

nº 508-REPDISCA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

PROGRAMA DE PREVENÇÃO DE POLUIÇÃO INDUSTRIAL: ESTUDO DE  
CASO NO PROCESSO DE ACABAMENTO DE METAIS DE UMA INDÚSTRIA



CLÁUDIA ARAÚJO AMORIM DE OLIVEIRA

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

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel

DEDALUS - Acervo - EESC



31100017309

São Carlos

1998

Class.	TESE-EESC
Curr.	4087
Tombo	215828

✓ 31100017309

19.105/98

0984075

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

048p Oliveira, Cláudia Araújo Amorim de  
Programa de prevenção de poluição industrial :  
estudo de caso no processo de acabamento de metais  
de uma indústria / Cláudia Araújo Amorim de  
Oliveira. -- São Carlos, 1998.

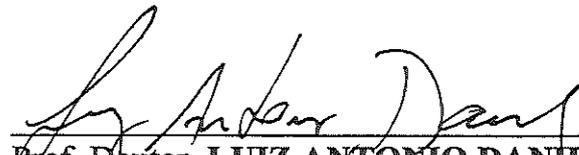
Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia  
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.  
Área: Hidráulica e Saneamento.  
Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel.

1. Poluição industrial. 2. Efluentes líquidos.  
3. Minimização. 4. Prevenção de poluição.  
I. Título.

## FOLHA DE APROVAÇÃO

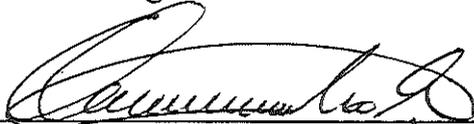
Candidata: Engenheira **CLAUDIA ARÁUJO AMORIM DE OLIVEIRA**

Dissertação defendida e aprovada em 19-5-1998  
pela Comissão Julgadora:



---

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



---

Prof. Doutor **VALDIR SCHALCH**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



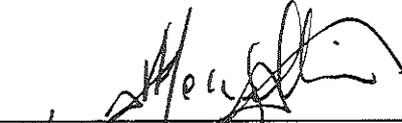
---

Prof. Doutor **DEOVALDO DE MORAES JUNIOR**  
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)



---

Prof. Titular **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY**  
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento



---

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

Aos meus pais, Luiz Otávio e Marínez,  
meus grandes incentivadores, com quem  
aprendi a lutar por meus ideais; aos meus  
irmãos, Eduardo e Renata, a meu filho,  
Philippe e a meu esposo, Alexandre  
Philippe.

## AGRADECIMENTOS

À grande amiga Luciana Coêlho Mendonça, pela grande ajuda, carinho e companheirismo sempre.

À Renata, minha irmã, pela colaboração imprescindível ao término da fase experimental deste trabalho.

Ao Professor Doutor Luiz Antônio Daniel pela orientação, dedicação e incentivo à realização deste trabalho.

A Paulo Fragiácomo, Maria Aparecida Peres Viudes, Eliana Aparecida Arcaide e Júlio César Trosino, funcionários do Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Ao engenheiro químico Alcides Anon e ao técnico em química Daniel Aparecido Ferri, e a todos os funcionários da indústria Tecumseh do Brasil Ltda. pela disponibilidade com que forneceram as informações necessárias à elaboração deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela concessão de bolsa de mestrado e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, pelo auxílio de pesquisa (proc. 96/9482-0).

Ao Professor Sérgio Rolim Mendonça que através de seu amor pelo Saneamento incentivou-me a me dedicar a essa área de estudo.

A todos os colegas de turma que com seu carinho contribuíram para a realização do presente trabalho.

A todo o pessoal do Departamento de Hidráulica e Saneamento.

A Deus, pela oportunidade de lutar por uma causa que acredito ser muito importante, a ambiental.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>xix</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>xx</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xxi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xxii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>04</b>
2.1 A poluição industrial e a necessidade de reduzi-la.....	04
2.2 Sistema de gerenciamento e auditoria ambiental.....	07
2.3 ISO 14.000: requisitos para sistemas de gerenciamento ambiental.....	11
2.4 Prevenção à poluição: conceito e técnicas.....	12
2.5 Implantação de um programa de prevenção à poluição nas indústrias.....	19
2.5.1 Necessidade de implantação.....	19

2.5.2 Etapas de um programa de prevenção.....	22
2.5.3 Barreiras que devem ser vencidas para que o programa de prevenção seja implementado.....	29
2.5.4 Benefícios que podem ser alcançados com a prevenção.....	30
2.5.5 A educação e o treinamento de funcionários contribuindo para o sucesso de um programa de prevenção.....	31
2.6 Tratamento de efluentes líquidos industriais.....	32
2.7 O acabamento de metais.....	35
2.7.1 Os objetivos do acabamento de metais e os processos utilizados para alcançá-los.....	35
2.7.2 Geração e caracterização de efluentes líquidos.....	38
2.7.3 Prevenção à poluição no processo de acabamento de metais.....	39
2.7.4 Tratamento de efluentes líquidos do acabamento de metais.....	51
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>55</b>
3.1 Tecumseh do Brasil Ltda: área de estudo de caso.....	55
3.1.1 Generalidades.....	55
3.1.2 Abastecimento de água e tratamento de efluentes.....	56

3.1.3 O processo de acabamento de metais na indústria Tecumseh do Brasil Ltda.....	57
3.2 Estudo do fluxograma do processo de produção industrial.....	58
3.3 Determinação do volume de efluente gerado por cada fonte.....	58
3.4 Primeira caracterização dos efluentes líquidos da Tecumseh do Brasil Ltda.....	59
3.5 Proposição de alternativas de prevenção à poluição.....	60
3.6 Segunda caracterização dos efluentes líquidos da Tecumseh do Brasil Ltda.....	60
3.7 Ensaios de recuperação de soluções.....	60
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>62</b>
4.1 Resultados do estudo do fluxograma do processo de produção industrial.....	62
4.1.1 Fluxograma geral do processo de produção industrial.....	62
4.1.2 Fluxogramas das atividades realizadas na Usinagem AE/AK/AZ (mini-fábrica 3) .....	64
4.1.3 Fluxogramas das atividades realizadas na Estamparia (mini-fábrica 4) .....	70

4.1.4 Fluxogramas das atividades realizadas no Processo Final AE/AK/AZ (mini-fábrica 3) .....	76
4.1.5 Fluxogramas das atividades realizadas no Processo Final TP/RG/RK (mini-fábrica 5).....	80
4.2 Volume de efluentes gerado por cada fonte.....	87
4.2.1 Volume de efluentes gerado continuamente pelos enxágües.....	87
4.2.2 Volume de efluentes gerado devido ao descarte de soluções para lavagem dos tanques.....	90
4.3 Resultados obtidos através da primeira caracterização dos efluentes.....	95
4.4 Proposição de alternativas de prevenção à poluição.....	96
4.4.1 Redução na fonte.....	96
4.4.2 Reciclagem.....	98
4.5 Resultados obtidos através da segunda caracterização dos efluentes.....	99
4.6 Resultados obtidos com a realização de ensaios de recuperação de soluções.....	100
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>101</b>
<b>6 SUGESTÕES.....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>105</b>

<b>ANEXO B</b> .....	124
<b>ANEXO C</b> .....	142
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	147

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Passos básicos de uma auditoria ambiental.....	09
Figura 02 - Técnicas de minimização de resíduos.....	15
Figura 03 - Processo industrial típico.....	19
Figura 04 - O processo de avaliação da minimização de resíduos.....	23
Figura 05 - Enxágüe contracorrente único.....	42
Figura 06 - Enxágüe contracorrente duplo.....	42
Figura 07 - Enxágüe contracorrente triplo.....	42
Figura 08 - Sistema de recuperação em ciclo fechado da água de enxágüe.....	44
Figura 09 - Sistema de recuperação em ciclo aberto da água de enxágüe.....	44
Figura 10 - Fluxograma típico de tratamento de efluentes de indústria de acabamento de metais.....	54
Figura 11 - Fluxograma geral do processo de produção industrial.....	63
Figura 12 - Fluxograma da Lavadora de Bielás.....	65
Figura 13 - Fluxograma das Lavadoras de Cabeçotes I e II.....	66
Figura 14 - Fluxograma da Lavadora ASVOTEC/USIN.....	67

Figura 15 - Fluxograma da Lavadora de Parafusos.....	68
Figura 16 - Fluxograma da Lavadora Sistema Fosfato MN.....	69
Figura 17 - Fluxograma geral de atividades na Estamparia.....	71
Figura 18 - Fluxograma da Lavadora de ACME.....	72
Figura 19 - Fluxograma da Lavadora Durr.....	73
Figura 20 - Fluxograma da Lavadora SICOM ESTP.....	74
Figura 21 - Fluxograma da Lavadora de Pequenas Peças.....	75
Figura 22 - Fluxograma geral de atividades no Processo Final AE/AK/AZ.....	76
Figura 23 - Fluxograma da Lavadora Fosfato Final.....	78
Figura 24 - Fluxograma geral de atividade no Processo Final TP/RG/RK.....	81
Figura 25 - Fluxograma da Lavadora Túnel de Fosfatização.....	83
Figura 26:- - Fluxograma da máquina de pintura.....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Classificação Industrial Internacional Unificada (CIU) e os resíduos perigosos típicos gerados pela indústria.....	05
Tabela 02 - Exemplos selecionados de gestão e/ou auditoria ambiental realizadas no Brasil.....	10
Tabela 03 - Importância de produtos verdes por país.....	22
Tabela 04 - Resíduos típicos do acabamento de metais e suas fontes geradoras.....	38
Tabela 05 - Características dos despejos (A), concentrações limitantes para peixes (B) e padrões de emissão (C) .....	39
Tabela 06 - Volume de água requerido para o enxágüe de peças.....	41
Tabela 07 - Aplicações de tecnologias de recuperação de metais.....	45
Tabela 08 - Dados obtidos através de um teste de osmose reversa com seis efluentes de enxágües pós banhos de revestimento.....	47
Tabela 09 - Remoção de íons através de troca iônica das águas de enxágüe.....	48
Tabela 10 - Frequência do descarte realizado pela Banheira de Alta Pressão.....	77
Tabela 11 - Vazões de efluentes dos enxágües na Lavadora Sistema Fosfato MN.....	87

Tabela 12 - Vazões de efluentes dos enxágües das máquinas na Estamparia.....	88
Tabela 13 - Vazões de efluentes dos enxágües na Lavadora Fosfato Final.....	89
Tabela 14 - Vazões dos efluentes gerados pelos enxágües da Lavadora Túnel de Fosfatização.....	89
Tabela 15 - Volume de efluentes gerado durante a lavagem de tanques na Usinagem AE/AK/AZ.....	90
Tabela 16 - Volume de efluentes gerado durante a lavagem de tanques na Estamparia.....	92
Tabela 17 - Volume de efluentes gerado durante a lavagem de tanques no Processo Final AE/AK/AZ.....	93
Tabela 18 - Volume de efluentes gerado durante a lavagem de tanques no Processo Final TP/RG/RK.....	94
Tabela 19: Características dos efluentes da Lavadora de Bielas obtidas através da primeira caracterização.....	106
Tabela 20: Características dos efluentes da Lavadora de Cabeçotes I obtidas pela primeira caracterização.....	107
Tabela 21: Características dos efluentes da Lavadora de Cabeçotes II obtidas através da primeira caracterização.....	108
Tabela 22: Características dos efluentes da Lavadora ASVOTEC/USINA obtidas através da primeira caracterização.....	109

Tabela 23: Características dos efluentes da Lavadora de Parafusos obtidas através da primeira caracterização.....	110
Tabela 24: Características dos efluentes da Lavadora Sistema Fosfato MN obtidas através da primeira caracterização.....	111
Tabela 25: Características dos efluentes da Lavadora ACME obtidas através da primeira caracterização.....	113
Tabela 26: Características dos efluentes da Lavadora Durr obtidas através da primeira caracterização.....	114
Tabela 27: Características dos efluentes da Lavadora SICOM ESTP obtidas através da primeira caracterização.....	115
Tabela 28: Características dos efluentes da Lavadora de Pequenas Peças obtidas através da primeira caracterização.....	117
Tabela 29: Características dos efluentes das Banheiras de Alta e Baixa Pressão obtidas através da primeira caracterização.....	118
Tabela 30: Características dos efluentes da Lavadora Fosfato Final obtidas através da primeira caracterização.....	119
Tabela 31: Características dos efluentes da Banheira de Alta Pressão obtidas através da primeira caracterização.....	121
Tabela 32: Características dos efluentes da Lavadora Túnel de Fosfatização obtidas através da primeira caracterização.....	122
Tabela 33: Características dos efluentes da Lavadora de Cabeçotes I obtidas através da segunda caracterização.....	125

Tabela 34: Características da amostra composta pelos efluentes da Lavadora de Cabeçotes II, Lavadora de Bielas e do 1º estágio da Lavadora Sistema Fosfato Mn obtidas através da segunda caracterização.....	126
Tabela 35: Características dos efluentes da Lavadora ASVOTEC/USINA obtidas através da segunda caracterização.....	127
Tabela 36: Características da amostra composta pelos efluentes da Lavadora de Cabeçotes I obtidas através da segunda caracterização.....	128
Tabela 37: Características dos efluentes da Lavadora ACME obtidas através da segunda caracterização.....	129
Tabela 38: Características dos efluentes da Lavadora Durr obtidas através da segunda caracterização.....	131
Tabela 39: Características dos efluentes da Lavadora SICOM ESTP obtidas através da segunda caracterização.....	132
Tabela 40: Características dos efluentes da Lavadora DE Pequenas Peças obtidas através da segunda caracterização.....	133
Tabela 41: Características dos efluentes das Banheiras de Alta e Baixa Pressão obtidas através da segunda caracterização.....	135
Tabela 42: Características dos efluentes da Lavadora Fosfato Final obtidas através da segunda caracterização.....	136
Tabela 43: Características dos efluentes da Banheira de Alta Pressão obtidas através da segunda caracterização.....	137

Tabela 44: Características dos efluentes da Lavadora Túnel de Fosfatização obtidas através da segunda caracterização.....	139
Tabela 45: Características do efluente do enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP obtidas Tabela 46 segunda caracterização.....	140
Tabela 46: Características do efluente bruto do enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP.....	143
Tabela 47: Características do efluente do enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP tratado com 10mg de coagulante/L.....	144
Tabela 48: Características do efluente do enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP tratado com 50mg de coagulante/L.....	145
Tabela 49: Características do efluente do enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP tratado com 100mg de coagulante/L.....	146

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Hierarquia da US EPA para o gerenciamento de resíduos.....	13
Quadro 02 - Preocupação dos consumidores americanos sobre questões ambientais.....	21
Quadro 03 - Causas típicas da geração de resíduos em uma indústria.....	26

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
Cd	- Cádmio
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	- Cromo
Cu	- Cobre
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
Fe	- Ferro
ISO	- International Standardization Organization
Mn	- Manganês
Pb	- Chumbo
SFT	- Sólidos Fixos Totais
SS	- Sólidos Suspensos
Ssed	- Sólidos Sedimentáveis
SSF	- Sólidos Suspensos Fixos
SSV	- Sólidos Suspensos Voláteis
SVT	- Sólidos Voláteis totais
ST	- Sólidos Totais
TC	- "Technical Comittee"
US EPA	- "United States Environmental Protection Agency"
Zn	- Zinco

## RESUMO

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

Em consequência da constatação de que o tratamento de efluentes, método de controle de poluição, não é suficiente na resolução dos problemas ambientais causados pelo seu lançamento, seja no solo, na água ou no ar, surgem leis ambientais e sanções cada vez mais restritivas, que dificultam a disposição final de resíduos, aumentando as exigências e os custos para sua realização. Estas restrições, juntamente com o aumento da competitividade de mercado e das pressões da população, faz com que cresça uma consciência ambiental nas indústrias, que passam a buscar métodos mais eficazes e econômicos para minimizar e até mesmo não gerar efluentes, eliminando assim o problema antes que seja produzido. Sendo assim, este trabalho apresenta uma discussão sobre a prevenção de poluição industrial, através da implantação de programas de minimização de resíduos. São também mostrados os resultados de um estudo de caso realizado em uma indústria, onde foi realizado o acompanhamento do fluxograma do seu processo de produção, para a determinação das fontes geradoras de efluente líquido do acabamento de metais e a caracterização destes efluentes. De posse destes resultados, foi possível propor-se alternativas de prevenção à poluição, abrangendo técnicas de redução de efluentes na fonte geradora, bem como de reciclagem, de modo a se evitar a degradação ambiental e reduzir o consumo de água da indústria.

Palavras-chave: poluição industrial, efluentes líquidos, minimização, prevenção de poluição.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, C. A. A. *Industrial pollution prevention programme: case study in an industry metal finishing*. São Carlos, 1998. 152p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Because of the verification that the effluent treatment, method of pollution control, is not sufficient in solve environmental problems caused by the discharge of these effluents in the soil, water or air, new environmental regulations appear each time more restrictives, and make more difficult waste disposal, by raising the demand and the costs of it. These restrictions and the increase of market competition and society pressures results in a growth of an environmental conscience in industry, that begins to look for more effective and cheapper methods to minimize or even avoid waste generation, eliminating the problem before it is generated. Following this thought this work presents a discussion about industrial pollution prevention, by the implementation of waste minimization programmes. The results of a case study in an industry are also showed here. In this industry was made a study of its production process fluxogram to determine liquid effluent generation sources from the metal finishing and it was made also the characterization of these effluents. so that options of prevention could be proposed. With these results in hands, it was possible to sugest some pollution prevention alternatives, which included source reduction and recicle techniques, to avoid environment degradation and to minimize water consumption in the industry.

Keywords: industrial pollution, liquid effluents, minimization, pollution prevention

## 1-INTRODUÇÃO

A partir da Revolução Industrial iniciada na segunda metade do século XVIII e que durou até o século XIX, de acordo com VESENTINI (1996), houve um grande aumento da poluição ambiental que tem como principal fonte de lançamento de efluentes a indústria.

Sendo assim, o constante crescimento da população mundial e conseqüentemente de suas necessidades de consumo causam grandes danos ao meio ambiente, já que para suprir essas necessidades há um aumento da produção industrial, passando a indústria a consumir uma quantidade maior de água e a gerar cada vez mais efluentes líquidos.

Devido ao “meio ambiente ser o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas” (Brasil. Leis, etc. 1994) sua preservação, assim como sua recuperação, em caso de degradação, é de grande importância para que seja mantida uma boa qualidade de vida. Deve-se então, sempre que possível, buscar a minimização dos impactos ambientais que, conforme a Resolução CONAMA n. 1 (São Paulo, 1986a), são qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas que causem alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente.

✓ Conforme MENDONÇA (1991), as indústrias apresentam vazão descontínua e alta concentração dos despejos líquidos, que podem ser tóxicos e não-biodegradáveis, além de conter substâncias depletivas de oxigênio, objetáveis, corrosivas e até materiais radioativas, fazendo da poluição industrial um problema bastante complexo. Esse problema é ainda agravado, de acordo com BRAILE & CAVALCANTI (1993), especialmente em países subdesenvolvidos devido à necessidade de se providenciar métodos de controle ambiental seguros, econômicos, com a utilização de pessoal especializado, e cujas soluções, geralmente importadas, se adaptem às técnicas do país onde serão empregados.

O tratamento de efluentes líquidos é de grande importância para a redução da carga poluidora industrial, de modo a proteger a saúde pública e a minimizar os efeitos danosos causados ao meio ambiente (em especial os corpos d'água), onde sua disposição final é feita. Níveis mínimos de tratamento são estabelecidos, de forma que o efluente atenda aos padrões de emissão e qualidade do corpo receptor pela Resolução CONAMA nº 20 (São Paulo, 1986b).

Contudo, tratar efluentes não é medida suficiente para resolver os problemas ambientais causados por sua disposição final, que continua sendo necessária, já que não se evita a geração de resíduos. Estes são apenas transferidos de um meio para outro, de um local para outro.

Devido então ao alto custo de tratamento e disposição de resíduos, além da criação de legislação ambiental e sanções mais restritivas e à necessidade de se manterem competitivas no mercado, onde a cada dia procura-se mais os produtos “ambientalmente corretos”, pode-se observar o crescimento de uma consciência ambiental nas indústrias, que estão buscando constantemente a máxima redução na geração de resíduos.

Para o desenvolvimento, implementação e manutenção de uma política ambiental é necessário que a indústria estabeleça um sistema de gerenciamento ambiental. Este tipo de sistema tem como principal instrumento a auditoria ambiental e tem seus requisitos estabelecidos pela série de normas ISO 14.000.

Entre os programas e políticas que constituem um sistema de gerenciamento ambiental encontra-se o programa de prevenção à poluição ou minimização de resíduos, como também é chamado. Esta minimização, segundo a “United States Environmental Protection Agency”(US EPA), “inclui qualquer forma de diminuir a carga no tratamento, armazenamento ou disposição de resíduos perigosos, através de redução da quantidade ou toxicidade destes” (HIGGINS, 1989). A redução de resíduos na fonte geradora é a principal e mais eficaz forma de minimiza-los, sendo a reciclagem destes resíduos uma segunda opção, caso as técnicas de redução na fonte não se apliquem..

Para a implantação de um programa deste tipo, que pode trazer muitos benefícios a uma indústria, é necessário conhecer-se sua linha de produção para assim obter-se as fontes geradoras e os tipos de resíduos gerados por elas, sendo também o apoio e engajamento de todos os seus funcionários, desde a gerência aos operadores de máquinas, de grande importância para o sucesso do mesmo.

Visando fornecer subsídios para ações que preservem o meio ambiente e assim melhorem a qualidade de vida de todas as espécies, o presente trabalho abrange o estudo de alternativas para a redução de efluentes líquidos de uma indústria de acabamento de metais. Tem como objetivos:

- estudar o fluxograma do processo de produção industrial da Tecumseh do Brasil Ltda, localizada em São Carlos - SP, para determinar as fontes geradoras de efluente líquido;
- caracterizar os efluentes líquidos das fontes geradoras determinadas e
- sugerir alternativas de prevenção da poluição industrial.

## 2 - REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 - A poluição industrial e a necessidade de reduzi-la

✓ A constante busca por melhores padrões de qualidade de vida obriga o ser humano a utilizar cada vez mais de tecnologia. Essa tecnologia sendo utilizada de forma desordenada e sem planejamento causa modificações no meio ambiente, gerando assim, mais prejuízos que benefícios aos seus usuários.

De acordo com SHEN (1995) modificações físicas, químicas ou biológicas sofridas pelo meio ambiente são causadas pela poluição, que só existe devido à capacidade limitada do meio em absorver contaminantes.

✓ Apesar dos limites de absorção do meio ambiente não terem sido respeitados no passado, segundo VESENTINI (1996) o lançamento de efluentes (tendo como principal fonte a indústria) e, conseqüentemente a poluição, passaram a ser considerados um problema real a partir do início da industrialização e urbanização, que vieram com a Revolução Industrial, na segunda metade do século XVIII e século XIX. Isso porque o volume de poluentes gerados aumentou consideravelmente, superando a capacidade de autodepuração do meio ambiente.

A poluição industrial que degrada solo, ar e água, é um problema ambiental bastante complexo. Seus efluentes líquidos (estudados neste trabalho), conforme MENDONÇA (1991), podem conter substâncias depletivas de oxigênio, objetáveis, corrosivas, materiais radioativos e além de apresentarem vazão descontínua, podem ainda ser tóxicos e não-biodegradáveis. Sendo assim, quando feita sua disposição em corpos d'água sem que tenham recebido qualquer tratamento, causam sérios danos à vida aquática e aos consumidores destas águas.

SHEN (1995) diz que o volume e toxicidade dos resíduos dependem do tipo de processo industrial. Na tabela 01 são apresentados alguns tipos de indústria e os resíduos gerados por elas.

