente com capacidade ociosa, isto não representa um problema imediato, contudo, é algo a ser pensado no futuro. Neste momento, a indústria, aproveitando-se do fato de não ser necessária uma alta taxa de produção, poderia determinar o tempo ideal de escorrimento das correntes;

- instalação de dispositivos de captação de arraste (FIGURA 4, página 51). Esta medida traz os mesmos benefícios do aumento do tempo de escorrimento. Os benefícios podem ser maiores com a utilização destes dois mecanismos. Somente a instalação de dispositivos de captação de arraste, sem o aumento do tempo de escorrimento, não é suficiente para conter o carreamento de solução, uma vez que o pequeno espaço entre os tanques (em torno de 30 cm), não permite o escorrimento adequado das correntes durante a passagem destas de um tanque a outro;
- mudança nos parâmetros de processo. O aumento da temperatura e a diminuição da concentração das soluções dos tanques diminuem a viscosidade, facilitando o escorrimento e diminuindo a quantidade de líquido aderida à superfície das peças. A adição de agentes molhadores (que já estão presentes em alguns banhos) diminui a tensão superficial da solução, reduzindo também o arraste. Esta alternativa requer um controle rigoroso para que a qualidade dos revestimentos seja assegurada. Além da possibilidade de perda de qualidade, outros problemas do aumento da temperatura, segundo NWMOA (1997), são uma maior perda de solução por evaporação, maior custo de energia, aumento de emissões representando perigo para os trabalhadores, principalmente no caso do uso de cianeto nas soluções. A diminuição da concentração diminui também a tolerância a impurezas, requerendo um maior cuidado com o pré-tratamento e o controle de entrada de impurezas. Porém, a diminuição da concentração não está vinculada somente à redução do arraste, mas também a uma menor quantidade de contaminantes a serem lançados no efluente;
- introdução de tanques para escorrimento das peças. As soluções recolhidas nestes tanques poderiam ser concentradas e reutilizadas. O tanque para escorrimento das peças tem a vantagem de poder ser semelhantes aos usados nos tanques de lavagens.

Porém, há a necessidade de espaço para a sua introdução. O dispositivo de captação de arraste tem a vantagem de poder ser introduzido com a atual disposição dos tanques. Uma organização viável seria a colocação de dispositivos de captação de arraste entre os tanques do pré-tratamento, entre os tanques da linha da niquelagem, entre os tanques da linha da zincagem e entre os tanques da linha da cromagem, que encontram-se bem perto uns dos outros. Os tanques de escorrimento poderiam ser introduzidos após o último tanque do pré-tratamento e no final de cada linha de revestimento, onde não é possível os dispositivos de captação de arraste.

- como a forma das correntes é propícia ao acúmulo de líquidos, mas obviamente não pode ser modificada, sugere-se que estas sejam agitadas ao serem retiradas dos tanques para facilitar o escorrimento.

♦ Controle da composição e diminuição da concentração do banho

O que foi observado é que o controle da composição dos banhos baseia-se mais na experiência de um funcionário do que na análise química dos banhos, embora estas ocorram periodicamente. Com isso, eleva-se a probabilidade de um aumento desnecessário da concentração de substâncias químicas nos banhos. O controle da composição melhora o processo e a qualidade dos revestimentos. A formalização dos procedimentos é uma forma eficiente de controlar a composição dos banhos, já que as operações de adição de água e substâncias químicas passam a estar bem estabelecidas.⁴⁶ A composição dos banhos deve ser também controlada através de análises laboratoriais frequentes.

A diminuição da concentração dos banhos reduz a quantidade de substâncias químicas usadas, inclusive substâncias perigosas, diminui gastos com matéria prima e, também, reduz a geração de lodo do tratamento de efluente. Conforme NWMOA (1997), a concentração do banho é indicada, geralmente, pelos próprios fornecedores, e é, muitas vezes, superior ao necessário. Ou mesmo, as próprias indústrias usam uma concentração mais alta que a recomendada, com intuito de

⁴⁶ Ver item sobre mudanças nas práticas operacionais (página.99)

garantir a qualidade do revestimento. Porém, de acordo com a mesma referência, o uso desnecessário de altas concentrações não garante e não melhora a qualidade do produto

Para reduzir a concentração dos banhos a indústria poderia se informar com o fornecedor, que também presta assistência técnica, ou por outros meios, a respeito da possibilidade de reduzir as concentrações recomendadas, ou mesmo fazer testes (logicamente em pequena escala) reduzindo a concentração e verificando se a qualidade do revestimento é assegurada.