Tabela 01: Classificação Industrial Internacional Unificada (CIU) e os resíduos perigosos típicos gerados pela indústria

Descrição	Resíduos típicos gerados
Têxtil	Solventes residuais, resíduos de tintas e acabamentos, óleos.
Couro e produtos de couro	Lodo curtido, graxas, óleos, lodo de tratamento de águas residuárias, solventes halogenados e não halogenados.
Madeira e produtos de madeira	Solução misturada alcalina e ácida, lodo de sedimento de fundos 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, sedimentos de fundos 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, fenóis, resinas líquidas, ácidos, resíduos de bactérias e biológicos, resíduos animais e sanguíneos, resíduos infecciosos, lodos de pintura, resíduos de praguicidas.
Produtos petrolíferos	Lodos e soluções alcalinas, catalizadores usados, ácidos, sólidos inorgânicos, óleos residuais, solventes halogenados e não halogenados, fenóis, substâncias cáusticas.
Borracha e plástico	Óleos de processos aromáticos, solventes halogenados e não halogenados, sólidos e lodos fenólicos, óleos residuais, resíduos de pintura, plásticos, resinas.

✓  
Tabela 01: Classificação Industrial Internacional Unificada (CIU) e os resíduos perigosos típicos gerados pela indústria

<b>Descrição</b>	<b>Resíduos típicos gerados</b>
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, lodo de pinturas, lodo 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, lodo de metais pesados.
Transporte	Óleos residuais, lodo 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)

A complexidade do problema da poluição industrial é ainda maior nos países subdesenvolvidos, onde, informa VESENTINI (1995), a mão-de-obra é mais barata e as leis ambientais não são tão rígidas, tendo dado espaço para a transferência de indústrias de diversos tipos, nos anos de 70 e 80 dos países desenvolvidos para estes.

Não só nos países subdesenvolvidos, mas também nos desenvolvidos, além de degradar o meio ambiente, afetando a qualidade de vida de qualquer espécie,

SHEN (1995) diz que a poluição industrial também afeta a economia, tendo os Estados Unidos da América gasto, em 1991, cerca de 100 bilhões de dólares com seu controle.

Há então uma busca constante por métodos que sejam cada vez mais eficazes e econômicos no combate à poluição.

Pesquisas têm sido feitas e têm mostrado que nos dias atuais a idéia de controle da poluição não é medida suficiente neste combate. Sendo assim, as atenções voltaram-se para a prevenção desta poluição, cuja ideia principal é a mínima geração ou mesmo, quando possível, a não geração de resíduos, medida mais segura para não lançá-los ao meio ambiente.

## 2.2 - Sistema de gerenciamento e auditoria ambiental

Um sistema de gerenciamento ambiental é a parte do sistema de gerenciamento geral responsável, de acordo com <sup>1</sup>SILVA et al (1996), pelo desenvolvimento, implementação, execução, avaliação e manutenção da política ambiental em uma companhia.

Conforme JUCHEM (1995), um sistema deste tipo é constituído de políticas, programas e práticas administrativas e operacionais que visam minimizar os impactos ambientais que decorram do planejamento, implantação, operação, ampliação, realocação ou desativação de quaisquer empreendimentos ou atividades. Cita ainda alguns objetivos de uma gestão ambiental:

- gerir políticas, diretrizes e programas ambientais;
- produzir serviços e produtos ambientalmente compatíveis;
- informar acionistas, fornecedores e consumidores sobre as atividades ambientais da companhia e

---

<sup>1</sup> SILVA, S. L.; STEVÃO, N. A.; DUARTE, R. R. (1997). *Sistemas de gerenciamento ambiental - ISO 14.000 (DIS) - Especificações e guia para uso*. Trabalho apresentado à disciplina SHS 715 - Gerenciamento de Resíduos Sólidos, do Programa de Mestrado do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

- subsidiar campanhas institucionais para a preservação do meio ambiente.

Um instrumento da gestão ambiental é a auditoria que, de acordo com KNAPP & CLÁUDIO (1991), avalia o sistema de gerenciamento de forma sistemática, documentada, periódica e objetiva, com o intuito de garantir a proteção do meio ambiente.

CAJAZEIRA (1997) diz que as auditorias ambientais podem ser de primeira parte, quando a própria companhia a ser auditada a realiza, de segunda parte, quando efetuada por uma organização sobre a outra, ou de terceira parte, quando um grupo independente a executa.

SHEN (1995) cita como vantagens de uma auditoria o conhecimento de funcionários e processos, a identificação de problemas e áreas de risco no processo de produção e o estímulo que dá ao melhoramento do desempenho ambiental de uma companhia.

Segundo este mesmo autor, os passos básicos de uma auditoria ambiental são os apresentados na figura 01.

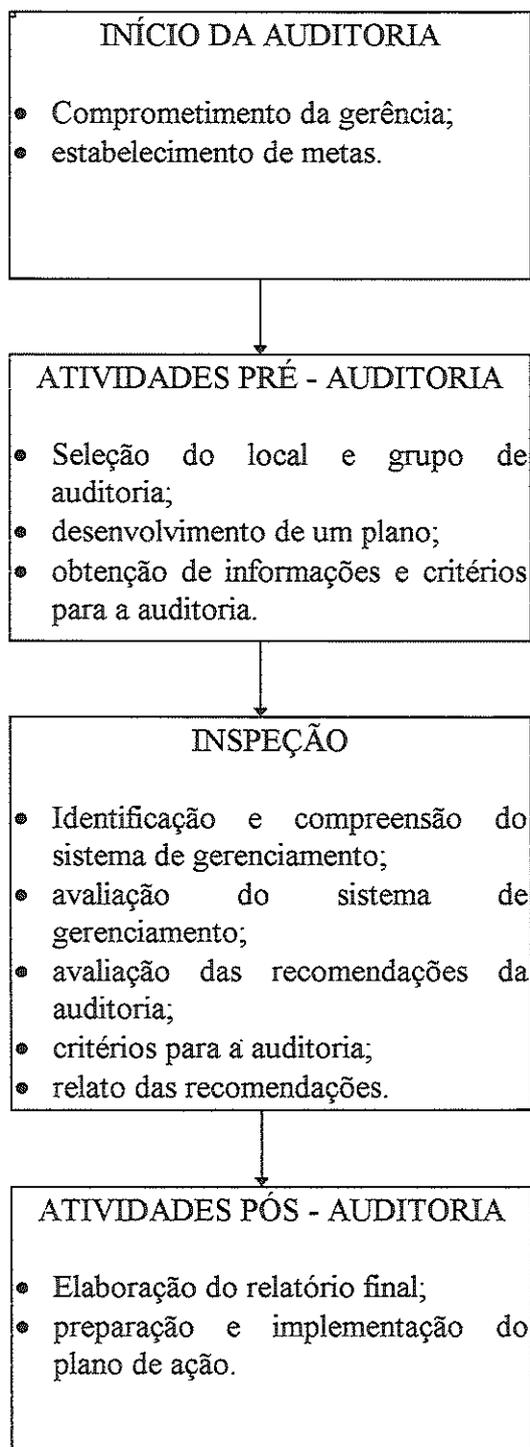


Figura 01: Passos básicos de uma auditoria ambiental.

Fonte: SHEN (1995).

Um dos passos finais da auditoria, o relatório final, deve conter, conforme CARVALHO et al (1996): identificação da área ou atividade que foi auditada, dos responsáveis e do grupo de auditoria, ocasião da auditoria, seus objetivos, padrão de referência adotado, resumo dos resultados, constatações, conclusões e recomendações.

Na tabela 02 encontram-se exemplos de empresas com gestão ambiental ou auditadas.

Tabela 02: Exemplos selecionados de gestão e/ou auditoria ambiental realizadas no Brasil

<b>Empresa</b>	<b>Setor</b>	<b>Motivo/objetivo</b>
Aracruz	papel e celulose	Obter recursos financeiros junto à Bolsa de Valores de Nova York e convencer os investidores da consciência ambiental da empresa.
Fiobel	têxteis	Convencer os clientes da consciência ambiental da empresa e obter certificação ambiental segundo exigências européias e americanas.
Embraco	refrigeração	Substituir a matéria-prima, o gás clorofluorcarbono (CFC), atender às exigências dos clientes, antecipando-se a elas e melhorar imagem no mercado.
Vale do Rio Doce	minerais	Evitar vetos de quem busca produtos ambientalmente corretos e criar um departamento responsável por auditorias ambientais.

Tabela 02: Exemplos selecionados de gestão e/ou auditoria ambiental realizadas no Brasil

Empresa	Setor	Motivo/objetivo
Heublein	bebidas	Seguir normas internacionais de preservação do meio ambiente de acordo com a matriz inglesa.
Johnson & Johnson	saúde	Atestar o cumprimento de metas ambientais da companhia

Fonte: <sup>2</sup>PACHECO apud JUCHEM (1995).

### 2.3 - ISO 14.000: requisitos para sistemas de gerenciamento ambiental

A “International Standardization Organization”, ISO, sediada em Genebra, foi fundada em 1947, como informa <sup>3</sup>SILVA et al (1996), tendo começado a se preocupar com questões ambientais apenas a partir de 1971. No entanto, foi com o sucesso das normas de qualidade (série ISO 9.000) e após a realização da ECO Rio 92 no Brasil, que foi criado em 1993 um comitê técnico, o TC - 207, para desenvolver a série de normas técnicas ISO 14.000 que apresenta padrões para o gerenciamento ambiental.

O TC - 207 é formado por seis subcomitês e um grupo de trabalho especial, como informa CAJAZEIRA (1997). São eles: Sistema de Gerenciamento Ambiental; Auditoria e Investigações Ambientais; Rotulagem Ambiental; Desempenho Ambiental; Ciclo de Vida; Termos e Definições e finalmente, o grupo de trabalho

<sup>2</sup> PACHECO, O. (1993). O cliente é o rei. E o mico-leão também. *Exame*. v.25, n. 22, out. São Paulo apud JUCHEM, P. A. (1995). *Introdução à gestão, auditoria e balanço ambiental para empresas*. FAE/CDE. Curitiba.

<sup>3</sup> SILVA, S. L.; STEVÃO, N. A.; DUARTE, R. R. (1997). *Sistemas de gerenciamento ambiental - ISO 14.000 (DIS) - Especificações e guia para uso*. Trabalho apresentado à disciplina SHS 715 - Gerenciamento de Resíduos Sólidos, do Programa de Mestrado do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

especial Aspectos Ambientais das Normas e Produtos. São liderados respectivamente pelo Reino Unido, Holanda, Austrália, Estados Unidos, França, Noruega e Alemanha.

Este mesmo autor diz que o Brasil tem uma boa participação no TC - 207 e que através da competente articulação do Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (GANA) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conseguiu o respeito da comunidade internacional.

Conforme <sup>4</sup>PERRONE (1996), constituem a série ISO 14.000 as normas ISO 14.001, a única que certifica a qualidade ambiental às empresas, ISO 14.004, diretrizes de princípios, sistemas e técnicas de suporte, ISO 14.010 a 14.012, diretrizes para auditorias ambientais, ISO 14.020 a 14.024, princípios gerais de rotulagem ambiental, ISO 14.040 a 14.043, definição da avaliação do ciclo de vida dos produtos e ISO 14.050, padronização de termos utilizados na gestão ambiental.

HAKLIK (1997) informa que apesar de alguns países e companhias estarem bastante interessados na série ISO 14.000 e desejarem a certificação rapidamente, outros têm certo receio em relação a estas normas e preferem esperar para conhecer seus reais benefícios e saber se realmente será utilizada como requisito para negócios internacionais.

#### **2.4 - Prevenção à poluição: conceito e técnicas**

De acordo com BENFORADO et al (1991), tradicionalmente, têm sido utilizadas soluções “fim-de-tubo”, como o tratamento de efluentes, para correção de problemas ambientais, lidando com a poluição gerada. No entanto, estas soluções, ou seja, o controle da poluição, apenas transfere resíduos de um meio para outro, ou de um local para outro, não resolvendo o problema ambiental causado por eles.

Surge então, a Prevenção à Poluição, um conceito que tem sido bastante difundido atualmente, justamente por ter como objetivo a máxima redução, e

---

<sup>4</sup> PERRONE, E. C. (1996). *ISO 14.000 A Certificação Ambiental*. Página elaborada para o Informativo Ambiental (INFAM), Departamento de Biologia - UFES.

até mesmo, quando possível, a não geração de resíduos, através da minimização de seu volume e de sua toxicidade.

“Prevenção à poluição é a chave para a competitividade industrial e saúde ambiental, para a prosperidade sem poluição.” (BREEN & DELLARCO, 1991).

Apesar de parecer que a prevenção vem para substituir o controle de poluição, MOONEY (1992) diz que os melhores resultados para o ambiente são obtidos através de uma boa combinação dos dois métodos.

A prevenção à poluição não é um conceito novo, no entanto, o mundo só o vem realmente utilizando há pouco tempo. Conforme SHEN (1995), foi em 1976, durante a primeira Comissão Econômica das Nações Unidas para o Seminário Europeu, em Paris, que surgiu o termo, após o Dr. Joseph Ling da Companhia 3M ter falado sobre um novo programa de “Pagamentos da Prevenção à Poluição”. Redução no lançamento de resíduos no meio ambiente e também no custos de produção foram obtidos pelos avanços tecnológicos e de gerenciamento nos quais se baseava este programa.

Segundo o Ato de Prevenção à Poluição passado em 1990 pelo Congresso dos Estados Unidos da América, citado por SHEN (1995), a prevenção à poluição significa redução de resíduos na fonte geradora. Quando não há viabilidade de aplicação desta alternativa, devem ser considerados e utilizados a reciclagem, o tratamento e, em último caso, a disposição final de resíduos.

No quadro 01 são apresentadas algumas definições.

#### Quadro 01: Hierarquia da EPA para o gerenciamento de resíduos

**Redução na fonte** significa a redução ou eliminação de resíduo na fonte, geralmente em um processo. As medidas incluem modificações no processo, substituição de matéria-prima, melhoramento na purificação de matéria-prima, na prática de manejo, aumento da eficiência da maquinaria, e reciclagem no processo. Reduzir na fonte é evitar resíduos.

Quadro 01: Hierarquia da EPA para o gerenciamento de resíduos

**Reciclagem** é o uso ou reuso de resíduos perigosos como um substituto efetivo para um produto comercial ou como um ingrediente de matéria-prima em um processo industrial. Inclui a recuperação de frações úteis de constituintes ou a remoção de contaminantes de um resíduo para que este possa ser utilizado. Reciclagem pode ocorrer no local de geração ou fora dele.

**Tratamento** é qualquer método, técnica ou processo que modifique as características físicas, químicas ou biológicas de um resíduo perigoso de modo a neutralizá-lo, a recuperar energia ou recursos materiais deste resíduo, ou a devolvê-lo ao meio como resíduo não perigoso, menos perigoso, seguro para manejo, acessível para ser recuperado, armazenado ou reduzido em volume

**Disposição** é a descarga, deposição, injeção de resíduos perigosos dentro ou sobre qualquer terreno ou corpo d'água, de modo que o resíduo ou quaisquer dos seus constituintes possam entrar no ar ou ser descarregados em quaisquer águas, inclusive as subterrâneas.

Fonte: COMELLA e RITTMAYER (1990)

A figura 02 ilustra técnicas de prevenção à poluição, que de acordo com FREEMAN (1990), para que sejam cada vez mais eficientes e economicamente viáveis devem ser utilizadas em conjunto, podendo ser aplicadas em muitos estágios do processo industrial.

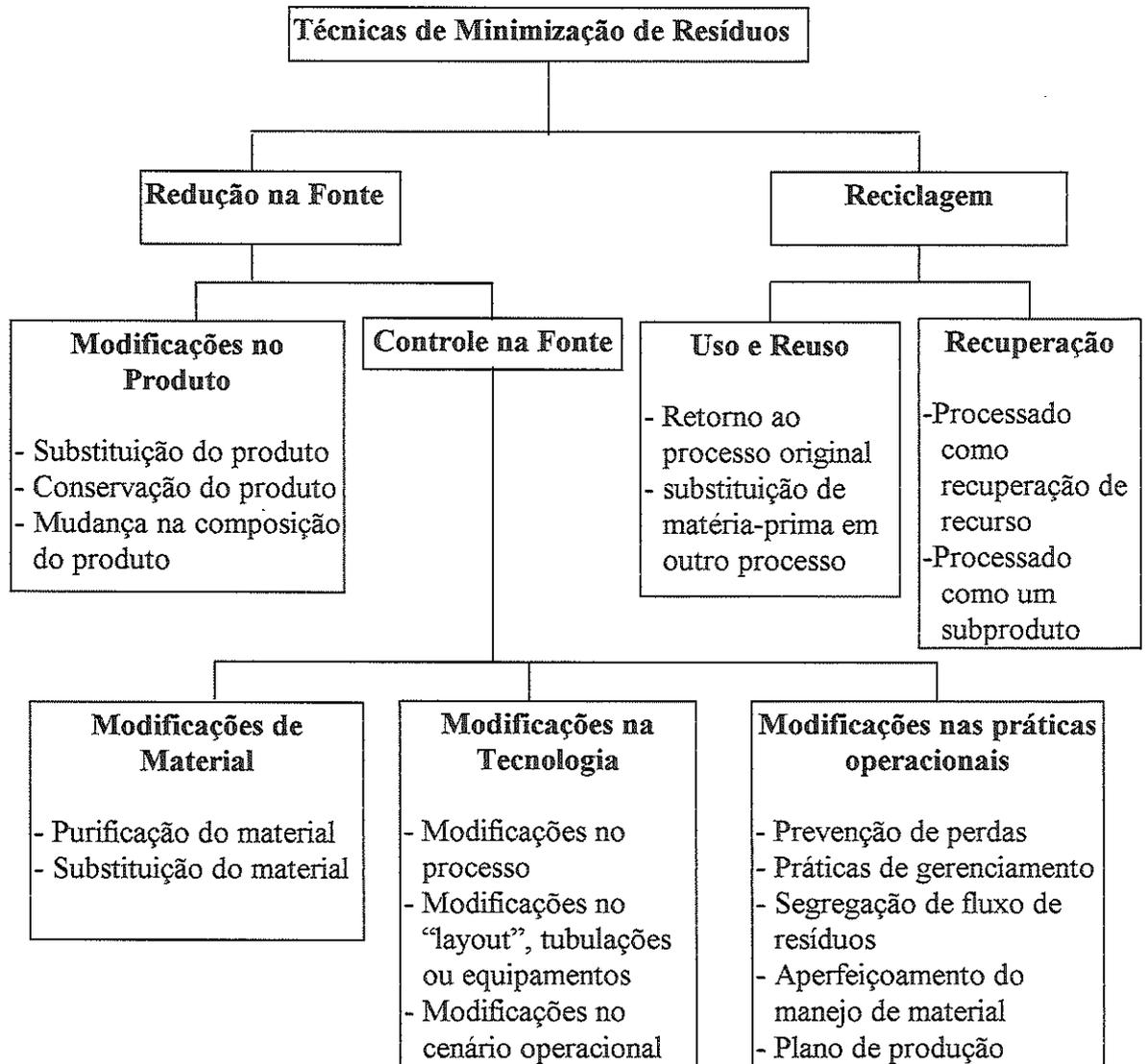


Figura 02: Técnicas de minimização de resíduos

Fonte: FREEMAN (1990)

## **Redução na fonte**

### **Modificações de Material**

As modificações de material utilizado na elaboração do produto final, purificação ou substituição, são realizadas com o intuito de reduzir ou eliminar a entrada de impurezas e inertes no processo, que constituem resíduos, e evitar a geração destes durante a produção.

Segundo THEODORE & McGUINN (1992), a substituição de um material mais perigoso por outro menos perigoso é a técnica mais segura, por produzir menos poluentes, satisfazendo as especificações do produto.

### **Modificações na tecnologia**

A tecnologia pode sofrer pequenas modificações que são de implementação rápida e de baixo custo, ou modificações maiores, envolvendo alterações no processo de produção, implicando em custos elevados.

As modificações na tecnologia, como pode ser visto na figura 01, abrangem modificações no processo, que inclui o uso, conforme SHEN (1995), de tecnologia mais avançada, catalisadores químicos para induzir reações mais completas gerando menos resíduos, segregação e separação de resíduos, evitando assim que os não tóxicos sejam contaminados pelos que o são. Também são utilizadas, segundo THEODORE & McGUINN (1992), modificações nos equipamentos, tubulações e “lay-out” da indústria, além de modificações nas condições de processo, ou seja, no modo como os equipamentos operam no processo, incluindo ajustes na temperatura, pressão, vazão e parâmetros de tempo de residência.

### **Modificações nas práticas operacionais**

Segundo THEODORE & McGUINN (1992), as modificações nas práticas operacionais envolvem funções gerenciais, organizacionais e de pessoal da produção. Além de serem técnicas de baixo custo de capital, apresentam um bom retorno de investimento e podem ser aplicadas em todas as áreas de uma indústria, seja ela de grande, médio ou pequeno porte.

MATOS (1997) cita os seguintes elementos como componentes destas modificações:

- implementação de programas de minimização de resíduos;
- aperfeiçoamento no manejo de materiais através de treinamento de pessoal para que os estoques e manuseem adequadamente;
- prevenção de perdas evitando-se transbordamentos e vazamentos;
- segregação de resíduos;
- redução da frequência de limpeza de equipamentos e tanques através da otimização da escala de produção em batelada e
- adoção de programa de treinamento e educacional dos funcionários, para que estes fiquem mais conscientes da necessidade da redução de resíduos e assim apoiem o programa de minimização.

### **Modificações no produto**

As modificações no produto são realizadas com o intuito, conforme THEODORE & McGUINN (1992), de minimizar os resíduos relacionados com seu uso. Os produtos podem ser conservados, o que envolve o modo como são utilizados; substituídos, ou seja, um novo produto é projetado ou reformulado, quando substâncias menos poluentes, ou mesmo não poluentes passam a ser utilizadas na sua produção.

## **Reciclagem**

Apesar da reciclagem ser a segunda opção que deve ser considerada para a prevenção de poluição e de permitir que resíduos sejam utilizados com objetivos benéficos, THEODORE & McGUINN (1992) dizem que esta tecnologia de minimização aumenta a responsabilidade dos geradores em virtude dos materiais envolvidos que necessitam ser gerenciados e manejados.

## **Uso e reuso**

O uso e reuso de materiais pode ser conseguido com a utilização destes no mesmo processo de origem ou em outros processos.

Segundo THEODORE & McGUINN (1992) a composição química, disponibilidade e efeito no processo de reuso devem ser considerados para se conhecer o potencial de reuso de um resíduo. Além disso, deve-se verificar se seu valor econômico justifica a modificação de um processo para acomodar este resíduo.

## **Recuperação**

Esta técnica envolve a recuperação de um composto do resíduo que possa ser reutilizado no mesmo processo onde foi gerado ou em outro processo. A recuperação pode ser realizada na indústria geradora ou fora dela.

SHEN (1995) cita como vantagens da reciclagem feita na indústria geradora a redução de custos unitários de sua realização, a redução de custos e responsabilidades de transporte do material reciclado e o controle de sua pureza. As desvantagens estão na necessidade de capital para a aquisição dos equipamentos de reciclagem, na responsabilidade com a saúde dos funcionários, incêndios, explosões e em

outros riscos devidos à utilização inadequada dos equipamentos e a custos adicionais de operação.

A recuperação é realizada fora da indústria geradora, dizem THEODORE & McGUINN (1992), quando o resíduo após ser recuperado não puder ser reutilizado no processo, ou quando se apresentar em quantidade insuficiente para a realização da reciclagem.

## 2.5 - Implantação de um programa de prevenção à poluição nas indústrias

### 2.5.1 - Necessidade de implantação

Muitos processos industriais, conforme SHEN (1995), podem gerar resíduos e algumas das fontes geradoras são: operação de produção de rotina; manejo e acidentes; estocagem, entre outros.

Na figura 03 encontra-se ilustrado um processo industrial típico.