♦ Substituição de materiais perigosos

O processo de acabamento de metais da indústria Correntes São Carlos Ltda utiliza dois dos materiais mais perigosos relatados pela bibliografia consultada, que são o cromo hexavalente (na forma de ácido crômico da cromagem) e o cianeto (na forma de cianeto de sódio da zincagem).

As vantagens das substituições destes dois materiais são uma menor exposição dos funcionários a substâncias perigosas, geração de um efluente mais fácil de tratar, menor complicação com órgãos de proteção ambiental, geração de lodo menos perigoso e no caso da cromagem uma menor geração de lodo.

A TABELA 9 (página 53) mostra duas alternativas para a zincagem sem cianeto. Nesta tabela encontram-se algumas vantagens e desvantagens destas alternativas. Da mesma forma, na TABELA 11 (página 56) encontram-se as vantagens e desvantagens da substituição do cromo hexavalente pelo trivalente.

Embora estas substituições reduzam o uso de substâncias perigosas, e conseqüentemente a geração de resíduos perigosos destas substâncias, sendo provavelmente, o método mais eficaz de minimização de resíduos no processo estudado, reconhece-se que os investimentos e mudanças necessárias para sua implantação são grandes obstáculos para que sejam adotadas nesta indústria.

♦ Redução de resíduos no processo de lavagem

A redução de resíduos gerados durante a lavagem das peças ocorre por aumento da eficiência ou modificações nos processos de lavagem.

As formas de melhorar a eficiência das lavagens são o aumento do tempo de contato, agitação no tanque de lavagem e o uso de água purificada, ao invés de água de torneira que possui impurezas.

Embora a substituição da água de torneira por água purificada represente um custo, lembra-se que, de acordo com a bibliografia consultada, o uso de água de torneira tem relação com má qualidade de revestimentos, com diminuição da vida das soluções, com entrada de impurezas nos banhos e com aumento da geração de lodo.

O aumento do tempo de contato torna a lavagem mais eficiente e diminui a entrada de impurezas no tanque subsequente. Como o aumento do tempo de contato diminui a taxa de produção, sugere-se que se faça uma agitação manual, com a peça mergulhada no tanque. Esta agitação diminui o tempo de contato necessário para a eficiência da lavagem.

Estes procedimentos podem aumentar a vida das soluções, diminuindo a taxa de descarte e evitando a geração de resíduos de correntes com revestimento ruim.

Além do aumento da eficiência da lavagem, outra alternativa para reduzir resíduos é a utilização da água de lavagem de um tanque no tanque anterior, nos locais onde são usados dois ou mais tanques de lavagens sucessivos. Isto poderia ser feito nos quatro tanques de lavagem da cromagem, nos três da niquelagem e nos dois tanques de lavagem após a decapagem, lavagens 2 e 3 do pré-tratamento. Este procedimento diminuiria a taxa de descarte das soluções, porém, poderia também comprometer a qualidade do revestimento. Como o volume de efluente da indústria Correntes São Carlos Ltda não é elevado, deve-se verificar se haveria realmente vantagem que justificasse a adoção desta alternativa. O aumento da eficiência da lavagem elevaria desempenho deste procedimento.

◆ Reciclagem

A recuperação de metais das soluções gastas e do efluente traz como benefícios a possibilidade de reuso destes metais como componentes no banho, ou sua venda para os próprios fornecedores, e ainda diminui a quantidade de lodo gerado no tratamento de efluente.

Algumas das tecnologias de reciclagem, como a troca iônica, possibilita, além da recuperação de metais, o reuso da água purificada nos tanques de lavagem. Outra alternativa seria concentração da água de lavagem dos banhos de revestimento com objetivo de reusa-las como reposição de perdas por arraste e evaporação nos banhos.