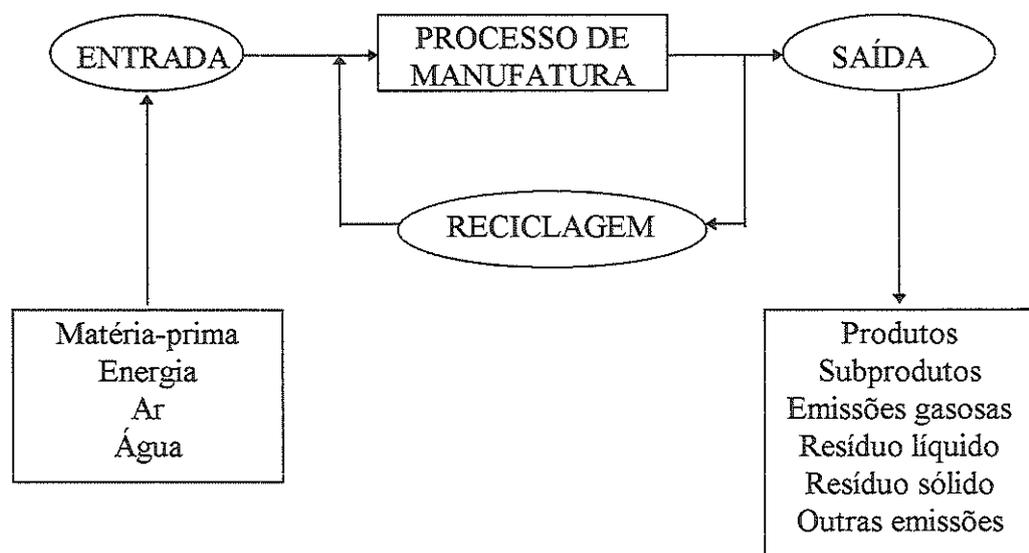


Figura 03: Processo industrial típico

Fonte: SHEN (1995)

Segundo BRINGER (1989), até alguns anos atrás os resíduos dos processos industriais, removidos e dispostos rapidamente da forma mais conveniente e econômica, eram considerados pela indústria como algo inevitável, apesar de indesejáveis.

No entanto, afirma este mesmo autor, há algum tempo vem surgindo uma consciência ambiental nas indústrias devido a pressões como:

- alto custo de disposição dos resíduos;
- pagamento de taxas pela geração de resíduos;
- pressões populares;
- reconhecimento da esgotabilidade dos recursos ambientais;
- ênfase na qualidade do produto e
- competitividade no mercado.

As pressões populares e a competitividade no mercado sofridas pela indústria são traduzidas na constante busca, nos dias atuais, de produtos “ambientalmente corretos”. OTTMAN (1994) diz que a população está cada vez mais preocupada com o impacto ambiental que os produtos consumidos por ela podem causar no meio ambiente. E sendo assim, a indústria que não procurar tornar seus produtos mais seguros e saudáveis ambientalmente, certamente perderá seu lugar no mercado para outras que apresentarem esta preocupação.

O quadro 02 mostra como os consumidores Americanos vêem o problema da poluição e a tabela 03 apresenta o aparecimento de “produtos verdes”(ambientalmente seguros e saudáveis) em diversos países.

Quadro 02: Preocupações dos consumidores americanos sobre questões ambientais

<b>Para o país como um todo a poluição é:</b>	
Um problema sério que está piorando	84%
Não tão sério	11%
Não é um grande problema	3%
Não sei, nenhuma resposta	2%
<b>Comparando com há 20 anos, o ar que você respira é:</b>	
Mais limpo	6%
Mais poluído	75%
Mais ou menos a mesma coisa	17%
Não sei, nenhuma resposta	2%
<b>Comparado com há 20 anos, os lagos, rios e riachos americanos são:</b>	
Mais limpos	8%
Mais poluídos	80%
Mais ou menos a mesma coisa	10%
Não sei, nenhuma resposta	3%

Fonte: <sup>5</sup>The New York Times/CBS News Poll apud OTTMAN(1994).

<sup>5</sup> The New York Times/CBS News Poll (1990) apud OTTMAN, J. A. (1994). *Marketing verde. Desafios e Oportunidades para a nova era do marketing*. Makron Books. São Paulo.

Tabela 03: Importância de produtos verdes por país

País	Total de lançamentos de produtos verdes por ano					
	1986	1987	1988	1989	1990	1991
<b>Canadá</b>	2,0%	0,6%	1,1%	4,6%	16,4%	33,9%
<b>Austrália</b>	0,3	-	2,9	3,1	12,3	5,1
<b>Europa*</b>	0,7	0,9	0,7	2,4	5,7	3,2
<b>Japão</b>	0,2	0,7	1,6	1,8	1,5	0,8
<b>África do Sul</b>	0,5	-	1,1	4,4	6,1	6,1
<b>Reino Unido</b>	0,9	2,4	4,0	8,3	10,8	7,2
<b>Estados Unidos</b>	1,1	2,0	2,8	4,5	11,4	13,4

\*Dinamarca, França, Alemanha, Itália

Fonte: <sup>6</sup>Marketing Intelligence Service Ltda. apud OTTMAN(1994).

A implantação de um programa de prevenção à poluição é claramente necessária, já que assim a indústria poderá resolver grande parte de seus problemas, recebendo diversos benefícios.

### 2.5.2 - Etapas de um programa de prevenção

Reconhecida a necessidade de prevenir a poluição gerada pela indústria é chegada a hora de implantar um programa deste tipo, que se encontra dividido em quatro fases ilustradas na figura 04.

<sup>6</sup> Marketing Intelligence Service Ltda., Naples, Nova Iorque (1992) apud OTTMAN, J. A. (1994). *Marketing verde. Desafios e Oportunidades para a nova era do marketing*. Makron Books. São Paulo.

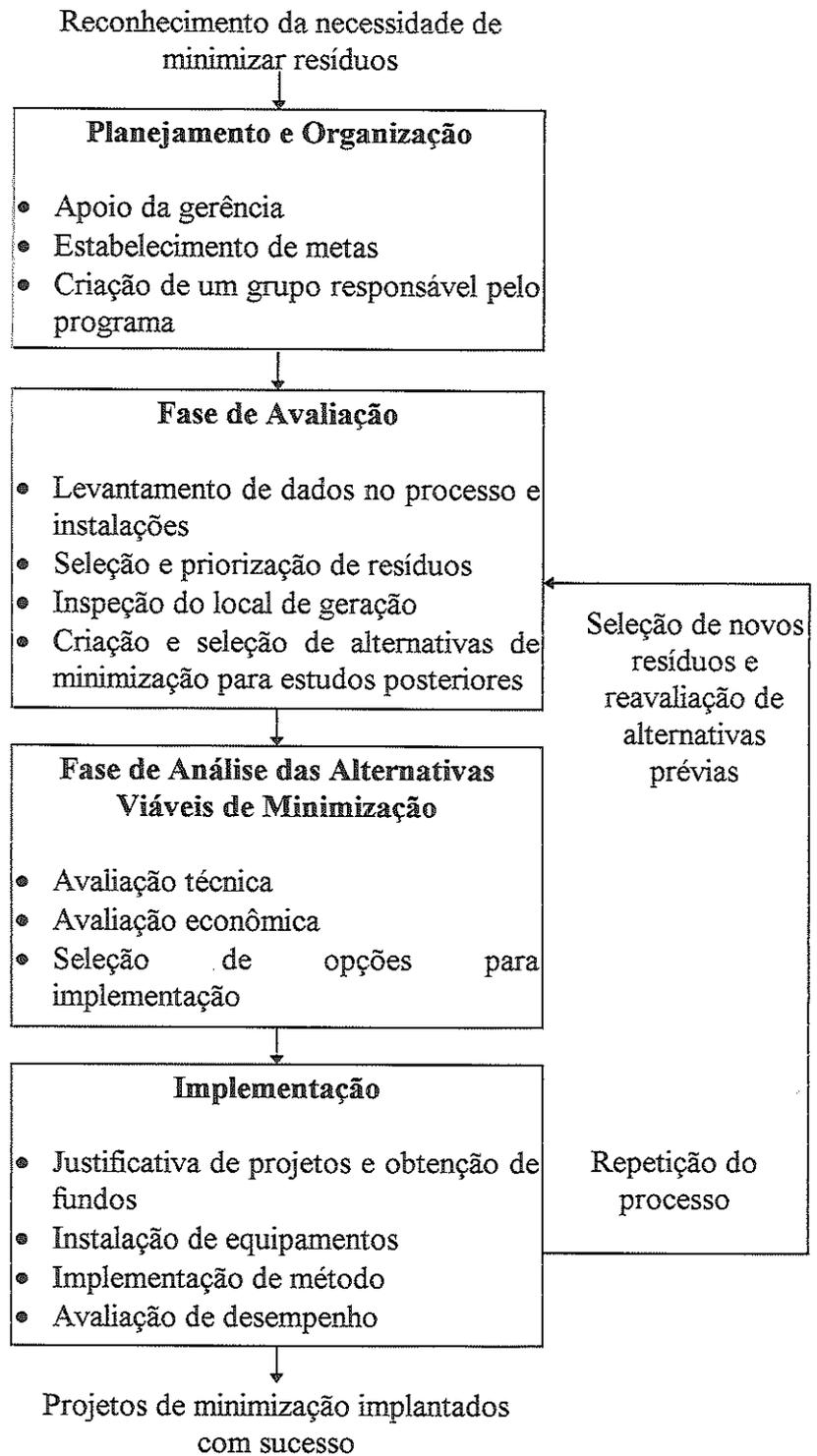


Figura 04: O processo de avaliação da minimização de resíduos.  
Fonte: NEWTON (1990).

### **Fase de planejamento e organização**

A primeira etapa da fase de planejamento e organização é, como diz NEWTON (1990), a de assegurar o apoio da gerência ao programa de prevenção à poluição, o que se obtém fazendo-a reconhecer os benefícios trazidos por este à indústria que o implementar.

Ainda segundo NEWTON (1990), é a gerência a responsável por criar uma política de compromisso dos funcionários da indústria com o programa, podendo para conseguir seu apoio e participação utilizar-se de bônus, prêmios, reconhecimentos, entre outros tipos de incentivos.

THEODORE & McGUINN (1992) afirmam que após ser realmente determinado que a indústria implantará um programa de prevenção, deve-se criar um grupo formado por pessoas de todos os departamentos, que tenham interesse nos resultados do programa, cujas responsabilidades, são citadas por FREEMAN (1990):

- estabelecer as metas gerais do programa;
- despertar o interesse de todos na organização para a minimização de resíduos;
- priorizar fluxos de resíduos;
- conduzir ou monitorar a análise técnica e econômica das opções mais viáveis de minimização, selecionando-as para implementação e monitorando sua atuação no processo e
- obter fundos para implementação.

A prioridade deste grupo é o estabelecimento de metas que devem ser revistas periodicamente, pois podem modificar-se com o progresso do programa.

SHEN (1995) diz que essas metas devem ser aceitas e entendidas por aqueles que tentarão alcançá-las, além de serem adaptáveis a quaisquer mudanças que possam ocorrer. Devem ainda estar de acordo com as metas gerais e ser avaliadas com facilidade ao longo do tempo.

### **Fase de avaliação**

Obtido o apoio da gerência, formado o grupo de avaliação e traçadas as metas gerais do programa, pode-se passar à fase de avaliação, cujo objetivo é desenvolver alternativas de prevenção à poluição.

Conforme NEWTON (1990), esta fase inicia-se com a coleta de informações, entre as quais encontram-se:

- diagramas de fluxo;
- balanços de material e de energia;
- manuais de operação;
- relação de emissões;
- relação de matérias-primas e produtos;
- registro de custos;
- plano de produção e
- composição do produto.

As informações mais importantes necessárias a esta avaliação são, de acordo com o mesmo autor, o fluxo de resíduos, o diagrama de fluxo e o balanço de massa.

NEWTON (1990) comenta ainda que para se priorizar o fluxo de resíduos devem ser feitas algumas considerações, tais como:

- custo de tratamento e disposição;
- quantidades nos fluxos de resíduos;
- considerações de segurança a cerca dos resíduos;
- facilidade de implementação dos métodos de minimização e
- potencial para recuperação de subprodutos.

Segundo FREEMAN (1990) é através do diagrama de fluxo que são conhecidas as fontes geradoras de resíduos. O balanço de massa quantifica as perdas ou emissões, além de fornecer dados para se estimar o tamanho e custo de equipamentos

adicionais, dados para se avaliar a atuação econômica para o progresso dos esforços da minimização.

Muito importante também, nesta fase do programa, conforme THEODORE & McGUINN (1992), é uma inspeção da indústria e suas instalações, desde o ponto onde entra a matéria-prima, até onde saem os resíduos, de modo que o grupo de avaliação entenda todo o processo de produção e assim, as causas da geração de resíduos.

No quadro 03 são apresentadas algumas causas desta geração.

Quadro 03: Causas típicas da geração de resíduos em uma indústria

<u>Origem</u>	<u>Causa</u>
Reação química	Reação incompleta formação de subprodutos água como um subproduto reagente
Matéria-prima não utilizada	Matéria-prima obsoleta
Limpeza do processo	Formação de depósitos uso de agentes químicos para limpeza uso de água para enxágüe do produto
Limpeza de partes de metal	Uso de solventes descarte de lodo
Transbordamento e vazamento	Manutenção imprópria transferência inadequada de material manejo inadequado de material

Fonte: NEWTON (1990) (Adaptado)

Os mesmos autores dizem que conhecidas as origens e causas dos resíduos, parte-se então para a criação de alternativas de minimização, obedecendo-se a

hierarquia da US EPA onde a redução na fonte deve ser a primeira consideração, seguida pela reciclagem, tratamento e só quando realmente indispensável, a disposição final.

Conforme MOONEY (1992) para que uma alternativa seja implementada deve-se verificar se esta pode apresentar:

- redução na quantidade, toxidade, inflamabilidade, reatividade e outros perigos dos resíduos;
- redução de custos de matéria-prima, de tratamento e disposição de resíduos, de responsabilidades e segurança;
- baixos custos de capital, operação e manutenção e
- facilidade de implementação, além de curto período para fazê-la.

### **Fase de análise das alternativas viáveis de minimização**

Conforme NEWTON (1990), nesta fase do programa as alternativas que foram consideradas potencialmente capazes de minimizar resíduos e custos na fase anterior são analisadas quanto a sua viabilidade técnica e econômica.

De acordo com o mesmo autor a análise técnica é realizada com o objetivo de se determinar se uma opção de minimização irá trabalhar corretamente e apresentar resultados satisfatórios no local em que for aplicada. Para a realização desta análise alguns elementos devem ser considerados, tais como: segurança dos trabalhadores, necessidade de manutenção, necessidade de espaço, compatibilidade com operações existentes, treinamento de operadores, entre outros.

THEODORE & McGUINN (1992) dizem que se através desta análise for verificada qualquer alteração da produção devido à implantação de uma alternativa, a qualidade do produto deverá ser verificada.

Passando pela avaliação técnica, NEWTON (1990) afirma que as opções que sobram têm sua viabilidade econômica avaliada, utilizando-se análises de rentabilidade como medidas de lucro, período de retorno do investimento, entre outras.

Esta nova avaliação inclui custos de capital e de operação. Os primeiros compreendem custos de compra de equipamentos e material, de construção, de engenharia e treinamento. Os custos de operação representam economias conseguidas com a redução dos custos de disposição de resíduos, de aquisição de matéria-prima, de segurança e responsabilidades, além de modificações nos custos de operação e manutenção.

Novamente de acordo com THEODORE & McGUINN (1992), algumas opções de minimização não apresentam custo de capital o que faz com que possam ser implementadas o mais rápido possível.

Segundo eles, a avaliação econômica pode variar de empresa para empresa, já que cada uma tem seu próprio critério para realiza-la.

Conforme o <sup>7</sup>POLLUTION prevention benefits manual apud MATOS (1997), um método de avaliação sugerido pela US EPA consiste na comparação dos resultados da taxa de retorno esperada, do fluxo de caixa e do capital economizado anualmente tanto para a situação já existente na empresa como para a que ocorreria com a implementação das modificações sugeridas.

Finalizada esta avaliação, segundo NEWTON (1990) é então elaborado um relatório contendo o resumo das alternativas que restaram e só após a aceitação deste, parte-se para a fase de implementação.

### **Fase de implementação**

THEODORE & McGUINN (1992) comentam que o passo inicial desta fase é a obtenção de fundos, através de financiamento particular ou governamental,

---

<sup>7</sup>POLLUTION PREVENTION BENEFITS MANUAL. (1989). US EPA/230/R-89/100 apud MATOS, S. V. (1997). *Proposta de minimização de resíduos sólidos industriais: estudo de caso com areia de fundição*. São Carlos. 107p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

para a implementação das alternativas de minimização de resíduos que foram consideradas viáveis por todas as avaliações a que foram submetidas.

De posse do apoio financeiro, pode-se então partir para a elaboração de um projeto detalhado do sistema onde ocorrerão as modificações. Após a construção do que foi projetado, os equipamentos podem ser instalados e os funcionários que os operarão, treinados.

Com o intuito de verificar a efetividade das opções implementadas e assegurar que o projeto proposto realmente atingiu seus objetivos, deve ser feito o monitoramento das primeiras opções.

Finalmente estes autores dizem que não é porque uma opção de minimização já está em funcionamento e dando bons resultados que o programa de prevenção à poluição deve permanecer estagnado, sem modificações. Este é um programa que está sempre em movimento e deve-se então partir para a identificação de outros pontos de geração para que assim se consiga a máxima redução de resíduos na mesma indústria.

Segundo NEWTON (1990), devido a possíveis modificações na matéria-prima, nas necessidades de produção, nos custos de gerenciamento, nas regulamentações e outros, devem ser feitas novas avaliações ao menos uma vez por ano.

### **2.5.3 - Barreiras que devem ser vencidas para que o programa de prevenção seja implementado**

De acordo com FLORES (1991), as barreiras ou impedimentos que devem ser superados para que um programa de prevenção seja implementado em uma indústria podem ser dispostos em quatro categorias: institucional, econômica, técnica e comportamental.

Estes impedimentos estão associados à falta de guias específicos para auxiliar na minimização de resíduos, o que gera nas indústrias um medo de infringir leis

que não entendem direito; à falha, por parte da gerência, no desenvolvimento de uma política de prevenção e no comprometimento com esta; à incapacidade financeira, principalmente das indústrias pequenas, para fazer os investimentos necessários; à limitação de flexibilidade de alguns processos, o que diminui as oportunidades de minimização; à falta de pessoal técnico, entre outros.

As indústrias querem conhecer e comprovar os resultados positivos da prevenção antes de aceitar implementá-la, pois têm medo dos riscos envolvidos e de danificar a qualidade de seu produto final.

#### **2.5.4 - Benefícios que podem ser alcançados com a prevenção**

Apesar dos impedimentos encontrados quando se deseja implementar um programa de prevenção à poluição em uma indústria, muitos benefícios podem ser alcançados. Além de benefícios trazidos ao meio ambiente, um programa de prevenção à poluição que obtiver sucesso trará à indústria onde foi implementado, benefícios econômicos, conformidade com os regulamentos legais, redução de responsabilidades e um melhoramento de sua imagem frente ao público. Isso faz com que o número de indústrias que buscam a minimização de seus resíduos aumente cada vez mais.

Os benefícios econômicos, conforme COMELLA & RITTMAYER (1990), são resultantes da redução de custos associados ao armazenamento, manejo, tratamento, transporte e disposição final dos resíduos que têm seu volume minimizado. Também constituem estes benefícios a redução de custos de matéria-prima, rendimentos obtidos com venda ou reciclagem de resíduos, aumento da capacidade de produção, melhoramento da qualidade do produto, além de diminuição de custos com saúde, segurança e impostos, entre outros.

Com a minimização dos resíduos, THEODORE & McGUINN (1992) afirmam que é reduzida também a frequência com que os geradores devem fornecer dados de amostragem aos órgãos governamentais responsáveis pela coleta destes, o que

lhes traz uma certa economia. Além disso, a companhia que tem um programa de prevenção tem maior facilidade para atingir os padrões de tratamento dos resíduos, podendo assim obter permissão para sua disposição final, apesar das restrições encontradas.

Ainda segundo estes autores, pode ser conseguida a redução de responsabilidades tanto a curto prazo, associadas a exposição de pessoal, segurança de local de trabalho, gerenciamento e transporte de resíduos, como a longo prazo traduzidas na disposição dos resíduos na própria companhia ou fora dela. Principalmente a redução de responsabilidades a longo prazo é um grande benefício para a indústria, pois apesar de muitos acharem que após a disposição final estas não precisam mais se preocupar com os resíduos dispostos, isso não é verdade. Até um período de 30 anos, como dizem COMELLA & RITTMAYER (1990), deve ser realizado um monitoramento das condições do local de disposição e, caso haja liberação de contaminantes, a companhia deve arcar com a implantação de medidas corretivas.

Também de grande importância para a indústria é o melhoramento de sua imagem pública. De acordo com SHEN (1995), a comunidade está cada dia mais consciente dos danos ambientais que uma indústria pode causar e dos custos relacionados ao tratamento e disposição dos resíduos, oferecendo grande resistência à implantação destes geradores próximos a sua área de residência. No entanto, indústrias que apresentam um programa de prevenção à poluição são mais bem aceitas e até recebem o apoio da comunidade.

#### **2.5.5 - A educação e o treinamento de funcionários contribuindo para o sucesso de um programa de prevenção**

Para que um programa de prevenção à poluição obtenha sucesso, é necessário e de grande importância o apoio não só da gerência da indústria, mas também dos funcionários em todos os níveis da organização.

Segundo BERGLUND & LAWSON (1991) os funcionários de uma indústria devem ser dedicados ao programa de prevenção, colocando-o em igual posição com outros; devem ser treinados, para que reconheçam resíduos quando gerados e alternativas de prevenção quando disponíveis, além de estarem aptos a operar novos equipamentos ou os já existentes através de novos métodos; e finalmente, devem ser recompensados pelo engajamento ao plano e por seus esforços para minimizar resíduos.

A recompensa por sucessos alcançados, conforme HIGGINS (1989), é um importante método de reconhecimento que encoraja outros sucessos, e a advertência à falhas alerta funcionários para que evitem a repetição de erros.

De acordo com SHEN (1995), os funcionários devem conhecer os resíduos e saber onde são gerados, além de compreender os custos e as responsabilidades de sua geração. Para tanto é necessário o desenvolvimento de um programa de educação e treinamento, constituído de encontros semanais para discussão do plano e projeto de prevenção, de seminários e de apresentações.

HIGGINS (1989) comenta ainda que um número de funcionários maior que o necessário deve ser treinado para se evitar que a saída de alguns deles da indústria afete o desenvolvimento do programa de prevenção. Diz também ser muito importante que a indústria faça com que instituem e mantenham o programa como parte de sua rotina de trabalho para que assim o reconheçam como necessário e acostumem-se a ele.

## **2.6- Tratamento de efluentes líquidos industriais**

Até algum tempo atrás, acreditava-se que o controle de poluição era a forma mais adequada e eficiente para a resolução de problemas ambientais, sendo o tratamento de efluentes uma técnica bastante utilizada.

Hoje, no entanto, sabe-se que este tratamento não é medida suficiente para que o meio ambiente não seja degradado, já que poluentes que são apenas

transferidos de meio ou local continuam a ser lançados. Contudo, é uma medida que, aliada ao conceito de prevenção à poluição, apresenta grande importância na redução de carga poluidora, devendo ser considerada e utilizada só após as técnicas de redução na fonte terem sido consideradas inviáveis e quando for necessário a modificação das características dos efluentes para que possa ser realizado seu uso ou reuso e até mesmo sua disposição final.

Segundo THEODORE & McGUINN (1992), a toxicidade dos resíduos e a possibilidade destes serem tratados dentro ou fora da indústria onde forem gerados, o que é determinado através de uma análise de fatores técnicos, econômicos e ambientais, são alguns dos elementos que devem ser considerados para se determinar o método de tratamento a ser utilizado, físico, biológico ou químico, sendo necessário, geralmente, que estes trabalhem em conjunto para que se alcance uma maior eficiência.

Não é objetivo deste trabalho o detalhamento da tecnologia disponível para o controle de poluição, ou seja, de métodos de tratamento de efluentes. Sendo assim, este texto apresenta apenas uma breve discussão sobre o assunto tomando como base as afirmações de THEODORE & McGUINN (1992).

### **Tratamento físico**

O tratamento físico de efluentes além de concentrar os resíduos e reduzir seu volume, visa também separar seus componentes para a realização de tratamento contínuo ou para sua disposição final. Os métodos mais utilizados na indústria são gradeamento, sedimentação, filtração, floculação, flotação, equalização de vazão, troca iônica, osmose reversa, ultrafiltração, eletrodialise.

A troca iônica, osmose reversa e ultrafiltração são utilizadas na remoção de componentes iônicos e inorgânicos.

Segundo NUNES (1996), a osmose reversa é utilizada na indústria de maneira restrita no pré - tratamento de efluentes ricos em sais dissolvidos, e a

eletrodialise, que ainda não é muito utilizada, será aplicada na remoção de nutrientes inorgânicos como fósforo e nitrogênio. Ainda de acordo com este autor, a flotação tem sua aplicação na remoção de óleos e graxas e é geralmente utilizada em curtumes, lavanderias, matadouros e frigoríficos, em refino de óleo, indústrias de conservas, de papel e celulose, petroquímicas, entre outras.

### **Tratamento biológico**

Este tipo de tratamento é mais aplicado na decomposição de resíduos orgânicos, sendo também utilizado para a remoção de metais segundo afirmação de GROSSE (1986).

Os métodos mais utilizados são os lodos ativados, no tratamento de efluentes de indústrias de manufatura de ferro e aço, de polpa e papel, de produtos farmacêuticos; as lagoas aeradas, para efluentes de indústrias petroquímicas, têxteis e de borracha; as lagoas de estabilização, para efluentes de indústrias têxteis, de polpa e papel, de refinação de óleo; os filtros biológicos para efluentes de indústrias petroquímicas, farmacêuticas e a digestão anaeróbia, ainda em estudo para tratamento de resíduos perigosos.

### **Tratamento químico**

METCALF & EDDY (1991) afirmam que o tratamento químico é conseguido com a utilização de produtos químicos e as principais aplicações são a precipitação química e a adsorção. THEODORE & McGUINN (1992) acrescentam a estes a calcinação, catálise, eletrólise, hidrólise, neutralização e oxidação.

Conforme NUNES (1996), a precipitação de poluentes como metais pesados, fósforo, proteínas, etc, pode ser conseguida pela variação de pH que ocorre

pela adição de produtos químicos aos efluentes, modificando assim a solubilidade dos poluentes, ou ainda por meio da coagulação - floculação, que além do produto químico, necessita também de operações físicas, as misturas rápida e lenta, para se concretizar. As indústrias que mais empregam o tratamento físico - químico (coagulação - floculação), segundo este autor, são as de papel e celulose, as têxteis e os curtumes.

A hidrólise tem sido aplicada na recuperação de ácido sulfúrico nas indústrias de petróleo e na desintoxicação de efluentes com pesticidas, enquanto a neutralização é aplicada na quebra de emulsão de óleo e também, conforme WARNER & ROBERT (1986), no tratamento de resíduos corrosivos.

## **2.7 - O acabamento de metais**

### **2.7.1 - Objetivos do acabamento de metais e os processos utilizados para alcançá-los**

As indústrias de acabamento de metais, de acordo com HIGGINS (1989), têm por objetivo adicionar valor à peças, sejam elas de metal ou não, através da utilização de um revestimento funcional, protetivo (contra corrosão) ou decorativo.

Campos (1991) informa que este procedimento é denominado galvanotécnica e é dividido em galvanoplastia, que é a formação de moldes e em galvanostegia, atividades que constituem o acabamento de metais.

Uma indústria pode ter o acabamento de metais como atividade exclusiva ou este pode fazer parte, juntamente com outras atividades, do processo de produção industrial. É o que afirma ARAGÃO (1984), que cita como exemplos deste segundo tipo de indústria, as automobilísticas, aeronáuticas, elétricas pesadas, de eletrodomésticos, de tubulações hidráulicas, entre outras.

As operações utilizadas no acabamento de metais, conforme CAMPOS (1991), são a preparação prévia da superfície da peça, o desengraxe, a decapagem, a lavagem ou enxágüe, a neutralização e finalmente a eletrodeposição ou revestimento.

ARAGÃO (1984) cita o esmerilhamento e polimento como técnicas de preparação prévia da superfície da peça, podendo ser realizados por processos mecânicos, químicos ou químico - mecânicos. O esmerilhamento tem por finalidade remover o material denominado cavaco da superfície da peça, enquanto o polimento é utilizado para regularizar superfícies não planas e fechar sulcos e estrias.

Ainda conforme ARAGÃO (1984), o desengraxe, que consiste na remoção de óleos e graxas das peças a serem revestidas, pode ser do tipo alcalino à quente, com temperaturas entre 85 e 90° e a utilização de produtos como hidróxido de sódio, fosfato de sódio terciário, pirofosfato de sódio, entre outros; pode ainda ser do tipo com solventes orgânicos, utilizando gasolina e terebintina; ou com emulsões, com a utilização de gasolina, petróleo, ácidos graxos; e finalmente pode ser um desengraxe eletrolítico, com a utilização de produtos como hidróxido de sódio ou de potássio, fosfatos, silicatos, etc.

Este mesmo autor fala ainda sobre decapagem e neutralização. A primeira, através da utilização de soluções ácidas ou alcalinas, realiza a remoção de oxidação existente nas peças. A outra, é uma etapa necessária quando produtos ácidos provenientes de banhos anteriores permanecem nas imperfeições ou poros das peças.

De acordo com CAMPOS (1991), a lavagem ou enxágüe das peças é necessária após cada processo do acabamento de metais, devido aos diferentes banhos que o constituem. Sem a lavagem, o líquido que permanece nas peças ao sair de um banho iria contaminar a próxima operação.

O enxágüe também é responsável pelo melhoramento da adesão do revestimento à superfície das peças, como comunica HIGGINS (1989). A água é o produto utilizado nesta fase do acabamento de metais, podendo ser fria ou quente, mas devendo ser bastante limpa para que os produtos químicos sejam removidos o mais rápido possível das peças. Na maioria dos enxágües a vazão de entrada da água é

contínua e o fluxo é controlado manualmente. TOLLER & INNES (1982) afirmam que para que se determine o volume de água a ser utilizado em um enxágüe deve-se observar fatores como o volume e a concentração de produtos químicos dos respingos e arraste e os procedimentos do próprio enxágüe (agitação, temperatura, tempo de contato).

Conforme THEODORE & MCGUINN (1992), o revestimento aplicado à superfície das peças pode ser de cromo, cádmio, zinco, cobre ou ouro.

O revestimento com cromo ou cromeação pode ser realizado com fins decorativos (cromo decorativo), com a aplicação de uma camada fina, conseguida em poucos minutos, ou para melhorar as propriedades mecânicas dos metais de base, havendo necessidade da utilização de uma camada bastante espessa (cromo duro), que é alcançada em 24 horas ou mais (HIGGINS, 1989).

Já o revestimento com níquel ou niquelação pode ser utilizado para proteger as peças contra corrosão, para reconstituir peças usadas, ou mesmo para servir de camada suporte para a cromeação. Em todos os casos é aplicado em finas camadas sobre as peças.

A zincagem ou revestimento com zinco também pode ser utilizada para proteger as peças contra corrosão, além de, segundo ARAGÃO (1984), dar-lhes um acabamento brilhante.

CAMPOS (1991) acrescenta a estes tipos de revestimento a anodização e a fosfatização. Informa também que os revestimentos podem ser conseguidos por imersão das peças nos banhos, sendo uma reação química responsável pela deposição do metal em sua superfície, ou pelo processo eletrolítico, quando uma corrente elétrica auxilia esta deposição.

### 2.7.2 - Geração e caracterização de efluentes líquidos

As fontes geradoras de efluentes líquidos no processo de acabamento de metais são, conforme CAMPOS (1991), os enxágües, o descarte de banhos não regeneráveis ou devido a sua contaminação, os vazamentos e transbordamentos e a lavagem de pisos. No entanto, HIGGINS (1989) cita os enxágües como sendo os maiores responsáveis por estes efluentes.

ARAGÃO (1984) afirma que o volume de efluentes gerado não é grande. No entanto a concentração de substâncias tóxicas, depletoras de oxigênio (consomem oxigênio pela oxidação química), objetáveis e corrosivas é elevada e pode afetar de forma danosa a vida aquática além da saúde dos consumidores que utilizam como mananciais os corpos d'água onde estes efluentes são dispostos sem que recebam o devido tratamento.

A tabela 04 apresenta algumas fontes de geração e os efluentes gerados por elas, enquanto que na tabela 05 são mostradas as concentrações mais comumente encontradas de substâncias nos efluentes do acabamento de metais, além das concentrações máximas para que não ocorra a morte de peixes e dos padrões de emissão deste tipo de efluentes.

Tabela 04: Resíduos típicos do acabamento de metais e suas fontes geradoras

Fonte	Resíduo
Desengraxe	Solventes, óleos
Enxágüe	Álcalis, metais, agentes quelantes, solventes
Revestimento metálico	Ácidos, metais, álcalis, cianeto, agentes quelantes

Fonte: HIGGINS (1989)

Tabela 05: Concentrações características dos despejos (A), concentrações limitantes para peixes (B) e padrões de emissão(C)

CONTAMINANTE	A (mg/l)	B (mg/l)	C (mg/l)
Cádmio	15-20	17,0	1,5
Cobre	20-100	3,3	1,5
Chumbo	0-30	-	1,5
Cromo hexavalente	50-600	1,0	5,0
Ferro	amplamente variável	14,0	15,0
Níquel	25-200	128	2,0
Zinco	15-20	8,4	5,0
Cianetos	30-500	0,1	0,20

Fonte: ARAGÃO (1984).

De acordo CAMPOS (1991), os efluentes da indústria de acabamento de metais são classificados em efluentes contendo cianetos, efluentes contendo cromo e efluentes que não apresentam cromo ou cianetos.

### 2.7.3 - Prevenção à poluição no processo de acabamento de metais

Segundo HIGGINS (1989), a prevenção à poluição ou minimização de resíduos no processo de acabamento de metais pode ser obtida a partir do melhoramento das práticas operacionais, da redução de respingos ou arraste, de modificações nos enxágües e da recuperação de metais das águas de enxágües, da substituição de produtos por outros menos perigosos ou até não perigosos.

#### Melhoramento das práticas operacionais

Como melhoramento das práticas operacionais HIGGINS (1989) cita a observação e reparo de vazamentos e transbordamentos, instalação de alarmes nos

tanques de enxágüe e revestimento para que descargas acidentais sejam evitadas, treinamento de funcionários para que assim compreendam a necessidade da prevenção à poluição e evitem contaminação dos banhos e uso excessivo de água, entre outras.

### **Minimização de respingos e arraste**

ARAGÃO (1984) informa que uma das formas de minimizar os respingos ou arraste de líquidos pela peça é deixando-a por um maior período de tempo sobre o tanque do banho para que o líquido escoe no próprio tanque. Uma boa disposição das peças, de modo que não venham a reter soluções, além de menores concentração e viscosidade dos banhos, também contribuem para a redução de arraste de líquidos.

HIGGINS (1989) diz que se pode capturar os respingos e retorná-los ao banho de origem, reduzindo o gasto de produtos químicos e lavagens desnecessárias de pisos. As formas de captura são drenos, tanques e calhas de gotejamento.

### **Modificações nos enxágües**

Modificações nos enxágües são de grande importância na redução do consumo de água, visto que estes são as principais fontes geradoras de efluentes líquidos no acabamento de metais.

THEODORE & MCGUINN (1992) sugerem que para se alcançar esta redução a eficiência de enxágüe deve ser melhorada e a vazão de entrada do tanque, controlada. A primeira pode ser conseguida através da utilização de um tempo suficiente de contato das peças com a água de enxágüe (utilização de enxágües em série), bem como de uma boa agitação e um volume suficiente desta água. A outra, obtém-se pela utilização de controladores de vazão, medidores de condutividade e pH e válvulas de

fluxo que são acionadas e permitem a entrada de mais água nos tanques quando o pH ou concentração de sais está acima dos níveis máximos aceitos pelo processo.

Conforme TOLLER & INNES (1982), fazendo-se a vazão de entrada nos tanques de enxágüe ser contracorrente, ou seja, a água que os abastece entrando no sentido contrário ao movimento das peças, e utilizando-se tanques em série, pode-se conseguir não só uma boa redução no volume de água utilizada nesta etapa do acabamento de metais, mas também o aumento da concentração de produtos químicos possibilitando que sejam recuperados.

A tabela 05 mostra a redução do volume de água requerido para o enxágüe de peças a medida que o número de tanques de enxágüe contracorrente e em série aumenta.

Tabela 06: Volume de água requerido para o enxágüe de peças

Número de enxágües contracorrente	Vazão	
	L/hr	L/ano*
1	1.893	3.786.000
2	190	380.000
3	95	190.000

\* Baseado em 250 dias de operação por ano.

Fonte: TOLLER & INNES (1982)

As figuras 05, 06 e 07 ilustram quatro tipos de enxágüe em contracorrente.

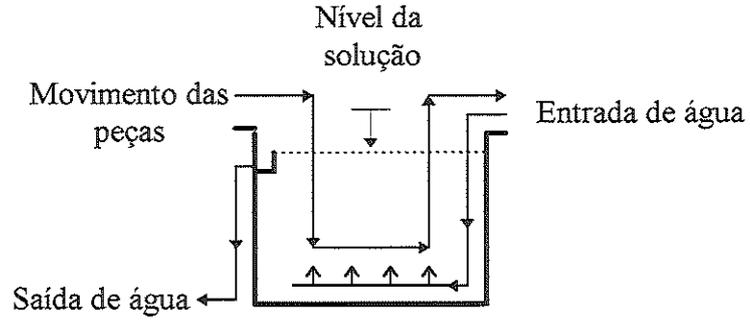


Figura 05: Enxágüe contracorrente único

Fonte: TOLLER & INNES (1982)

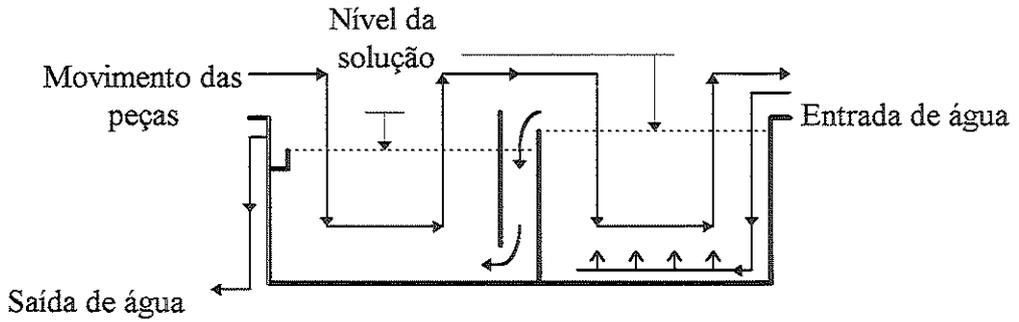


Figura 06: Enxágüe contracorrente duplo

Fonte: TOLLER & INNES (1982)

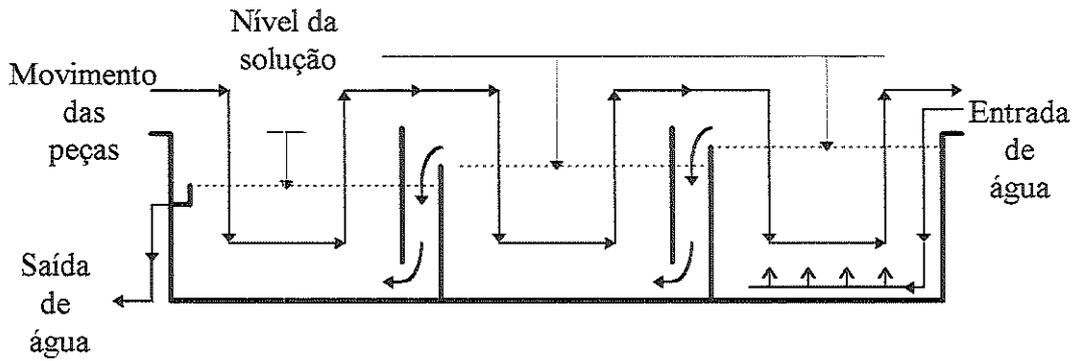


Figura 07: Enxágüe contracorrente triplo

Fonte: TOLLER & INNES (1982)

Apesar de apresentar grandes vantagens, o enxágüe contracorrente em série muitas vezes não é utilizado nas indústrias, segundo HIGGINS (1989), devido à indisponibilidade de espaço para a instalação dos diversos tanques, ao aumento no tempo de produção, já que a peça deverá ser enxaguada mais vezes e ao aumento no custo para implementação dos tanques adicionais.

### **Recuperação de metais**

Um meio de se evitar o tratamento e a disposição final de efluentes líquidos do acabamento de metais, e também de economizar produtos químicos e água é a recuperação dos metais que se encontram nas águas de enxágüe.

Esta recuperação é obtida, segundo HIGGINS (1989), através da reconcentração das soluções dos banhos de revestimento que se encontram nos enxágües devido à lavagem das peças. Os metais recuperados são retornados aos seus respectivos banhos, ou mesmo vendidos a outras indústrias e a água, retorna aos tanques de lavagem. Para que se determine a técnica de melhor aplicação para um determinado metal, HIGGINS (1989) informa que fatores como o tipo de metal utilizado no revestimento, o fluxo e concentração da água de enxágüe, necessidade de espaço e pessoal, entre outros devem ser considerados.

As figuras 08 e 09 ilustram, respectivamente, um sistema em ciclo fechado e um em ciclo aberto de recuperação da água de enxágüe.

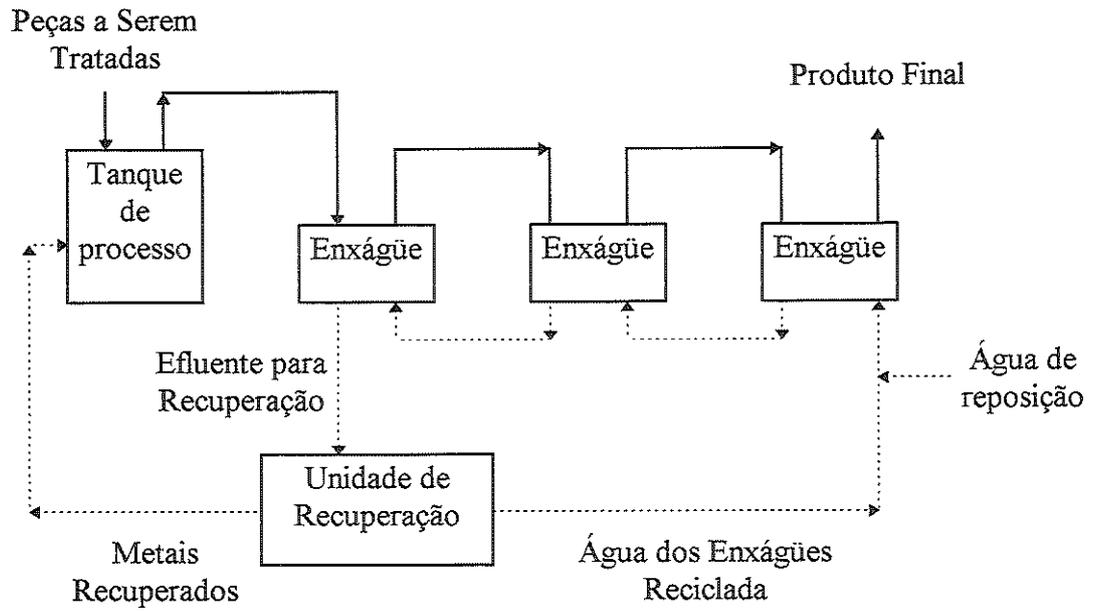


Figura 08: Sistema de recuperação em ciclo fechado da água de enxágüe  
 Fonte: THEODORE & MCGUINN (1992)

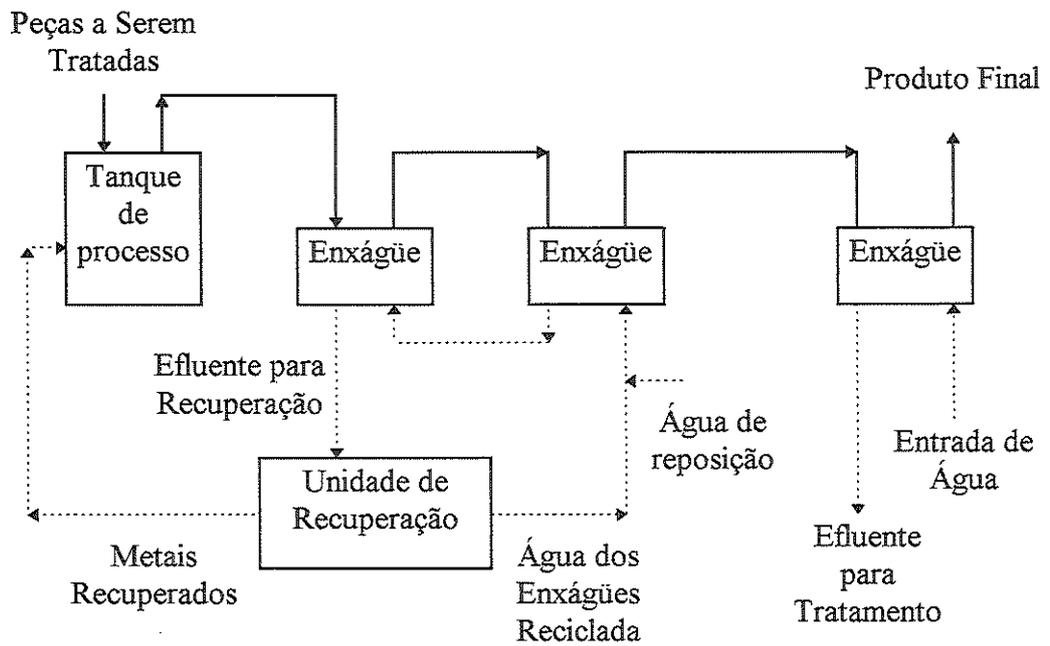


Figura 09: Sistema de recuperação em ciclo aberto da água de enxágüe  
 Fonte: THEODORE & MCGUINN (1992)

De acordo com HALL et al (1979) as tecnologias mais utilizadas na recuperação de metais são a evaporação, a troca iônica, a osmose reversa, a recuperação eletroquímica e a ultrafiltração, cada uma contendo suas restrições e áreas próprias de aplicação.

Na tabela 06 são apresentadas algumas aplicações das tecnologias consideradas por THEODORE & MCGUINN (1992).

Tabela 07: Aplicações de tecnologias de recuperação de metais

	Evaporação	Osmose Reversa	Troca Iônica	Eletrolise	Eletrodialise
Cromo (decorativo)	X		X		
Níquel	X	X	X		X
Cádmio	X			X	X
Zinco	X	X		X	X
Cobre	X	X		X	X
Estanho	X			X	X
Prata	X		X	X	X

Fonte: THEODORE & MCGUINN (1992)

### Evaporação

Segundo STEWARD & LANEY (1978), a capacidade de retornar ao seu respectivo banho o efluente tratado mais concentrado do que a solução que o originou é a principal vantagem da evaporação, que deve ser utilizada em locais nos quais se verificam perdas mínimas por esta técnica. Estes autores dizem ainda que a utilização de evaporadores à vácuo reduzem a taxa de decomposição de produtos químicos, pela diminuição do ponto de ebulição das soluções.

HIGGINS (1989) afirma que a evaporação deve ser aplicada para recuperação de metais que poderão retornar a banhos, cuja temperatura seja elevada, devido à grande quantidade de energia utilizada nesta tecnologia.

### **Osmose reversa**

A osmose reversa é uma tecnologia de recuperação de metais que, de acordo com STEWARD & LANEY (1978), só deve ser utilizada quando a concentração de sais na água de enxágüe não for alta, ou seja, quando a água for diluída, para que as membranas utilizadas não colmatem. Geralmente é feita uma filtração do efluente dos enxágües, antes de ser realizada a osmose reversa, para se evitar estes entupimentos. A acidificação dos mesmos também é realizada para que metais que tenham precipitado sejam redissolvidos na solução.

STEWARD & LANEY (1978) dizem ainda que muitas vezes é necessária a utilização de outra tecnologia de recuperação após a osmose reversa para concentrar mais as soluções muito diluídas.

Fatores como o tipo e concentração dos metais, temperatura dos efluentes dos enxágües, projeto do sistema de recuperação, pressão aplicada e características da membrana selecionada influenciam, como afirma CARTWRIGHT (1984), na taxa de produção de uma membrana de osmose reversa.

A tabela 08 mostra a rejeição de contaminantes pelas membranas, presentes nas águas de enxágües realizados após a aplicação do revestimento às peças.