A TABELA 12 (página 61) indica as tecnologias de reciclagem mais usadas em processos de acabamento de metais, suas vantagens desvantagens e principais aplicações.

Atualmente a indústria em estudo não utiliza a reciclagem. Uma análise de viabilidade econômica deve ser feita para determinar a possibilidade de implantação de uma ou mais técnicas de reciclagem. Metais como zinco, cromo e níquel poderiam ser recuperados, porém seria necessário um maior acompanhamento dos efluentes para determinar a viabilidade do uso de alguma técnica de recuperação. Lembra-se, contudo, que conforme exposto na revisão bibliográfica, o mais viável para pequenas indústrias é a contratação de firmas especializadas em reciclagem de resíduos, o que também deve ter a viabilidade econômica determinada.

4.4.1) Seleção de melhores alternativas

O que se entende aqui por “melhores” não é maior eficiência, mais sim, simplicidade, facilidade de implantação e baixo custo. A implantação destas alternativas pode servir para aumentar o interesse da indústria por técnicas de minimização de resíduos, vindo a ser um incentivo para mudanças posteriores mais profundas.

As alternativas selecionadas foram:

- planejamento da produção e estabelecimento formal de procedimentos e operações;
- treinamento e conscientização de funcionários;
- diminuição de arraste: aumento do tempo de escoamento, agitação das correntes para facilitar o escoamento, instalação de dispositivos de captação de arraste e introdução de tanques para escoamento;
- manutenção da limpeza no local dos banhos, colocação de tampas nos tanques que não estão sendo usados para diminuir as impurezas nos banhos;
- melhora no controle de compra de matéria-prima;
- melhora no controle da composição dos banhos.

5) CONCLUSÕES E SUGESTÕES

As conclusões aqui relacionadas têm como base os dados obtidos na indústria e informações da revisão da literatura.

A indústria estudada representa a situação de muitas indústrias brasileiras, aonde, se por um lado há a preocupação em obedecer às leis ambientais, por outro, as questões ambientais ainda não estão embutidas na visão estratégica da indústria. Devido a isso, concluiu-se que formas mais efetivas para minimização de resíduos só poderão vir a serem implantadas se houver uma mudança de posição da indústria. O primeiro passo para implantação de qualquer alternativa de minimização de resíduos é, portanto, o reconhecimento da própria administração da indústria da necessidade de reduzir resíduos.

Entre as propostas de minimização de resíduos existem alternativas simples, que poderão ser implantadas em curto espaço de tempo e com baixo custo. Estas propostas concentram-se em prevenção de arraste e mudanças nas práticas operacionais. A implantação dessas alternativas poderia ser vista como um incentivo a mudanças mais profundas.

A conscientização e treinamento de funcionários são fundamentais para o sucesso da implantação da minimização de resíduos, visto que esta depende da maneira como os trabalhadores realizam suas práticas diárias e estão abertos à mudanças na execução desta operações. Uma observação a ser feita é que a utilização da experiência prática dos trabalhadores é muito importante para identificar as falhas e ineficiências no processo, que acabam por gerar resíduos desnecessariamente, porém, esta experiência deve estar sedimentada em um conhecimento sistemático e seguro.

As propostas referentes à substituição de materiais foram feitas lembrando-se que dois dos materiais mais perigosos usados em processos de acabamento de metais, que são o cromo hexavalente e o cianeto, fazem parte, respectivamente, dos componentes da cromagem e da zincagem realizadas por essa indústria. Estas substituições estariam entre as medidas mais eficazes para reduzir resíduos nessa indústria, através da eliminação do uso de dois contaminantes perigosos. Contudo, reconhece-se que a atual realidade da indústria provavelmente inviabilize a adoção desta alternativa em um primeiro momento. Entretanto, diante dos benefícios ambientais e para a própria saúde e segurança dos trabalhadores, esta alternativa merece um estudo mais profundo.