Tabela 08: Dados obtidos através de um teste de osmose reversa com seis efluentes de enxágües pós banhos de revestimento

Revestimento	Contaminante	Percentagem de Rejeição (%) <sup>*</sup>
Níquel	Ni <sup>2+</sup>	>99
Cianeto de Cobre	Cu <sup>+</sup>	85
	CN <sup>-</sup>	46
Cianeto de Zinco	Zn <sup>2+</sup>	96
	CN <sup>-</sup>	80
Cromo Decorativo	Cr <sup>6+</sup>	90
Cromo Duro	Cr <sup>6+</sup>	92

\* A rejeição foi calculada da seguinte forma: (concentração na membrana/ concentração de entrada) x 100

Fonte: CARTWRIGHT (1984) (Adaptado)

### Troca iônica

As resinas utilizadas na troca iônica removem cátions e ânions seletivamente, como afirmam THEODORE & MCGUINN (1992), e é através de sua limpeza, com a utilização de soluções ácidas e alcalinas, que são recuperados os metais para reutilização nos banhos.

Conforme KARRS et al (1986), a capacidade de recuperar praticamente todos os metais presentes no afluente do sistema de troca iônica, mesmo com solução bastante diluída, é a principal vantagem de se utilizar esta tecnologia. Em contrapartida, seu efluente apresenta baixa concentração de metais e grande quantidade de ácido livre.

HIGGINS (1989) informa como outra desvantagem a dificuldade de concentrar soluções contendo vários metais. Diz ainda que se consegue redução de até 90% no consumo de água, caso se utilize a água tratada por troca iônica nos enxágües.

Na tabela 09 são apresentadas as concentrações de alguns contaminantes no afluente bruto e efluente tratado por troca iônica.

Tabela 09: Remoção de ions das águas de enxágüe através de troca iônica

Contaminante	Concentração do Afluente	Concentração do Efluente
	Bruto, mg/L	Tratado, mg/L
Alumínio	5,60	0,24
Cádmio	1,05	0,00
Cromo	7,60	0,06
Cobre	4,45	0,09
Ferro	3,70	0,10
Níquel	6,20	0,00
Prata	1,50	0,00
Estanho	0,50	0,00
Cianeto	0,80	0,20
Sulfato	21,0	2,00
Fosfato	3,75	0,80

Fonte: HALL et al (1979)

### Eletrólise

Segundo THEODORE & MCGUINN (1992), a eletrólise é uma tecnologia aplicada apenas na recuperação de metais das águas de enxágüe, o que é conseguido através da utilização de corrente elétrica que passa do ânodo para o cátodo,

ambos localizados nos efluentes dos enxágües, fazendo com que íons metálicos formem no último uma camada metálica espessa.

A utilização de equipamentos de baixo custo, a mínima necessidade de mão-de-obra, além do baixo custo com energia elétrica que chega a ser apenas uma parte do valor do metal recuperado, de acordo com STEWARD & LANEY (1978), fazem da eletrólise a forma de recuperação de metais de menor custo.

### **Eletrodiálise**

Conforme HIGGINS (1989), a eletrodiálise promove a recuperação de metais através da utilização de membranas semi-permeáveis seletivas de íons, juntamente com um campo elétrico.

Este mesmo autor informa que as principais vantagens desta tecnologia de recuperação são a produção de soluções mais concentradas que na troca iônica e na osmose reversa, a necessidade de pouco espaço para sua instalação, sua operação fácil, econômica e contínua, não necessitando de regeneração.

Sua desvantagem, ainda segundo HIGGINS (1989), é que impurezas iônicas são retornadas aos banhos, juntamente com os metais recuperados, devido a eletrodiálise não ser seletiva na remoção de espécies iônicas.

### **Substituição de produtos**

HIGGINS (1989) cita como formas de substituir os produtos tóxicos utilizados para o acabamento de metais banhos sem a utilização de cianetos, revestimentos de cromo trivalente, deposição de cádmio à vácuo e deposição de alumínio por vapor iônico.

THEODORE & MCGUINN (1992) dizem que a utilização de soluções alcalinas, substituindo solventes clorados ou não nos desengraxes de peças, bem como a utilização de água desionizada (sem íons na solução), que pode aumentar a eficiência dos enxágües e reduzir a frequência de reposição de banhos, e finalmente, a realização de processos sem a presença de quelatos, também são meios de se minimizar a quantidade de produtos tóxicos nos efluentes do acabamento de metais.

### **Banhos sem cianetos**

De acordo com THEODORE & MCGUINN (1992), a não utilização de cianetos nos banhos de revestimento reduz os custos com tratamento e a geração de lodo. HIGGINS (1989), no entanto, afirma que para que se conheça os benefícios econômicos desta substituição, alguns fatores devem ser considerados: diferença nos custos de mão-de-obra e produtos químicos utilizados, alterações na taxa de produção, bem como economias obtidas devido à não existência de cianetos nos efluentes a serem tratados.

A deposição de cádmio à vácuo é uma alternativa para a substituição de cianetos nos banhos de revestimento com cádmio. As desvantagens apresentadas por esta técnica são a dificuldade em aplicar um revestimento uniforme às peças que tenham forma irregular, uma adesão do revestimento mais fraca que a obtida pelo método convencional de revestimento com cádmio, além da geração de vapores de cádmio como efluentes.

### **A utilização de cromo trivalente**

O cromo trivalente tem substituído o hexavalente nos banhos de revestimento, com a vantagem de não ser necessária a adição de agentes redutores



durante o tratamento de efluentes, de reduzir o arraste, devido as soluções serem menos concentradas, e ainda de produzir lodo bem menos tóxico, cujo volume equivale a aproximadamente um sétimo do gerado com a utilização de cromo hexavalente. No entanto, tem a desvantagem de suas soluções serem duas a três vezes mais caras que as do produto que substitui.

### **A substituição de cádmio por alumínio**

A deposição de alumínio por vapor iônico é uma outra substituição para os banhos de cádmio que têm como objetivo a proteção de peças contra corrosão. A principal vantagem em se utilizar revestimento de alumínio é que este é mais barato que os de cádmio e zinco, além dos produtos de sua corrosão não serem volumosos nem disformes.

### **Processos sem quelatos**

Segundo THEODORE & MCGUINN (1992), acima do limite de solubilidade, a permanência de íons metálicos é conseguida nas soluções pela utilização de agentes quelantes, que podem ser compostos mais fracos como fosfatos, silicatos, amônia ou mais fortes, como ácidos orgânicos. A ausência de quelatos nos banhos evita a necessidade de um tratamento químico adicional de seus resíduos.

### **2.7.4 - Tratamento de efluentes líquidos do acabamento de metais**

O tratamento de efluentes líquidos, realizado para que estes tornem-se menos tóxicos e perigosos, de modo que não causem danos ao meio ambiente, deve ser

considerado quando não houver possibilidade de reduzir a geração de efluentes na fonte ou de reciclá-los.

De acordo com ARAGÃO (1984), os efluentes de uma indústria de acabamento de metais podem ser tratados de forma descontínua ou contínua.

Este mesmo autor explica que o primeiro tipo de tratamento, no qual os efluentes são reunidos em um tanque e tratados em seguida, com a utilização de reagentes, apesar de ser bastante eficiente e de ser utilizado no tratamento de efluentes ácidos, alcalinos e daqueles contendo cianetos e cromo, não é viável para indústrias de médio e grande porte, devido à necessidade de grandes instalações, o que vem aumentar muito seus custos. Nestas indústrias é recomendável a utilização de tratamento contínuo, que requer instalações mais compactas. Para melhorar sua eficiência na remoção de poluentes, os efluentes devem ser equalizados antes de se iniciar o tratamento propriamente dito.

Conforme CAMPOS (1991), os efluentes que contenham cianetos, os que contenham cromo e aqueles que não apresentam concentrações de um ou outro devem ser segregados. Os dois primeiros recebem tratamento, separadamente, e são então reunidos ao último tipo de efluentes para que o tratamento seja concluído.

CHEREMISINOFF (1977) cita como forma de destruição dos cianetos presentes nos efluentes o tratamento eletrolítico, a oxidação, com utilização de ozônio ou permanganato de potássio, o tratamento com a utilização de sulfato de ferro ou de peróxido de hidrogênio e a degradação biológica, obtida através de lodos ativados ou filtros biológicos. A cloração alcalina é também uma forma de oxidar os cianetos, como informa GROSSE (1986).

O tratamento dos efluentes contendo cromo hexavalente é realizado através da redução do cromo à forma trivalente com a utilização de metabissulfito de sódio, sulfito de sódio e sulfato ferroso como informa DAUBARAS (1981).

Após a destruição dos cianetos e a redução do cromo hexavalente, seus respectivos efluentes são misturados aos demais e é dada continuidade ao tratamento.

Os metais podem então ser precipitados com a utilização de cal, produto mais comumente empregado, apesar das interferências observadas devido a agentes complexos; soda cáustica; hidróxidos e sulfetos (GROSSE, 1986).

Precipitados, os metais juntamente com o produto utilizado para sua remoção do efluente, constituem o lodo, resíduo sólido desta fase do tratamento. O lodo só vem a confirmar a idéia de que o tratamento não é medida suficiente para evitar a degradação ambiental, já que resíduos continuam a ser gerados ou transferidos de uma fase para outra. Este lodo deverá ser tratado, transportado e disposto, sendo necessário, para sua disposição, uma questão bastante complexa, a realização de estudos legais, técnicos, ambientais e econômicos.

A figura 10 ilustra a segregação de efluentes e o tratamento aplicado a eles.

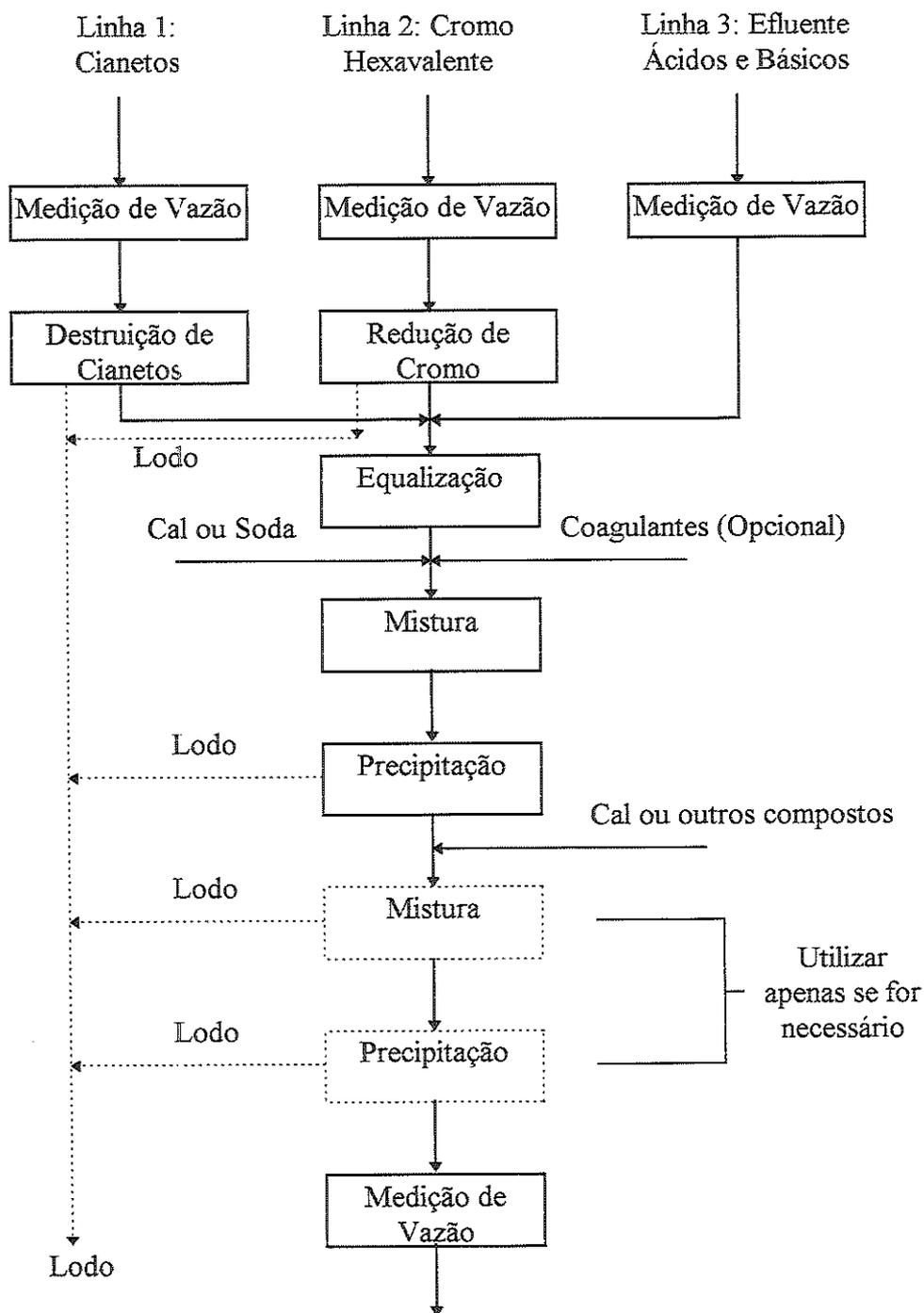


Figura 10: Fluxograma típico de tratamento de efluentes de indústrias de acabamento de metais

Fonte: CAMPOS(1991)(Adaptado)

### **3 - MATERIAL E MÉTODOS**

Este trabalho, tendo por propósito apresentar uma discussão sobre as técnicas disponíveis para a prevenção da poluição industrial, foi dividido em duas fases.

A primeira, dedicou-se ao conhecimento do processo gerador de efluentes líquidos, na indústria Tecumseh do Brasil Ltda., através do estudo do fluxograma do processo de produção industrial, além de também ter-se dedicado ao conhecimento dos próprios efluentes líquidos, por meio de medições de vazão e de caracterizações físico-químicas.

Na segunda fase, foram utilizados os dados obtidos na primeira fase para se fazer um estudo das possibilidades de reduzir a geração de efluentes na própria fonte, e quando não fosse possível, de reciclá-los. Foram então feitas sugestões de alternativas de prevenção à poluição, observando-se porém o não comprometimento da qualidade do produto final.

Foram ainda realizados alguns ensaios de precipitação química de metais, apenas para se verificar a aplicabilidade desta tecnologia para a melhoria da qualidade dos efluentes, visando seu reuso.

#### **3.1 - Tecumseh do Brasil Ltda: área de estudo de caso**

##### **3.1.1 - Generalidades**

A indústria Tecumseh do Brasil Ltda. foi instalada em São Carlos no dia 07 de novembro de 1972, por um conjunto de empresas: PELOPLÁS, S.A.; PEREIRA LOPES IBESA e TOOL RESEARCH ARGENTINA S. A.. Chamava-se então SICOM, Sociedade Intercontinental de Compressores Herméticos.

Em 1973, 1975 e 1977 juntaram-se àquelas as empresas G. E. DO BRASIL, TECUMSEH PROD. COMPANY e REFRIGERAÇÃO PARANÁ, respectivamente. Em 1984, a TECUMSEH adquiriu todo o capital social da empresa e esta passou a ter o seu nome.

Essa indústria fabrica compressores e “kits” de refrigeração para geladeiras, “freezers”, balcões frigoríficos, aparelhos de ar condicionado, entre outros. Além de atender ao mercado interno, aproximadamente 60% de sua produção é exportada para países como Inglaterra, Irã, Iraque, EUA.

Até o ano de 1996, a TECUMSEH encontrava-se dividida em duas fábricas, a Fábrica 1, localizada à rua Cel. J. A. de Oliveira Salles, 478 e a Fábrica 2, à rua Wesley Harrick, s/ nº, Jardim Jockey Clube. A partir do mês de outubro deste mesmo ano, após algumas mudanças administrativas, as Fábricas 1 e 2 passaram a ser conhecidas como Plantas 1 e 2, respectivamente, contendo, as duas juntas 4.825 funcionários (mão-de-obra direta e indireta).

Cada Planta é constituída por mini-fábricas. A 1, compreende as mini-fábricas 1 - Fundição, e 2 - Motor Elétrico e Módulos Eletrônicos. A Planta 2 é constituída por três mini-fábricas: a 3 - Usinagem, Montagem e Processo Final dos Compressores Modelos AE/AK/AZ e de Unidades Condensadoras; a 4 - Estamparia e a 5 - Usinagem, Montagem e Processo Final dos Compressores Modelos TP/RG/RK.

Este trabalho foi realizado nas mini-fábricas 3, 4 e 5 da planta 2 e foram estudadas apenas as fontes geradoras de efluente líquido do acabamento de metais dos compressores. O acabamento das unidades condensadoras, que são acessórios de refrigeração, não foi estudado.

### **3.1.2 - Abastecimento de água e tratamento de efluentes**

A Planta 2 da indústria é abastecida com água de poço artesiano que alimenta um reservatório localizado em suas instalações. Praticamente toda a água

utilizada nas máquinas do processo de acabamento de metais é proveniente do reservatório da indústria.

Seus efluentes são submetidos à um tratamento físico-químico (em conjunto) em estação de tratamento de esgoto (ETE) localizada na própria indústria. Passam por uma homogeneização, quebra de emulsão, floculação, neutralização e decantação.

O lodo do decantador é enviado a um filtro prensa para desidratação. O líquido retirado do lodo é retornado para a ETE e o lodo desidratado é levado ao aterro da indústria.

O efluente tratado da ETE é reutilizado na indústria em irrigação de jardins e enxágües da fábrica de reprocessamento.

### **3.1.3 - O processo de acabamento de metais na indústria Tecumseh do Brasil Ltda**

O acabamento de metais faz parte do processo de produção da Tecumseh do Brasil Ltda, não sendo assim a única atividade realizada pela indústria.

As etapas seguidas pelos compressores produzidos na indústria para o seu acabamento metálico, cuja finalidade é proteger as peças contra a corrosão e auxiliar na adesão da pintura, são as seguintes: desengraxe; refinação, com o objetivo de auxiliar na formação de camadas densas de revestimento, pela ativação do metal base; enxágües, decapagem; neutralização/passivação e revestimento.

Os revestimentos utilizados são de fosfato de manganês, na Usinagem da mini - fábrica 3 e Processo Final da mini - fábrica 5; fosfato de zinco, no Processo Final da mini - fábrica 3; e fosfato tricatiônico, na Usinagem da mini - fábrica 5.

### **3.2 - Estudo do fluxograma do processo de produção industrial**

O fluxograma do processo de produção industrial foi cuidadosamente estudado, com o fim de se obter conhecimento geral da linha de produção da indústria, dispensando-se maior atenção para as fontes geradoras de efluentes líquidos do processo de acabamento de metais.

As unidades de produção, de cada mini-fábrica, nas instalações da indústria, foram visitadas e foi assim acompanhado todo o movimento dos compressores até que tivessem sido realmente finalizados. Com isso, foi possível conhecer-se as atividades realizadas, as práticas operacionais, os equipamentos, o material utilizado como matéria - prima, além de serem determinadas as fontes geradoras de efluentes líquidos e a frequência e o volume dos tanques de cada banho, necessário para se conhecer o volume de efluentes enviado à ETE.

### **3.3 - Determinação do volume de efluente gerado por cada fonte**

Nesta etapa do trabalho, foram determinadas as vazões dos enxágües, ou seja das fontes geradoras de efluentes líquidos cujo lançamento para a ETE é contínuo, com o objetivo de se conhecer o volume de efluentes gerado por cada uma destas fontes, sabendo-se quantas horas cada máquina funciona por dia.

As vazões foram obtidas através do método volumétrico, devido à impossibilidade de utilização de outros métodos.

Foram realizadas medições de volume e tempo, em cada ponto de lançamento de efluente, em três dias distintos. Em cada dia foram feitas três medições, com a intenção de reduzir-se os erros associados a elas.

O volume de efluentes gerado devido ao descarte de banhos e enxágües para a limpeza dos tanques foi conhecido quando estudou-se o fluxograma do processo de produção industrial (item 4.1.1).

### 3.4 - Primeira caracterização dos efluentes da Tecumseh do Brasil Ltda

Foi realizada uma coleta em cada fonte geradora de efluente líquido estudada, com o intuito de conhecer-se as prováveis características dos efluentes, para ter-se uma idéia geral do tipo de poluente que está sendo mandado para o tratamento na ETE.

As amostras das fontes geradoras, cujos efluentes são mandados continuamente para o tratamento (enxágües) foram coletadas em dias aleatórios. Já as amostras daquelas fontes geradoras cujas vazões não são contínuas, foram coletadas nos dias de descarte dos banhos (ou em dias bem próximo a esses).

A coleta, preservação, bem como a análise das amostras foram realizadas de acordo com o "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (1992).

Os parâmetros analisados foram os seguintes:

- sólidos totais fixos e voláteis (STF, STV), pelo método gravimétrico;
- sólidos suspensos fixos e voláteis (SSF, SSV), pelo método gravimétrico;
- sólidos sedimentáveis (Ssed), pelo método gravimétrico;
- DQO, por colorimetria (refluxo com bicromato de potássio)
- óleos e graxas, pelo método da extração de Soxhlet;
- pH, através de potenciômetro;
- metais (Zn, Pb, Cd, Ni, Fe, Mn, Cu, Cr), por espectrofotometria de absorção atômica.

Ainda foi analisado o parâmetro fosfato, pelo método do Ácido Ascórbico L5.128, da CETESB.

Nesta primeira caracterização, não foram analisados os óleos e graxas dos efluentes cujos valores de DQO obtidos foram menores que 30,0 mg/L, visto que a concentração de óleos também seria baixa (no máximo igual a estes valores), o que não impediria sua reutilização sem tratamento prévio.

### **3.5 - Proposição de alternativas de prevenção à poluição**

De posse dos dados obtidos a partir do estudo do fluxograma de produção da indústria, bem como da primeira caracterização dos efluentes líquidos do acabamento de metais, foi realizado um estudo prévio destes dados, sendo assim possível propor-se algumas alternativas de prevenção à poluição (redução na fonte ou reciclagem). Esta proposta foi feita visando minimizar o volume de efluentes e a concentração de poluentes enviados para a estação de tratamento de esgotos, bem como o consumo de água, no processo de produção industrial, sem que haja comprometimento da qualidade do produto industrial final.

### **3.6 - Segunda caracterização dos efluentes da Tecumseh do Brasil Ltda**

Uma segunda caracterização dos efluentes foi realizada para confirmar os resultados obtidos através da primeira. Os mesmos parâmetros foram analisados, segundo o “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (1992): STV, STF, SSV, SSF e Ssed; DQO; pH; óleos e graxas; metais: Zn, Pb, Cd, Ni, Fe, Mn, Cu, Cr. O fosfato foi novamente analisado de acordo com método da CETESB.

Nesta caracterização foi feita análise para determinação de óleos e graxas independente dos valores obtidos de DQO.

Alguns dos efluentes foram caracterizados em amostras compostas, de acordo com a semelhança de suas características e a proximidade dos pontos de descarte com o objetivo de segregar os diferentes tipos de efluente da indústria. Estas amostras foram compostas proporcionalmente ao volume dos tanques de cada máquina.

### **3.7 - Ensaio de recuperação de soluções**

Não foi objetivo deste trabalho encontrar uma tecnologia de recuperação ótima para cada efluente cujas características necessitavam de alteração para

possibilitar seu uso ou reuso. No entanto, foram realizados ensaios de precipitação química por coagulação-floculação para verificar a aplicabilidade desta à remoção de metais, fosfato e sólidos.

Os ensaios de precipitação química foram realizados com apenas um dos efluentes líquidos estudados, cuja concentração de fosfato e metais (vários ou apenas um deles) foi considerada alta impedindo seu uso ou reuso sem quaisquer modificações.

Com o efluente gerado pelo enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP, localizada na Estamparia (mini-fábrica 4) adotado para o ensaio de precipitação, foram realizados 3 ensaios de coagulação-floculação, em jarros de seção quadrada de 13cm de lado e 20cm de altura, com agitadores de placa no fundo de cada jarro. Empregou-se uma rotação de 120rpm durante 1 minuto, para mistura rápida, 20rpm durante 15 minutos para floculação e 5 minutos para a sedimentação dos flocos. Foi utilizado hidróxido de sódio para ajuste de pH, com dosagens aleatórias, variando nos seis jarros de cada ensaio, sendo mantidas constantes nos 3 ensaios. O hidróxido de cálcio foi utilizado para auxiliar na coagulação com dosagens de 10, 50 e 100mg/L nos 1º, 2º e 3º ensaios, respectivamente, (dosagens constantes nos seis jarros em cada ensaio, variando apenas o pH em cada jarro).

Foram então caracterizados os efluentes tratados de cada ensaio, com o intuito de se comparar os resultados aí obtidos com as características do efluente bruto e assim verificar quais as vantagens da utilização da precipitação química. No entanto, não foram analisados óleos e graxas, já que sua remoção não era objetivo destes ensaios, devido a sua baixa concentração neste efluente.

## **4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A finalidade da junção dos Resultados e Discussões, é facilitar o entendimento do leitor, pela explicação de cada item de resultado, à medida que estes vão sendo apresentados.

### **4.1 - Resultados do estudo do fluxograma do processo de produção industrial**

#### **4.1.1 - Fluxograma geral do processo de produção industrial**

A Planta 2 da indústria Tecumseh do Brasil Ltda., onde foi realizado o estudo de caso, é constituída por três mini-fábricas: a 3, Usinagem, Montagem e Processo Final dos Compressores Modelo AE/AK/AZ e de Unidades Condensadoras; a 4, Estamparia e a 5, Usinagem, Montagem e Processo Final dos Compressores Modelo TP/RG/RK.

A mini-fábrica 5 é a mais nova de todas. Sendo assim, as atividades do processo de acabamento de metais da Usinagem e Processo Final dos Compressores Modelo TP/RG/RK são realizadas em máquinas mais modernas, cujas práticas operacionais são diferentes das utilizadas na mini-fábrica 3.

Há ainda uma fábrica de Reprocessamento ou Decapagem, como também é chamada, que atende a todas as mini-fábricas, removendo oxidação de quaisquer peças que constituam o compressor ou mesmo do próprio compressor já montado. Apesar das atividades do Reprocessamento (Decapagem) fazerem parte do acabamento de metais e de gerarem efluentes líquidos que são tratados na ETE, ele não foi estudado, visto que não existe freqüência de descarte de nenhum de seus banhos e de já haver reaproveitamento de água (utiliza água tratada na ETE nos enxágües).

Na figura 11 pode ser visto o fluxograma geral do processo de produção industrial.

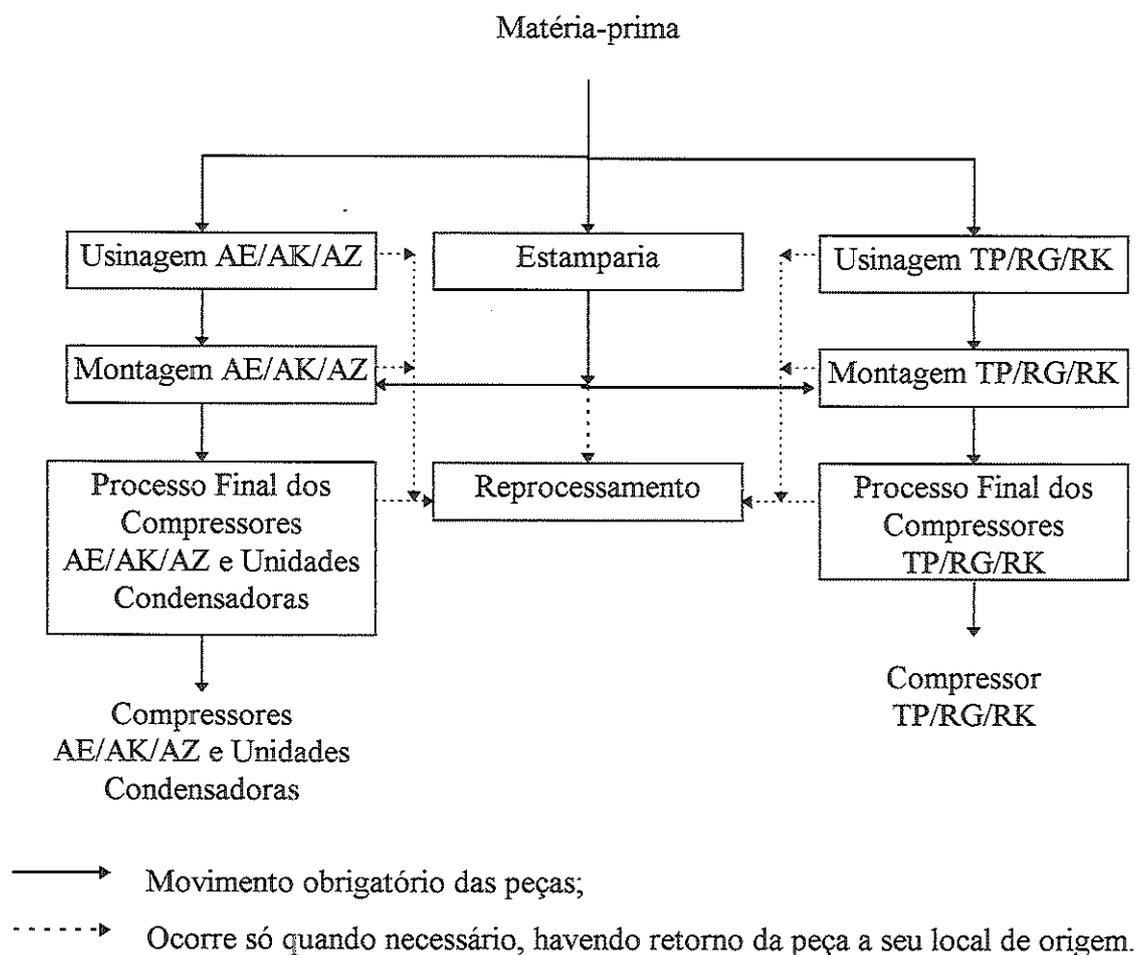


Fig. 11: Fluxograma Geral do Processo Industrial

Como já foi dito neste trabalho, apenas as fontes geradoras de efluente líquido do processo de acabamento de metais dos compressores foram estudadas. As Montagens não foram estudadas, devido à não geração deste tipo de efluentes. Na Usinagem da mini-fábrica 5, constatou-se que a quantidade gerada de efluentes líquidos é praticamente insignificante, não havendo então grande interesse nas fontes geradoras aí encontradas, que deixaram de ser estudadas.

Os fluxogramas das atividades que constituem o acabamento metálico dos compressores, apresentados nos próximos itens deste trabalho obedecem a ordem de movimento das peças apresentadas no fluxograma geral do processo de produção industrial (figura 11), ou seja, são apresentados os fluxogramas da Usinagem AE/AK/AZ, da Estamparia, do Processo Final AE/AK/AZ e do Processo Final TP/RG/RK, respectivamente.

Nestes fluxogramas tem-se a seguinte simbologia:

- ▶ Entrada de matéria-prima
- ▶ Saída de efluentes
- ▶ Movimento das peças

#### **4.1.2 - Fluxogramas das atividades realizadas na Usinagem AE/AK/AZ (mini-fábrica 3)**

Na Usinagem AE/AK/AZ são acabados e tratados bielais, eixos, pinos, mancais, pistões e parafusos que aí chegam em sua forma bruta. Daí estas peças são então enviadas para a Montagem AE/AK/AZ. Nesta Usinagem, seis máquinas geradoras de efluente líquido foram estudadas.

##### **Lavadora de Bielais**

A Lavadora de Bielais trabalha 24 horas por dia, parando aos sábados as 19h e retornando aos domingos as 23h. Seus três estágios de desengraxe possuem, cada um, tanque de igual volume, com capacidade de 600L. Na figura 12 é ilustrado o fluxograma desta Lavadora.

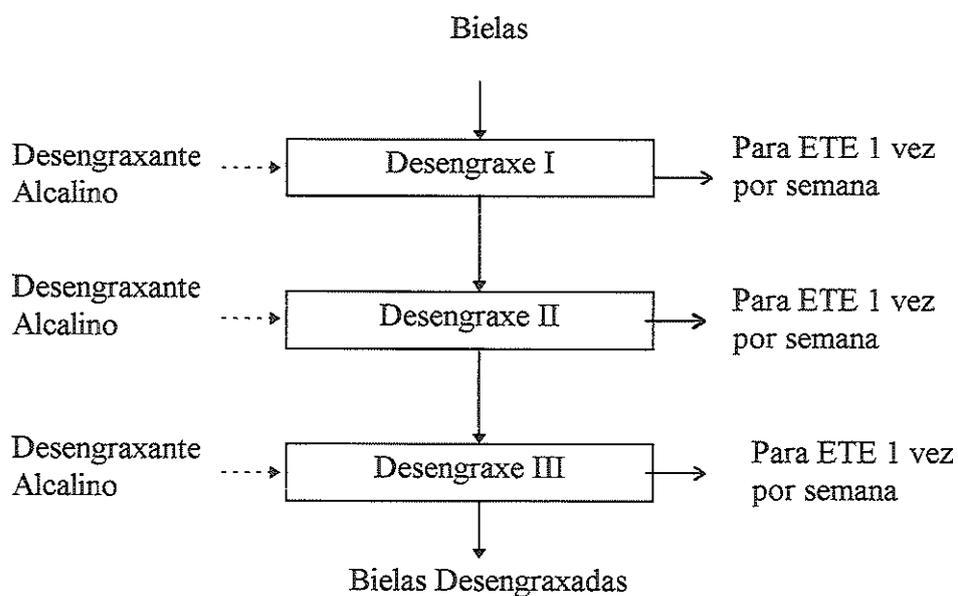


Fig. 12: Fluxograma da Lavadora de Bielas

### Lavadoras de Cabeçotes

Há duas Lavadoras de Cabeçotes, a I e a II, com o mesmo número de estágios e mesma finalidade. A diferença está no produto utilizado e no volume dos tanques de desengraxe. A Lavadora I tem dois tanques com volume igual a 600L, enquanto os dois tanques da Lavadora II têm volume igual a 850L. Ambas trabalham 24 horas por dia, parando aos sábados às 19h e retornando aos domingos, às 23h.

A figura 13 apresenta o fluxograma básico destas Lavadoras.

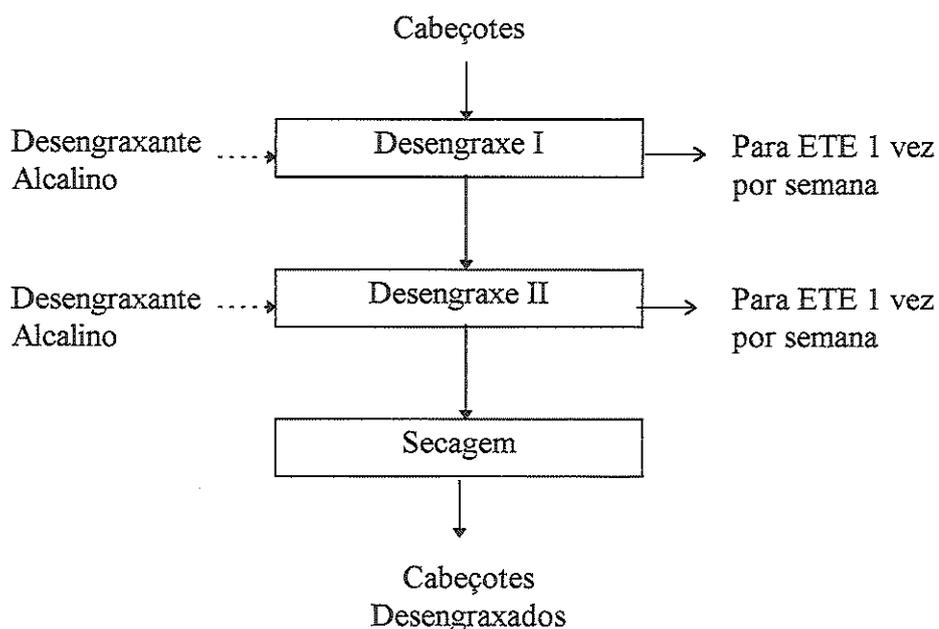


Fig. 13: Fluxograma das Lavadoras de Cabeçotes I e II

### Lavadora ASVOTEC/USINA

Assim como a Lavadora de Bielas a Lavadora ASVOTEC/USINA possui três estágios de desengraxe, cada qual com tanque de 1.500L de volume útil. Esta máquina funciona 24 horas por dia, parando aos sábados às 18h45min e retornando aos domingos às 23h.

Na figura 14 pode ser observado o movimento das peças tratadas na Lavadora ASVOTEC/USINA.

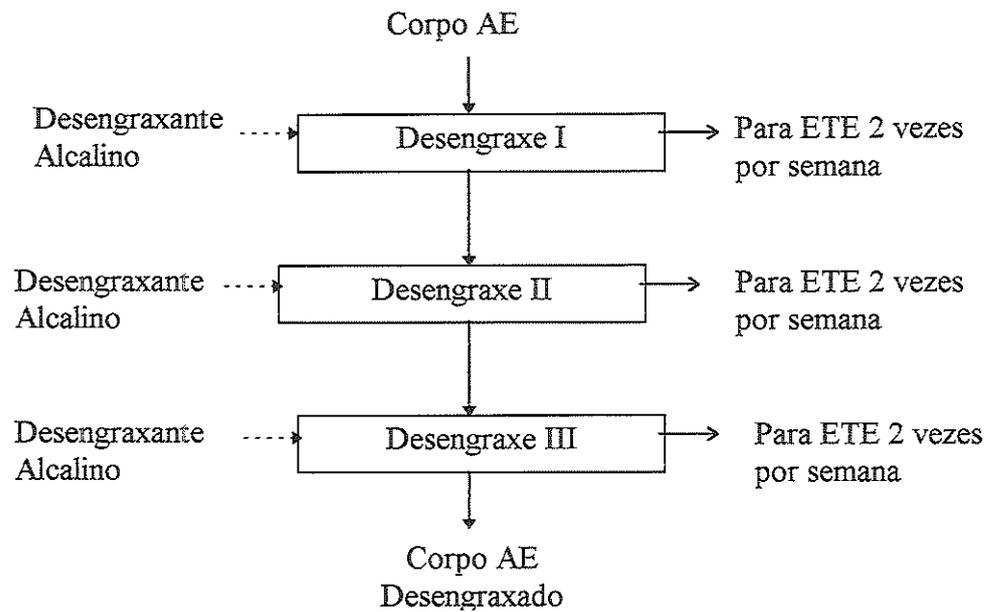


Fig. 14: Fluxograma da Lavadora ASVOTEC/USIN.

### Lavadora de Parafusos

Os dois tanques de desengraxe da Lavadora de Parafusos têm volume de 750L. Seu período de funcionamento é de aproximadamente 15 horas por dia, parando aos sábados às 6h30min e retornando aos domingos às 23h. No entanto, esta máquina trabalha de acordo com as necessidades da Montagem AE/AK/AZ podendo ter período de funcionamento superior ou inferior a 15 horas.

A figura 15 ilustra o fluxograma desta Lavadora.

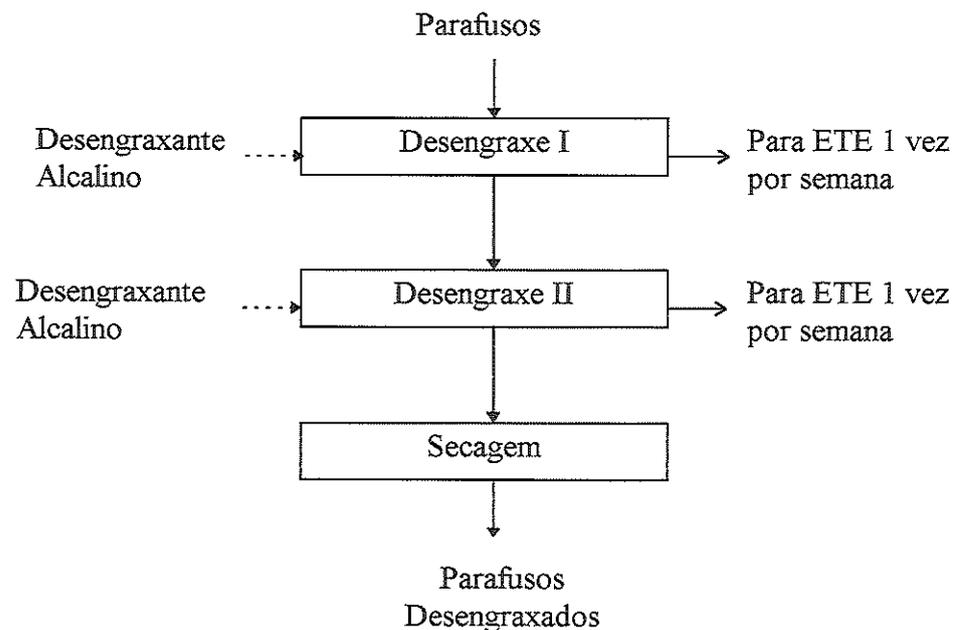
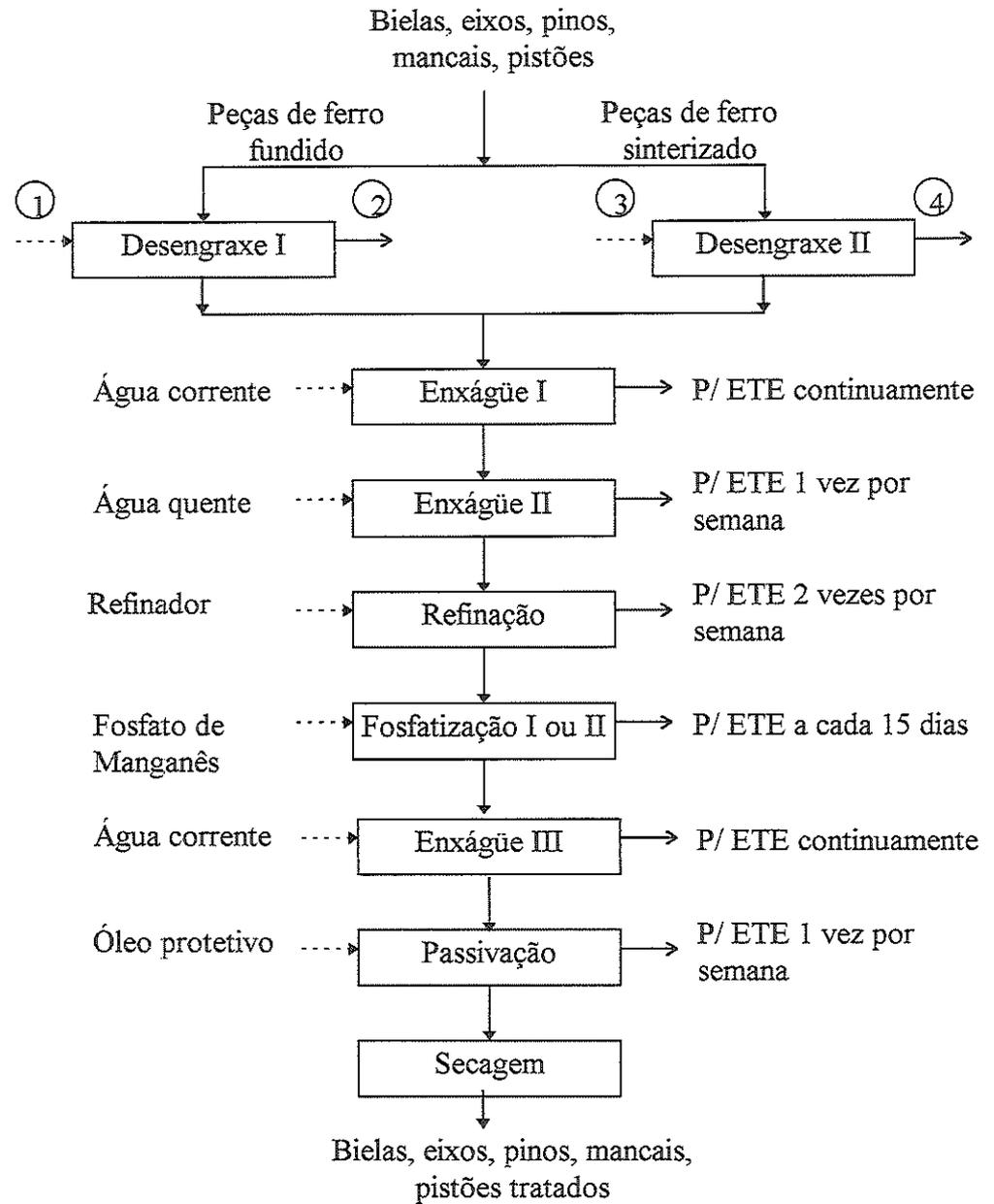


Fig. 15: Fluxograma da Lavadora de Parafusos

Em todas as máquinas descritas anteriormente o movimento das peças é feito por meio de esteiras automáticas e os banhos são realizados por pulverizador, sem que as peças sejam imersas nos tanques.

#### Lavadora Sistema Fosfato MN

A lavadora Sistema Fosfato MN, cujo fluxograma encontra-se ilustrado na figura 16, faz o acabamento com fosfato de manganês, em oito estágios, das seguintes peças: bielas, eixos, pinos, mancais e pistões. As peças são movimentadas manualmente, fixadas em cabides e ganchos, e são imersas nos tanques para a realização dos banhos. Esta máquina trabalha 24 horas por dia, parando aos sábados às 19h e retornando aos domingos às 20h.



- ① → desengraxante alcalino (PE 110);
- ② → P/ ETE 2 vezes por semana;
- ③ → Desengraxante químico (Extran MA 01);
- ④ → P/ ETE 1 vez por semana

Fig. 16: Fluxograma da Lavadora Sistema Fosfato MN

Os tanques da lavadora Sistema Fosfato MN têm os seguintes volumes: enxágües I, II e III, cada tanque com 600L; desengraxe I e I, 1000 e 1.600L, respectivamente; refinação e passivação, cada tanque com 1.200L e fosfatização I e II, cada qual com 1.700L.

A água quente utilizada no enxágüe II não é corrente e, devido a sua evaporação com o tempo, há necessidade de ser reposta freqüentemente.

O revestimento de fosfato de manganês é realizado em um ou outro tanque de fosfatização (fosfatização I ou II) alternadamente, mas o descarte da solução para limpeza dos tanques é realizado simultaneamente.

A solução de fosfato de manganês utilizada para o revestimento das peças é mandada continuamente a um decantador, onde é tratada, em seguida retornando ao tanque do banho. A cada quinze dias é então descartada para a ETE. A intervalos de aproximadamente 20 dias é feita a limpeza do decantador.

Os enxágües II e III são interligados por uma tubulação para que o efluente do enxágüe III retorne ao II, com o intuito de minimizar o consumo de água nesta lavadora. No entanto, os operários fecham esta tubulação para não utilizá-la.

Foi observado uma grande quantidade de óleo nos efluentes dos desengraxes das máquinas até então estudadas, o que já era previsto, já que estas etapas são iniciais no acabamento metálico das peças que constituem os compressores.

#### **4.1.3 - Fluxogramas das atividades realizadas na Estamparia (mini-fábrica 4)**

Na Estamparia, 60.000 chapas de aço são moldadas em tampas e carcaças de compressores por dia. Saem daí 30.000 tampas e 30.000 carcaças tratadas por dia, sendo que 24.000 unidades de cada peça são enviadas para a Montagem AE/AK/AZ na mini- fábrica 4, e 6.000, para a Montagem TP/RG/RK, na mini-fábrica 5.

A Estamparia trabalha 24 horas por dia, parando aos sábados às 19h e retornando aos domingos às 23h.

A figura 17 ilustra o fluxograma geral das atividades realizadas nesta mini - fábrica, na qual 4 máquinas que constituem fontes geradoras de efluente líquido foram estudadas. No entanto, uma destas máquinas, a Lavadora de Pequenas Peças, realiza o tratamento isolado de peças pequenas, sem que estas sigam o mesmo fluxo de movimento das tampas e carcaças. Este tratamento é realizado em uma máquina à parte, razão pela qual não aparece na figura 17, sendo, entretanto, mostrado na figura 21.