Grande parte das alternativas de minimização de resíduos implicam em uma maior eficiência das práticas operacionais, o que leva a uma maior qualidade dos revestimentos. Como exemplo pode-se citar as alternativas para prevenção da entrada de impurezas nos banhos, impurezas estas que são, de acordo com a bibliografia consultada, uma das principais causas de qualidade ruim de revestimento.

Embora a aplicação de uma alternativa de minimização de resíduos possa trazer benefícios, a adoção conjunta de várias dessas alternativas aumenta os resultados satisfatórios. Algumas alternativas estão interrelacionadas, ou seja, não podem ser adotadas isoladamente sem o comprometimento dos resultados. Como exemplo, cita-se o reuso da água de lavagem dos banhos eletrolíticos para repor as perdas por arraste e evaporação nestes últimos. Esta prática implica em um maior cuidado com entrada de impurezas nos tanques de lavagem, para evitar que o reuso das soluções possa contaminar os banhos. Para evitar tais impurezas haveria necessidade de um controle da qualidade da água de lavagem (a indústria Correntes São Carlos Ltda usa atualmente água de torneira), colocação de tampas sobre os tanques, maior cuidado com a limpeza e manutenção de ganchos para suportes de peças, entre outros.

E, por último, conclui-se que existem várias alternativas simples que viabilizam a implantação de minimização de resíduos, mesmo em pequenas

indústrias, sem grandes recursos financeiros e com pouco interesse por questões ambientais.

Sugestões para um prosseguimento do estudo:

- implantação das técnicas de minimização selecionadas e acompanhamento de seus resultados quanto à redução de resíduos e à qualidade dos revestimentos;
- acompanhamento através de coletas freqüentes dos efluentes, para determinar as concentrações de metais e analisar a viabilidade técnica de recuperação. Fazer ensaios de recuperação de metais destes efluentes;
- identificar novas alternativas de minimização e estendendo-as a todos os processos da indústria;
- avaliar economicamente as alternativas de minimização, verificando os custos antes e após a sua implantação;
- quantificar e caracterizar o lodo do tratamento de efluente gerado atualmente e depois da implantação das alternativas de minimização, para avaliar da influência na sua geração.

ANEXO A

Critérios práticos para correção de defeitos nos revestimentos

TABELA 19: Defeitos, causas e correções para o revestimento de zinco

Defeitos	Causas	Correções
Descascamento após curto espaço de tempo posterior à zincagem	<ul style="list-style-type: none"> • limpeza deficiente • decapagem durante um tempo muito longo • corrosão nos poros da camada 	<ul style="list-style-type: none"> • controlar o ciclo de limpeza • diminuir o tempo de decapagem • depositar camada mais espessa de zinco
camada preta sobre os anodos	<ul style="list-style-type: none"> • falta de cianeto livre 	<ul style="list-style-type: none"> • adicionar cianeto de sódio
camada áspera	<ul style="list-style-type: none"> • impurezas 	<ul style="list-style-type: none"> • filtrar o banho
camada escura de aspecto feio	<ul style="list-style-type: none"> • falta de cianeto livre • abrillantador foi consumido 	<ul style="list-style-type: none"> • adicionar cianeto de sódio • adicionar abrillantador
deposição lenta, camada fina	<ul style="list-style-type: none"> • zinco metálico baixo • superfície anódica insuficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • adicionar óxido de zinco • aumentar a superfície anódica
formação de estrias e manchas após a secagem	<ul style="list-style-type: none"> • lavagem deficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • melhorar lavagem em água corrente

FONTE: Catálogo da DILETA - Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda.