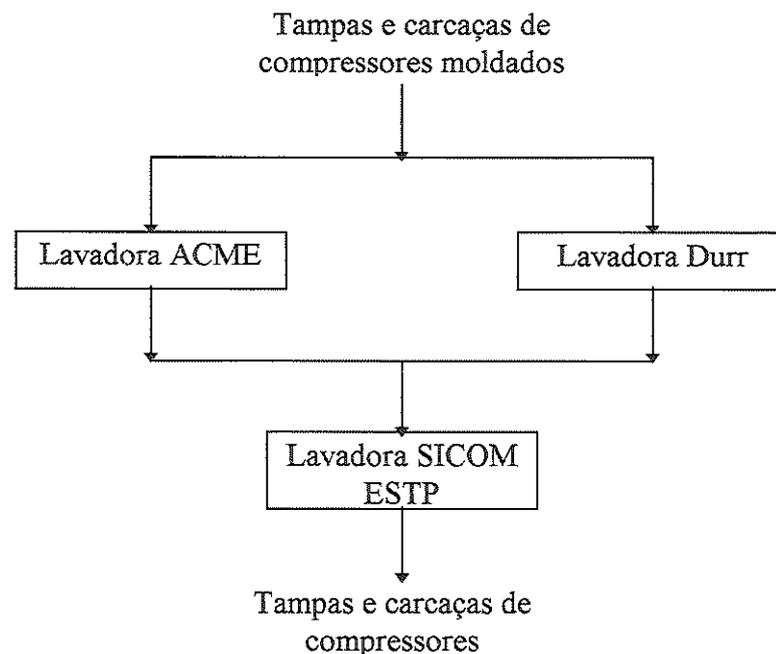


Figura 17: Fluxograma geral de atividades na Estamparia

### Lavadoras ACME e Durr

Após a moldagem das tampas e carcaças, estas passam por uma limpeza inicial realizada conjuntamente pelas Lavadoras ACME ou Durr, para que possam ser realizados alguns trabalhos de soldagem. Nestas máquinas as peças são movimentadas por meio de esteira automática e os banhos são realizados por pulverizador, sendo todos os tanques destas lavadoras de volume igual a 1.500L.

Nas figuras 18 e 19 são apresentados os fluxogramas das Lavadoras ACME e Durr, respectivamente.

### Lavadora ACME

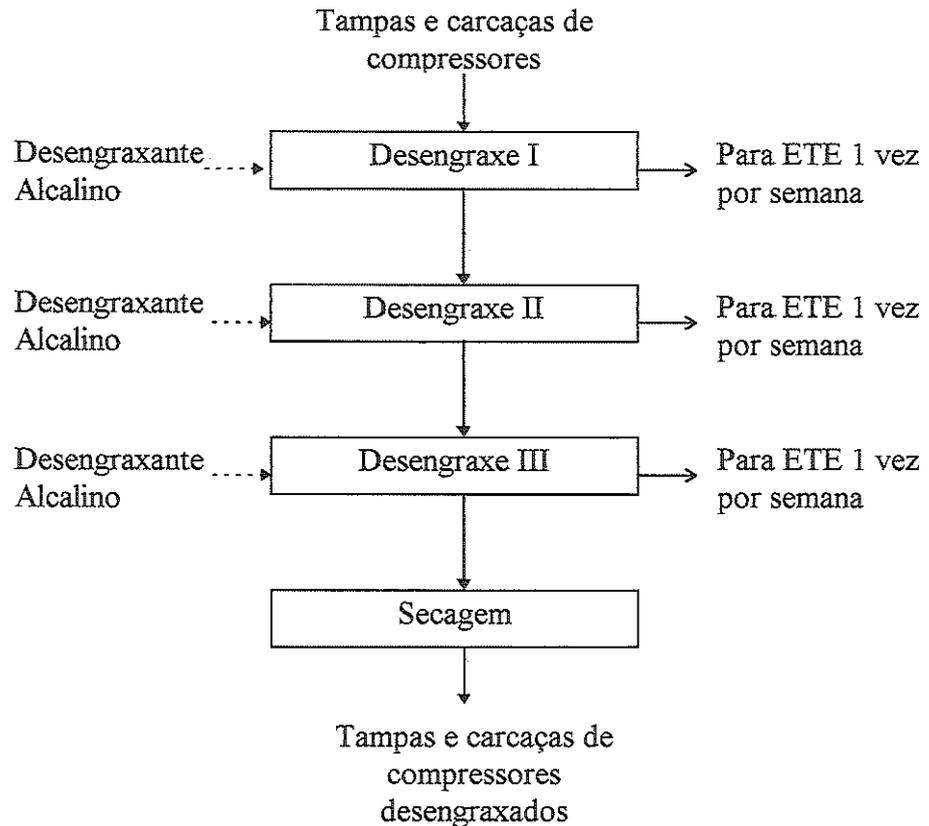


Fig. 18: Fluxograma da Lavadora ACME

Foi observado nesta máquina um freqüente transbordamento da solução de desengraxe, o que ocasiona perda de produtos químicos e água, bem como aumento no volume de efluentes a serem tratados na ETE.

### Lavadora Durr

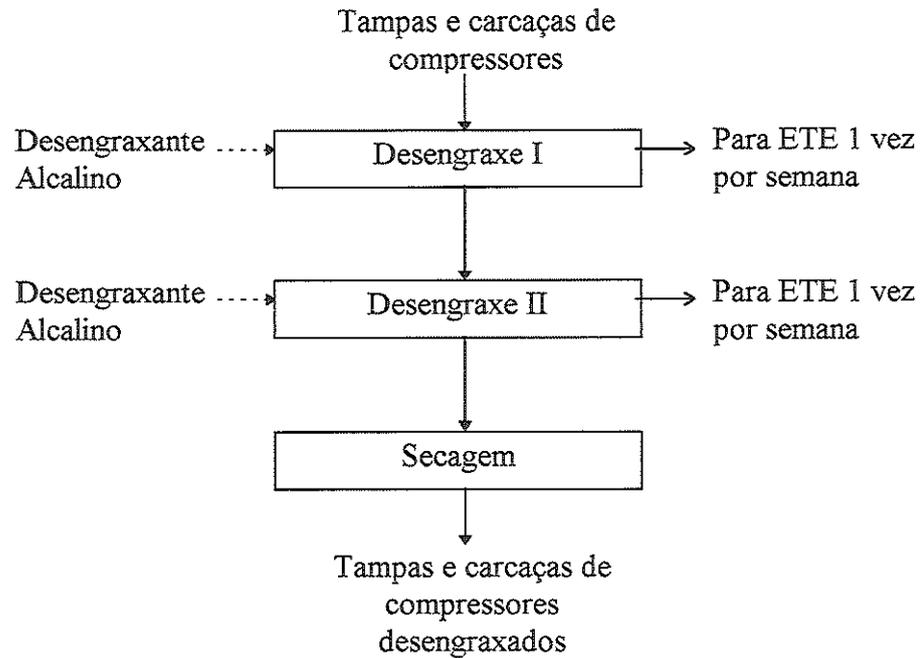


Fig. 19: Fluxograma da Lavadora Durr

Foi observada grande quantidade de óleo nos efluentes destas duas máquinas.

### Lavadora SICOM ESTP

Após a realização de algumas soldagens, as tampas e carcaças passam por uma outra máquina de lavagem que realiza mais uma limpeza interna e externa, a Lavadora SICOM ESTP, composta de seis estágios, cujo fluxograma é apresentado na figura 20. Nesta lavadora, bem como nas outras duas existentes na Estamparia, descritas anteriormente, as peças são movimentadas por meio de esteiras automáticas e os banhos são realizados por pulverizador.

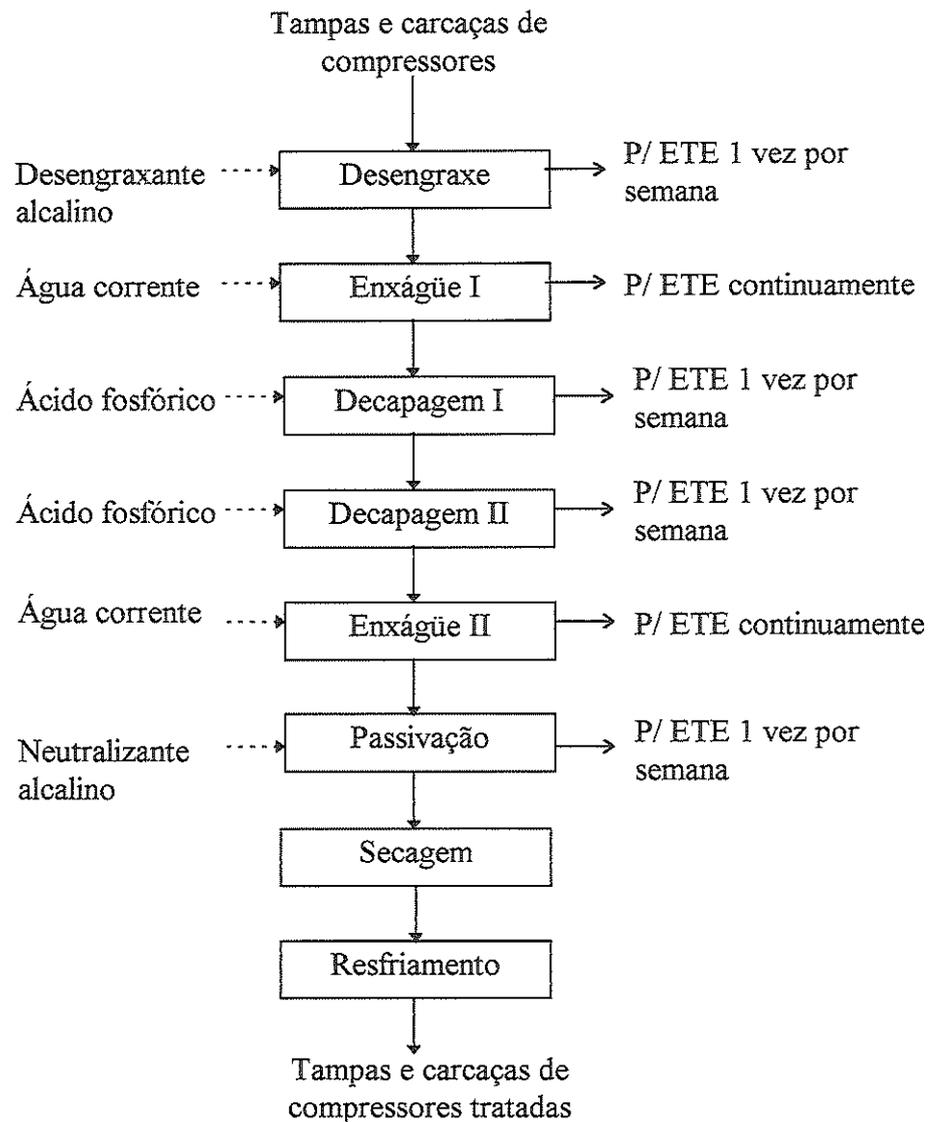


Fig.20: Fluxograma da Lavadora SICOM ESTP

Todos os banhos e enxágües da Lavadora SICOM ESTP têm tanques de volume igual a 2.000L.

## Lavadora de Pequenas Peças

Todos os tanques dos banhos realizados pela Lavadora de Pequenas Peças possuem volume igual a 400L. As peças são movimentadas manualmente e imersas nos tanques para a realização do tratamento.

A figura 21 ilustra o fluxograma desta lavadora.

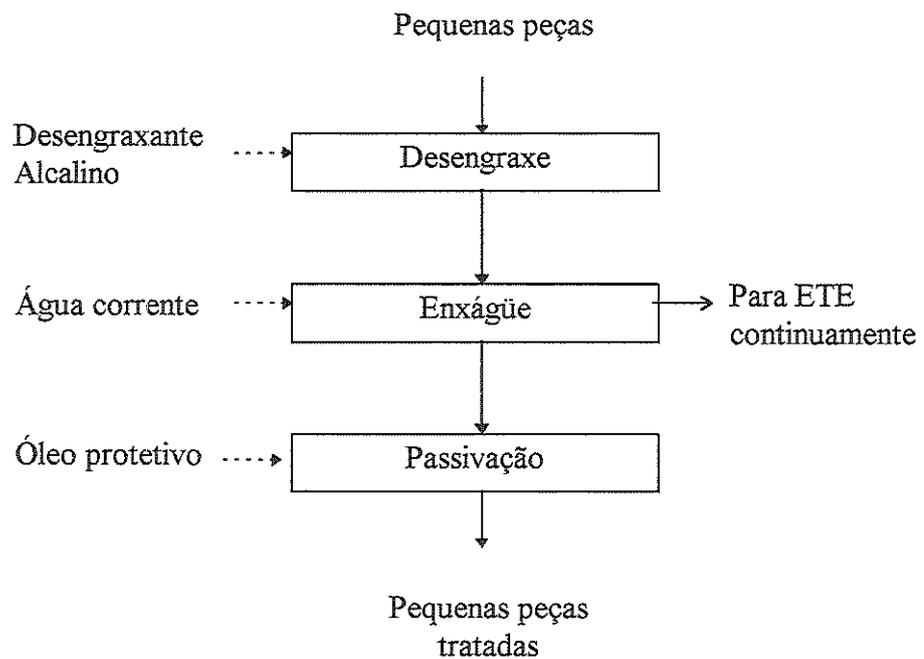


Fig. 21: Fluxograma da Lavadora de Pequenas Peças

A frequência de descarte da solução de desengraxe é aleatória, sendo feita quando análises químicas indicarem que a solução está esgotada.

O óleo protetivo da passivação das peças é utilizado tanto no próprio tanque de passivação, como pode ser retirado deste e colocado em uma outra máquina, em que peças que têm alguma rebarba são agitadas e assim tratadas. Estas máquinas também não possuem regularidade de descarte, restando apenas o enxágüe da Lavadora de Pequenas Peças para ser estudado.

#### 4.1.4 - Fluxogramas das atividades realizadas no Processo Final AE/AK/AZ (mini-fábrica 3)

Os 24.000 compressores que saem por dia da Montagem AE/AK/AZ vão para o Processo Final da mini- fábrica 3, onde passam por dois testes de hermeticidade, recebem um revestimento de fosfato de zinco e são finalmente pintados.

A pintura dos compressores apesar de constituir uma etapa do processo de acabamento de metais, não teve seus efluentes líquidos estudados neste trabalho, já que a geração destes efluentes é mínima, a intervalos de tempo bastante espaçados. Serão apenas descritas suas atividades.

Os testes de hermeticidade, no entanto, apesar de não fazerem parte deste processo, foram estudados por ter sido observado consumo e descarte de grande volume de água, produto utilizado nesta etapa de finalização dos compressores.

O Processo Final AE/AK/AZ trabalha 24 horas por dia, parando aos sábados às 6h30min para manutenção das máquinas e retornando aos domingos às 23h.

A figura 22 ilustra o fluxograma geral de atividades desta mini - fábrica.

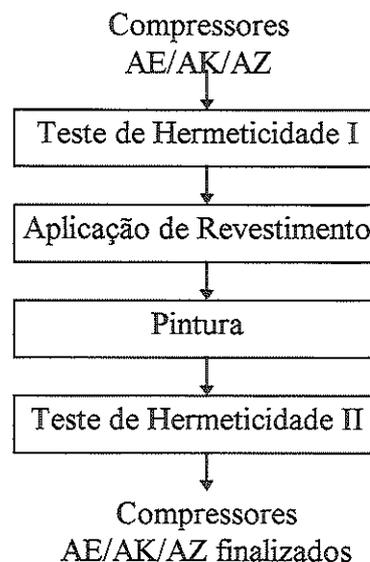


Fig. 22: Fluxograma geral de atividades no Processo Final AE/AK/AZ

### Teste de hermeticidade I

Este teste é realizado por imersão das peças em um tanque de volume igual a 5.600L, denominado Banheira de Alta Pressão, com o intuito de verificar se há vazamentos nos compressores.

Durante a operação desta banheira são realizados alguns descartes da água que é o produto aí utilizado, cuja frequência encontra-se na tabela 10, para evitar sua contaminação e conseqüentes problemas com o teste.

Tabela 10: Frequência do descarte realizado na Banheira de Alta Pressão

<b>Turno</b>	<b>Hora (h)</b>	<b>Volume Descartado (L)</b>
Manhã	11	5.600
Tarde	18	2.800
	21	5.600
Noite	1	5.600

A água da Banheira de Alta pressão também é totalmente descartada (5.600L) para sua limpeza, uma vez por semana.

A frequência de descartes apresentada na tabela 10 pode variar de acordo com resultados de análises químicas.

### Lavadora Fosfato Final

Após o teste de hermeticidade, os compressores passam pela Lavadora Fosfato Final, constituída de nove estágios, cujo fluxograma pode ser visto na figura 23. Nesta máquina os compressores recebem revestimento de fosfato de zinco.

As peças são movimentadas por meio de esteiras automáticas e os banhos são por pulverizador.

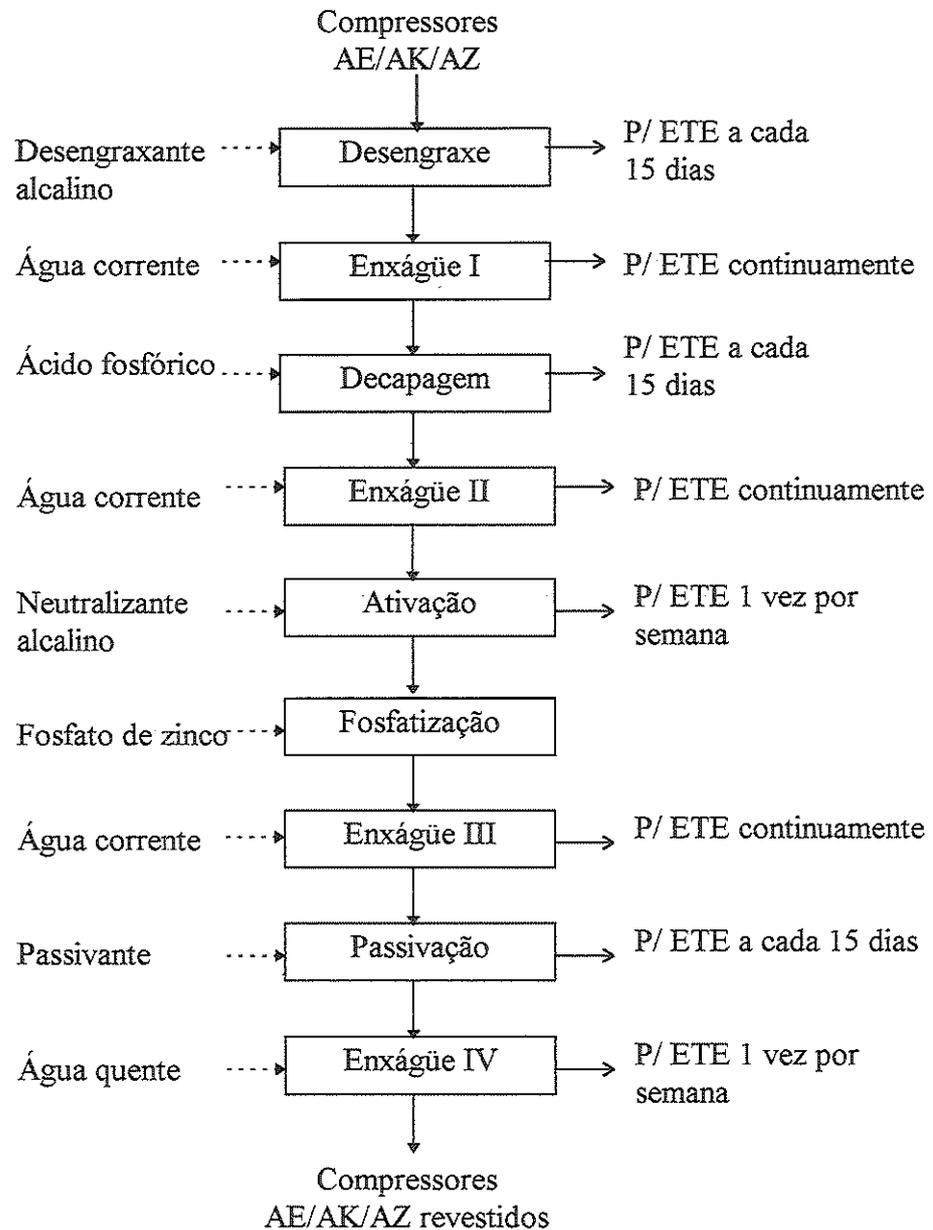


Fig. 23: Fluxograma da Lavadora Fosfato Final

Os tanques de cada estágio da Lavadora Fosfato Final têm os seguintes volumes: enxágües I, II, III e passivação, 2.300L; enxágüe IV, 1.300L; desengraxe e decapagem, 4.300L; ativação, 900L e fosfatização, 4.500L.

A água quente utilizada no último enxágüe, o IV, não é corrente e, devido a sua evaporação com o tempo, há necessidade de ser repostada freqüentemente.

Observou-se que a quantidade de óleo do estágio de desengraxe é bem inferior a dos efluentes das lavadoras localizadas na Usinagem AE/AK/AZ e na Estamparia, o que já era previsto, já que é a última etapa do processo de acabamento de metais e os compressores quando chegam a ela já encontram-se praticamente limpos.

Na fosfatização, quando o tanque está sendo lavado, a solução de fosfato de zinco, é enviada a um decantador, uma vez por mês, no qual é tratada e depois retorna ao banho de revestimento. O efluente líquido gerado neste estágio do acabamento metálico dos compressores constitui-se da lama que fica no fundo do tanque e do resíduo do decantador. Esta lama é despejada em um reservatório localizado abaixo do tanque de fosfatização e é em seguida enviada para a ETE.

Existe entre os estágios 2 e 3, 3 e 4 e também 6 e 7 tubulações para coleta dos respingos dos compressores, quando da sua passagem de um estágio para outro. Estas tubulações também coletam pequeno volume das soluções que são desviadas dos jatos da máquina, durante a realização dos banhos. As duas situações contribuem, apesar de modestamente, para o aumento do volume de efluentes líquidos gerado.

### **Banheira de pintura**

aplicado o revestimento de fosfato de zinco, os compressores são pintados por imersão na Banheira de Pintura. Nesta etapa da finalização dos compressores AE/AK/AZ o efluente líquido é gerado quando a tinta é removida para ser recuperada, o que é feito através de filtração, e a banheira é lavada. Esta remoção da

tinta para sua recuperação e depois retorno à Banheira de Pintura ocorre a cada três meses. Os resíduos que ainda ficam na banheira durante esta operação são retirados com solvente e enviados para tratamento na ETE.

### **Teste de hermeticidade II**

Os compressores pintados passam por outro teste de hermeticidade, na Banheira de Baixa Pressão, cujo volume é de 6.000L.

O intuito da realização deste teste de hermeticidade é de se verificar se há vazamentos nos plugues de entrada do gás nitrogênio nos compressores. A introdução deste gás é necessária para evitar oxidação interna dos compressores.

De 20 a 30% do volume de água utilizada nesta banheira são descartados duas vezes por semana para que seja evitada, como no teste de hermeticidade I, sua contaminação e conseqüentes problemas com o teste. Também há um descarte, uma vez por semana, de toda a água, para limpeza da banheira.

Também como no teste de hermeticidade I, a frequência de descartes pode variar de acordo com resultados de análises químicas que são usadas para controle da qualidade da água.

### **4.1.5 - Fluxogramas das atividades realizadas no Processo Final TP/RG/RK (mini-fábrica 5)**

Os 6.000 compressores que saem por dia da Montagem TP/RG/RK vão para o Processo Final da mini-fábrica 5, na qual passam por um teste de hermeticidade, recebem revestimento de fosfato de manganês e são finalmente pintados.

Os efluentes da pintura dos compressores, como no Processo Final AE/AK/AZ, não foram estudados com detalhes, devido ao volume gerado ser em quantidade muito pequena.

O teste de hermeticidade, apesar de não fazer parte do processo de acabamento metálico dos compressores, também foi estudado neste Processo Final, por ter sido observado consumo e descarte de grande volume de água, utilizada para a realização deste teste.

O Processo Final TP/RG/RK trabalha 24 horas por dia, parando aos sábados às 6h30min para manutenção das máquinas e retornando aos domingos às 23h.

Esta mini - fábrica tinha aproximadamente um ano de funcionamento, quando foram coletados os dados para a realização deste trabalho e as máquinas encontravam-se em fase de ajustes. Modificações ocorriam com frequência, podendo assim variar não só a frequência de descarte dos efluentes gerados, mas também as atividades de aplicação do revestimento aos compressores, na Lavadora Túnel de Fosfatização.

Na figura 24 pode-se observar o fluxograma geral de atividades desta mini - fábrica.