TABELA 20: Defeitos, causas e correções para o revestimento de níquel

Defeitos	Causas	Correções
descascamento	<ul style="list-style-type: none"> • defeitos de desengraxe ou decapagem 	<ul style="list-style-type: none"> • verificar o tratamento preliminar
camadas frágeis	<ul style="list-style-type: none"> • pH muito alto ou muito baixo 	<ul style="list-style-type: none"> • regular pH
camada áspera	<ul style="list-style-type: none"> • impurezas mecânicas no banho • pré-tratamento deficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • filtrar, verificar bolsas dos ânodos • verificar o pré-tratamento
camada fosca	<ul style="list-style-type: none"> • falta de abrilhantador • pH errado • temperatura muito baixa ou muito alta 	<ul style="list-style-type: none"> • adicionar abrilhantador • corrigir pH • acertar temperatura

FONTE: GALVANOTECHNIK (1973), p. 526

TABELA 21: Defeitos, causas e correções para o revestimento de cromo

Defeitos	Causas	Correções
camadas foscas na cromagem brilhante	<ul style="list-style-type: none"> • temperatura do banho muito baixa • densidade de corrente muito alta 	<ul style="list-style-type: none"> • aumentar a temperatura do banho • diminuir a densidade de corrente
a aresta superior da peça não é cromada	<ul style="list-style-type: none"> • a peça não é imersa o suficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • manter o nível de líquido de 5 a 10 cm acima do cátodo
a camada de cromo descasca	<ul style="list-style-type: none"> • a camada de níquel é muito fina, cromeação muito longa • o pH do banho de níquel é muito alto 	<ul style="list-style-type: none"> • niquelar melhor ou colocar camada mais fina de cromo • corrigir pH do banho de níquel
beiradas não cromadas	<ul style="list-style-type: none"> • as peças são colocadas nos banhos muito próximas umas das outras 	<ul style="list-style-type: none"> • colocar as peças com maiores distâncias entre si
camadas de cromo ásperas ou arenosas	<ul style="list-style-type: none"> • temperatura muito elevada • teor de ácido crômico baixo • impurezas mecânicas no banho, partículas em suspensão 	<ul style="list-style-type: none"> • corrigir temperatura • aumentar concentração do banho • deixar decantar bem o banho, filtrar

FONTE: GALVANOTECHNIK (1973), p. 513

ANEXO B

Referências da norma NBR 10004 - Classificação de resíduos, a resíduos provenientes de processos de acabamento de metais.

TABELA 22: Resíduos de acabamento de metais na norma NBR 10004 Resíduos sólidos - classificação

Indústria	Código do res. perigoso	Resíduo perigoso	Código de periculosidade
Genérica	F006	Lodos de tratamento de águas residuárias provenientes de operações de eletrodeposição, exceto os originários dos seguintes processos: (1) anodização do alumínio com ácido sulfúrico; (2) estanhagem do aço carbono; (3) zincagem (bases segregadas) do aço carbono; (5) operações de limpeza/extração associadas com revestimentos de estanho, zinco e alumínio do aço carbono; e (6) fresagem e estampagem química do alumínio.	(T)
	F007	Soluções exauridas de banho de tratamento superficial com cianeto provenientes de operações de eletrodeposição (exceto soluções exauridas que contem cianetos provenientes da eletrodeposição de metais preciosos).	(R, T)

TABELA 22: Resíduos de acabamento de metais na norma NBR 10004 Resíduos sólidos - classificação

Indústria	Código do res. perigoso	Resíduo perigoso	Código de periculosidade
	F008	Lodos de fundo de tanque de banhos de tratamento superficial provenientes de operações de eletrodeposição onde os cianetos são utilizados no processo (exceto lodos de banho de tratamento superficial com metais preciosos por eletrodeposição)	(R, T)
	F009	Soluções exauridas de banho de extração e limpeza provenientes de operações de eletrodeposição onde os cianetos são utilizados no processo (exceto soluções exauridas dos banhos de extração e limpeza da eletrodeposição com metais preciosos).	(R, T)
	F019	Lodos de tratamento de águas residuárias do revestimento do alumínio por conversão química.	

FONTE: Listagem 1, resíduos de fontes não específicas, norma NBR 10004 Resíduos sólidos - classificação

R- Reativo

T- Tóxico

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO, J. M. S. (1984). *Estudo sobre a remoção de metais pesados em águas residuárias de indústrias de acabamento de metais*. São Carlos. 159p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). NBR 10004- Resíduos Sólidos - Classificação. São Paulo.
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J.E.W.A.(1979). *Manual de tratamento de águas residuárias industriais*. São Paulo, CETESB.
- BRASIL, Leis, etc. (1986). Resolução CONAMA nº 20 de julho de 1986. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, CONAMA.
- CHEREMISINOFF, P. N.; KING, J. A. (1991). Waste minimization. *Pollution Engineering*. V. 23, n.3, p. 64-72.
- COMELLA, P. A.; RITTMAYER, R. W. (1990). Waste minimization. *Pollution Engineering*, v.22, n.4, p. 71-74.
- FLORES, E. A. (1991). Impediments of hazardous waste minimization. *Pollution Engineering*, v.23, n.3, p. 76-79.
- FRAUNHOFER, J. A. (1976). *Basic metal finishing*. London, Elek Science London.

- FREEMAN, H. M. (1995). *Industrial pollution prevention handbook*. Cincinnati, McGraw-Hill.
- GALVANOTECHNIK. (1973). *Galvanotécnica prática*. Traduzido por Peter Albert Folders. São Paulo, ed. da Universidade de São Paulo.
- HASAN, S. E. (1995). *Geology and hazardous waste management*. New Jersey, Prentice Hall.
- HIGGINS, T. E. (1989). *Hazardous waste minimization handbook*. Michigan, Lewis Publishers.
- JOHASSON, A. (1992). *Clean technology*. Boca Raton, Lewis Publishers.
- KINLAW, D. C. (1997). *Empresa competitiva e ecológica: desempenho sustentado na era ambiental*. Trad. por Lenk Peres Alves de Araújo. São Paulo, Makron Books.
- MARQUES, P. V., org. (1991). *Tecnologia da soldagem*. Belo Horizonte, ESAB.
- MATOS, S. (1997). *Proposta para minimização de resíduos sólidos industriais: estudo de caso com areia de fundição*. São Carlos. 107p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- MOHANTY, R. P.; DESMUKH, S. G. (1998). Managing green productivity: some strategic directions. *Production Planning & Control*, v.9, n.7, p. 624-633.
- NEWTON, J. (1990). Setting up a waste minimization program. *Pollution Engineering*, v. 22, n.4, p. 75-80.

NORTHEAST WASTE MANAGEMENT OFFICIALS' ASSOCIATION -
NEWMOA. (1997). *Pollution prevention for the metal finishing industry: a
manual for pollution prevention technical assistance providers*. Boston.

→ OLIVEIRA, C. A. A. (1998). *Programa de prevenção de poluição industrial: estudo
de caso no processo de acabamento de metais de uma indústria*. São Carlos. 152p.
Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

POLLUTION PREVENTION WORKGROUP- PPW. (1993). *Waste minimization for
the metal finishing industry*. San Francisco. Center for Environmental Research
Information Publications (CERJ).

REIS, M. (1996). *ISO 14000 - gerenciamento ambiental: um novo desafio para a sua
competitividade*. São Paulo, Qualitymark.

ROCCA, A. et al. (1993). *Resíduos sólidos industriais*. São Paulo, CETESB.

SCHALCH, V.; LEITE, W. C. A.; GOMES, L. P. (1990). Curso sobre gerenciamento
de resíduos sólidos. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA
SANITÁRIA E AMBIENTAL - ABES. Goiânia - GO, jun.

SCHIMIT, N.; KODUCULA, H. (1985). *Recovery, recycle and reuse of industrial
waste*. Michigan, Lewis Publishers.

SCHOT, J.; FISCHER, K. (1993). *Environmental strategies for industry:
international perspectives on research needs and policy implications*.
Washington, Island Press.

SIMMONS, M. S. (1991). *Hazardous waste measurements*. Chelsea, Michigan,
Lewis Publishers.

STRAUS E. L.; MENESES, L. U. (1993). Minimização de resíduos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Natal. 1993. *Anais*, v. 2, p. 212-225.

TIBOR, T.; FELDMAN, I. (1996). *ISO 14000: um guia para as novas normas de gestão ambiental*. Trad. por Banzán Tecnologia e Lingüística. São Paulo, Futura.

WILSON, S. R.; SOESILO, J. A. (1995). *Hazardous waste planning*. Boca Raton, Florida, Lewis Publishers.