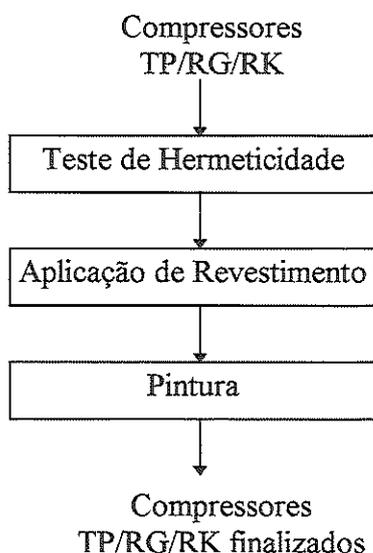


Fig. 24: Fluxograma geral de atividades do Processo Final TP/RG/RK

### **Teste de hermeticidade**

Também neste processo final é realizado um teste de hermeticidade por imersão dos compressores em um tanque de volume igual a 17.000L, denominado Banheira de Alta Pressão.

Toda a água utilizada no teste é descartada uma vez por dia para se evitar sua contaminação. Além disso, também é realizada a limpeza da banheira uma vez por semana.

Foi observado que existe uma tubulação interligando a Banheira de Alta pressão e os estágios de enxágüe da Lavadora Túnel de Fosfatização, que realiza a aplicação de revestimento aos compressores. Esta tubulação foi instalada com o intuito de se fazer o reaproveitamento direto do efluente do teste de hermeticidade, o que não estava ainda ocorrendo.

### **Lavadora Túnel de Fosfatização**

Após o teste de hermeticidade, os compressores passam pela Lavadora Túnel de Fosfatização, na qual recebem revestimento de fosfato de manganês. Seu fluxograma encontra-se ilustrado na figura 25

As peças são movimentadas por meio de esteiras automáticas e os banhos são feitos por pulverizadores.

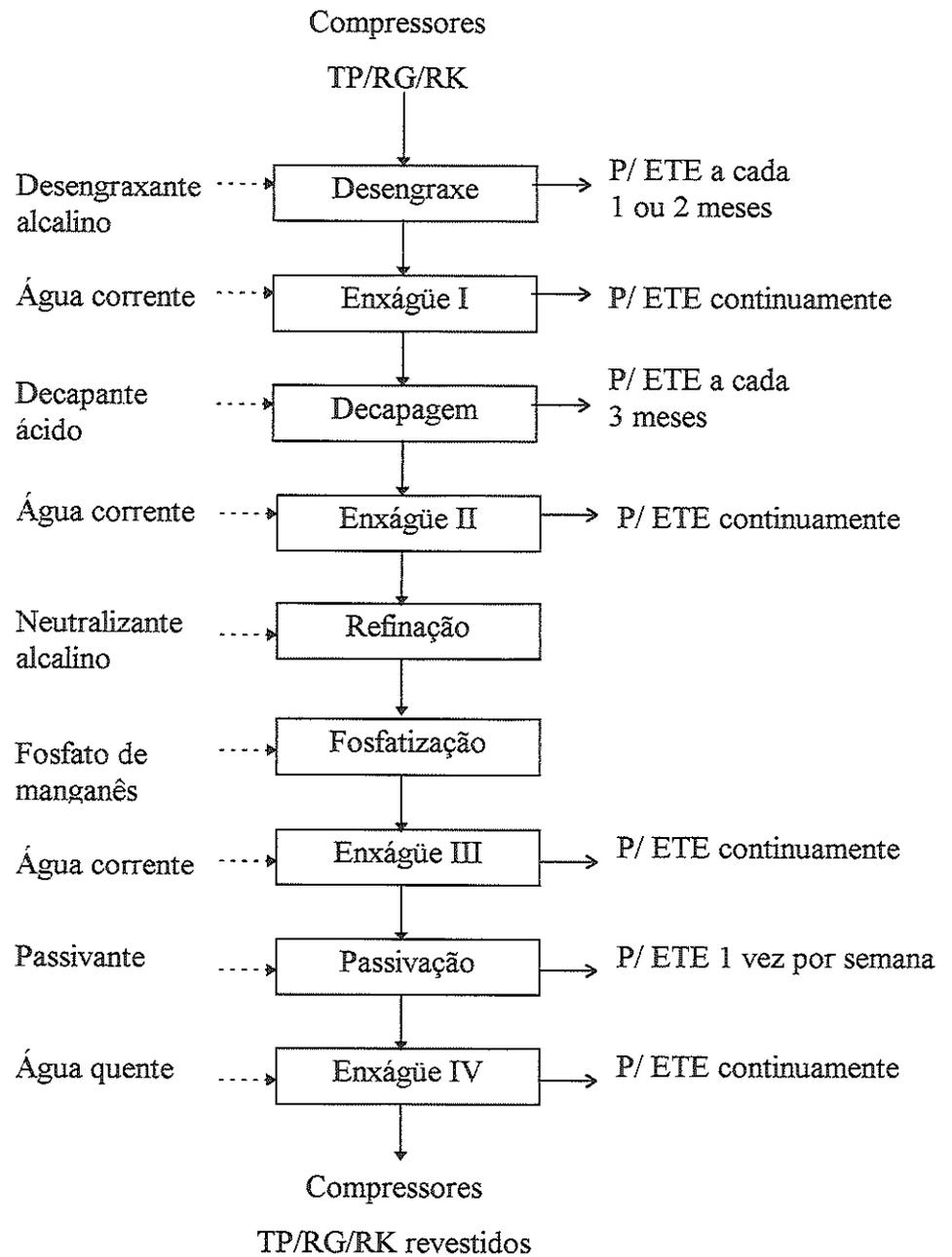


Fig. 25: Fluxograma da Lavadora Túnel de Fosfatização

Os tanques da Lavadora Túnel de Fosfatização têm os seguintes volumes: enxágües I, II, III, refinação e passivação, cada qual com 3.730L; enxágüe IV, 2.300L; desengraxe, 6.615L, decapagem, 8.230L e fosfatização, 8.025L.

Em todos os enxágües desta lavadora, com exceção do último, apesar de ser utilizada água corrente, são realizados descarte e reposição de 50% da água dos tanques duas vezes ao dia e de 100%, uma vez ao dia, para se evitar sua contaminação.

O estágio de refinação dos compressores não apresenta frequência de descarte. Este é feito de acordo com resultados de análises químicas que indicam a necessidade de substituição.

A solução de fosfato de manganês utilizada para o revestimento dos compressores é mandada continuamente a um filtro prensa e retornada, após sua recuperação, ao tanque de origem. O filtro prensa é limpo a cada dois dias e o lodo que aí se deposita, juntamente com a água de sua lavagem, constituem o efluente líquido gerado por este estágio.

## **Pintura**

Na etapa de pintura dos compressores, finalização dos compressores estes são submetidos a uma pré - lavagem com água desionizada, para melhorar a aderência da tinta; a uma pintura eletroforética, realizada em uma banheira de volume igual a 40.000L e a três banhos pós - pintura com volume de 4.500L cada.

O fluxograma das atividades realizadas na máquina de pintura encontra-se ilustrado na figura 26.

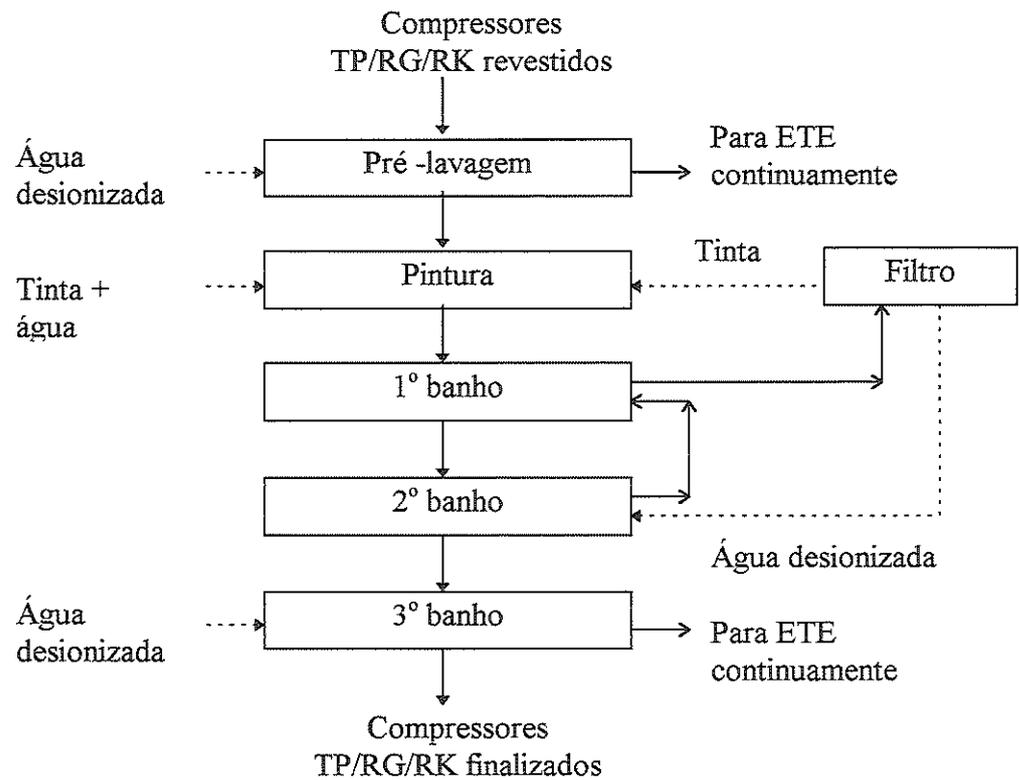


Fig. 26: Fluxograma da máquina de pintura

Pôde-se observar, com o estudo do fluxograma do processo industrial, conforme citado no item 3.5.2, que os responsáveis pela geração de efluentes líquidos no processo de acabamento de metais são os enxágües, o descarte de banhos não regeneráveis ou devido a sua contaminação, os vazamentos e transbordamentos e a lavagem de pisos.

O descarte de todos os banhos estudados pode variar de acordo com a necessidade de substituição das soluções, devido à contaminação ou erro em dosagens de produtos químicos, o que é determinado através de análises químicas.

A geração de efluentes por contaminação de um banho implica em perda de produto químico e água e também no aumento da concentração de poluentes e do volume de efluentes a serem tratados.

A lavagem dos tanques das máquinas, que é feita utilizando-se mangueiras e água do reservatório central (água do poço artesiano), com procedimento variável de acordo com as dificuldades encontradas em cada local, também é fonte de geração de efluentes. Verificou-se o consumo de grande volume de água durante esta atividade.

Nesta etapa do trabalho, durante o estudo do fluxograma do processo de produção, foi possível observar as práticas operacionais dos funcionários da indústria.

Verificou-se que algumas vezes o processo de operação das máquinas não foi rigidamente seguido e algumas das medidas implantadas para a redução do consumo de água, não foram adotadas pelos operários, que desconhecem a real importância da minimização de efluentes.

A grande rotatividade de operários na indústria contribui, mas não justifica, a não integração entre os grupos dos diferentes turnos de trabalho, o que ocasiona uma falta de informações que também dificulta a operação das máquinas.

As vazões de todos os enxágües estudados na indústria são controladas manualmente, utilizando-se da experiência do operário ou da verificação do pH da água dos tanques, que é mantido na faixa de valor recomendado mediante o aumento ou diminuição de vazão da água de enxágüe, podendo acarretar em variações no volume e nas características dos efluentes enviados à ETE.

Confirmando a afirmação de BRINGER (1989) de que há algum tempo vem surgindo uma consciência ambiental nas indústrias, foi observado, durante o estudo de caso na Tecumseh do Brasil Ltda., uma certa preocupação em minimizar os efluentes líquidos do seu processo de produção, seja devido aos custos de seu tratamento e disposição, à pressões populares, à competitividade no mercado, ou outros fatores. Esta preocupação é traduzida na aquisição de novas máquinas que geram menos efluentes ou que recuperam aqueles que não podem ser usados ou reutilizados diretamente.

## 4.2 - Volume de efluentes gerado por cada fonte

### 4.2.1 - Volume de efluentes gerados continuamente pelos enxágües

#### Usinagem AE/AK/AZ: mini-fábrica 3

Na Usinagem AE/AK/AZ, Lavadora Sistema Fosfato Mn, figura 16, apenas o enxágüe III, que equivale a seu sexto estágio pôde ter sua vazão medida. No enxágüe I havia transbordamento contínuo pela parte superior do tanque, além de ter dois pontos de entrada de efluente, um deles com entrada abaixo do nível da água do tanque, não podendo a vazão ser medida na entrada.

Na tabela 11 são apresentados os resultados de vazões no enxágüe III.

Tabela 11: Vazão de efluentes dos enxágües na Lavadora Sistema Fosfato MN

Ponto de Medição	Vazão		
	(L/s)		
	Medição 1	Medição 2	Medição 3
enxágüe III	0,08	0,37	0,11

Observou-se uma variação da vazão de saída bastante significativa no enxágüe III. Durante a imersão das peças neste tanque, a vazão aumentou muito e houve transbordamento de água. Quando as peças foram retiradas, a vazão diminuiu, devido ao abaixamento do nível da água do tanque. Este acontecimento dificultou as medições.

#### Estamparia: mini-fábrica 4

Na Estamparia duas máquinas apresentam estágios que geram efluente líquido continuamente: a Lavadora SICOM ESTP e a Lavadora de Pequenas Peças, cujos resultados de vazão encontram-se na tabela 12.

Apesar das bombas existentes nos 1º, 2º, 5º e 6º estágios da Lavadora SICOM ESTP também gerarem efluente líquido, a quantidade descartada de líquido era tão pequena que suas vazões não puderam ser medidas. Decidiu-se então não caracterizar estes efluentes para maiores estudos.

Tabela 12: Vazão de efluentes dos enxágües das máquinas na Estamparia

Máquina	Ponto de Medição	Vazão (L/s)		
		Medição 1	Medição 2	Medição 3
Lavadora SICOM ESTP	enxágüe I	1,40	3,98	0,86
	enxágüe II	0,97	0,76	0,18
Lavadora Pequenas. Peças	enxágüe	1,86	0,08	0,15

#### Processo Final AE/AK/AZ: mini-fábrica 3

As fontes geradoras de efluente líquido no Processo Final AE/AK/AZ, cujas vazões são contínuas (os enxágües) encontram-se apenas na Lavadora Fosfato Final. As vazões e volumes gerados por esta máquina encontram-se apresentadas na tabela 12.

Tabela 13: Vazão de efluentes dos enxágües na Lavadora Fosfato Final

Ponto de Medição	Vazão		
	(L/s)		
	Medição 1	Medição 2	Medição 3
enxágüe I	0,37	0,63	0,09
tubulação entre 2º e 3º estágios	0,03	0,07	0,02
tubulação entre 3º e 4º estágios	0,04	0,06	0,08
enxágüe II	0,83	0,68	0,42
tubulação entre 6º e 7º estágios	0,04	0,14	0,00
enxágüe III	0,41	0,75	0,16

Devido às vazões das tubulações entre estágios ser pequena e algumas vezes nem existir, decidiu-se não caracterizar estes efluentes para maiores estudos.

#### Processo Final TP/RG/RK: mini-fábrica 5

Os quatro enxágües da Lavadora Túnel de Fosfatização são responsáveis pela contínua geração de efluente líquido desta mini-fábrica.

Tabela 14: Vazão de efluentes dos enxágües na Lavadora Túnel de Fosfatização

Ponto de Medição	Vazão		
	(L/s)		
	Medição 1	Medição 2	Medição 3
enxágüe I	0,20	0,49	0,07
enxágüe II	0,40	0,62	0,13
enxágüe III	0,78	0,45	0,07
enxágüe IV	0,42	0,30	0,10

Devido a grande variação existente entre as três vazões obtidas para cada estágio de enxágue estudado, não foram determinados os valores médios destas vazões, já que não seriam dados representativos. Conseqüentemente, também não foram calculados os volumes médios de efluente líquido gerados, o real objetivo desta determinação de vazões.

As variações observadas podem ter ocorrido em conseqüência de operação ineficiente das máquinas, do controle manual de vazões ou devido às medições terem sido feitas em diferentes períodos de produção (hora, dia e época do ano). Durante o período em que estava sendo realizado o estudo de caso, foram dadas férias a muitos funcionários, tendo sido observada uma diminuição na produção. Neste período, a mini-fábrica 5 parou seus trabalhos.

#### 4.2.2 - Volume de efluentes gerado devidos ao descarte de soluções para lavagem dos tanques

##### Usinagem AE/AK/AZ: mini-fábrica 3

Tabela 15: Volume de efluentes gerado durante a lavagem de tanques na Usinagem AE/AK/AZ

Máquina	Fonte Geradora	Vdescarte (m <sup>3</sup> )	Frequência de Descarte	Vmensal * (m <sup>3</sup> )
Lavadora de Bielas	Desengraxe I	0,60	1 vez/semana	2,40
	Desengraxe II	0,60	1 vez/semana	2,40
Lavadora de Cabeçotes I	Desengraxe I	0,60	1 vez/semana	2,40
	Desengraxe II	0,60	1 vez/semana	2,40

Tabela 15: Volume de efluentes gerado durante a lavagem de tanques na Usinagem  
AE/AK/AZ

Máquina	Fonte Geradora	Vdescarte (m <sup>3</sup> )	Frequência de Descarte	Vmensal* (m <sup>3</sup> )
Lavadora de Cabeçotes II	Desengraxe I	0,85	1 vez/semana	3,40
	Desengraxe II	0,85	1 vez/semana	3,40
ASVOTEC/USIN.	Desengraxe I	1,50	1 vez/semana	6,00
	Desengraxe II	1,50	2 vezes/semana	12,00
	Desengraxe III	1,50	2 vezes/semana	12,00
Sistema Fosfato MN	Desengraxe I	1,00	2 vezes/semana	8,00
	Desengraxe II	1,60	1 vez/semana	6,40
	Enxágüe I	0,60	1 vez/semana	2,40
	Enxágüe II	0,60	1 vez/semana	2,40
	Refinação	1,20	2 vezes/semana	9,60
	Fosfatização I	1,70	1 vez a cada 15 dias	3,40
	Fosfatização II	1,70	1 vez a cada 15 dias	3,40
	Enxágüe III	0,60	1 vez/semana	2,40
	Passivação	1,20	1 vez/semana	4,80
Lavadora de Parafusos	Desengraxe I	0,75	1 vez/semana	3,00
	Desengraxe II	0,75	1 vez/semana	3,00
TOTAL				95,20

\* Considerando mês com 4 semanas.

### Estamparia: mini-fábrica 4

Tabela 16: Volume de efluentes gerado durante a lavagem de tanques na Estamparia

Máquina	Fonte Geradora	Vdescarte (m <sup>3</sup> )	Frequência de Descarte	Vmensal* (m <sup>3</sup> )
Lavadora ACME	Desengraxe I	1,50	1 vez/semana	6,00
	Desengraxe II	1,50	1 vez/semana	6,00
	Desengraxe III	1,50	1 vez/semana	6,00
Lavadora Durr	Desengraxe I	1,50	1 vez/semana	6,00
	Desengraxe II	1,50	1 vez/semana	6,00
	Desengraxe III	2,00	1 vez/semana	8,00
Lavadora SICOM ESTP	Enxágüe I	2,00	1 vez/semana	8,00
	Decapagem I	4,00	1 vez/semana	16,00
	Decapagem II	4,00	1 vez/semana	16,00
	Enxágüe II	2,00	1 vez/semana	8,00
	Passivação	2,00	1 vez/semana	8,00
TOTAL				94,00

\* Considerando mês com 4 semanas.

**Processo Final AE/AK/AZ: mini-fábrica 3**

Tabela 17: Volume de efluentes gerado durante a lavagem de tanques no Processo Final AE/AK/AZ

Máquina	Fonte Geradora	Vdescarte (m <sup>3</sup> )	Frequência de Descarte	Vmensal* (m <sup>3</sup> )
Banheira de Alta Pressão	-	5,60	3 vezes/dia	16,80
	-	2,80	1 vez/dia	2,80
Lavadora Fosfato Final	Desengraxe	4,30	1 vez a cada 15 dias	8,60
	Enxágüe I	2,30	1 vez/semana	9,20
	Decapagem	4,30	1 vez a cada 15 dias	8,60
	Enxágüe II	2,30	1 vez/semana	9,20
	Ativação	0,90	1 vez a cada 15 dias	1,80
	Enxágüe III	2,30	1 vez/semana	9,20
	Passivação	2,30	1 vez a cada 15 dias	4,60
	Enxágüe IV	1,30	1 vez/semana	5,20
Banheira de Baixa Pressão	-	1,80	2 vezes/semana	3,60
	-	6,00	1 vez/semana	6,00
TOTAL				85,60

\* Considerando mês com 4 semanas.

**Processo Final TP/RG/RK: mini-fábrica 5**

Tabela 18: Volume de efluentes gerado durante a lavagem de tanques do Processo Final TP/RG/RK

Máquina	Fonte Geradora	Vdescarte (m <sup>3</sup> )	Frequência de Descarte	Vmensal* (m <sup>3</sup> )
Banheira de Alta Pressão	-	17,00	1 vez /dia	408,00
Lavadora Túnel de Fosfatização	Desengraxe	6,62	1 vez a cada 1 ou 2 meses	-
	Enxágüe I	3,73	1 vez/semana	14,92
	Decapagem	8,23	1 vez a cada 3 meses	-
	Enxágüe II	3,73	1 vez/semana	14,92
	Refinação	3,73	não existe	-
	Enxágüe III	3,73	1 vez/semana	14,92
	Passivação	3,73	1 vez/semana	14,92
	Enxágüe	2,30	1 vez/semana	9,20
<b>TOTAL</b>				<b>476,88</b>

\* Considerando mês com 4 semanas.

De acordo com os volumes totais apresentados nas tabelas 15 a 18, observou-se que o Processo Final TP/RG/RK, na mini-fábrica 5, é o maior gerador de efluente líquido do processo de acabamento metálico dos compressores, na Tecumseh do Brasil Ltda.

Comparando-se os volumes mensais de todas as fontes geradoras, observou-se que os enxágües, como foi comentado no item 3.5.2, são realmente os maiores responsáveis por esta geração de efluentes, já que além do volume descartado

para a limpeza de seus tanques, há também o lançamento contínuo de seus efluentes para o tratamento, evitando assim a contaminação da água de enxágüe.

Verificou-se um aumento no volume de efluentes e provavelmente também na concentração de poluentes enviados para a ETE nos finais de semana, devido ao descarte de banhos e à limpeza de tanques serem realizados, em sua maioria, neste período.

#### **4.3 - Resultados obtidos através da primeira caracterização dos efluentes**

Os resultados obtidos com a primeira caracterização dos efluentes líquidos da Tecumseh do Brasil Ltda. estão apresentados nas tabelas 19 a 32, no Anexo A deste trabalho.

A partir destes resultados foi realizado um estudo das características de cada efluente. Confirmou-se a presença de grande quantidade de óleos e graxas nos efluentes dos desengraxes das máquinas localizadas na Usinagem AE/AK/AZ e na Estamparia, o que já fora observado durante o estudo do fluxograma do processo de produção industrial. Verificou-se, no entanto, que os efluentes da Lavadora ASVOTEC/USINA., instalada na Usinagem, não apresentam alta concentração destes poluentes, contrariando os resultados esperados.

As análises de sólidos mostraram que todos os efluentes caracterizados possuem uma quantidade elevada ou pelo menos razoável de sólidos em sua composição.

Os banhos de revestimento e os estágios que os seguem apresentaram, em sua maioria, efluentes com alta concentração de fosfato e do metal utilizado para o acabamento das peças. Já nos banhos de decapagem, o efluente gerado apresentou em sua composição grande concentração de fosfato e ferro, sendo a presença deste já esperada, visto que o objetivo deste estágio é a remoção de oxidação das peças. O ferro foi o metal mais constantemente encontrado nos efluentes estudados.

Os efluentes das banheiras utilizadas pelos testes de hermeticidade nos Processos Finais AE/AK/AZ e TP/RG/RK foram os que apresentaram menor concentração de poluentes, seguidos pelos efluentes dos enxágües. A Lavadora de Pequenas Peças, localizada na Estamparia, chamou a atenção devido à geração de um efluente, pelo estágio de enxágüe, praticamente isento de poluentes.

#### **4.4 - Proposição de alternativas para prevenção à poluição**

Feita a avaliação dos resultados obtidos através da primeira caracterização dos efluentes, foram propostas algumas alternativas de prevenção à poluição industrial.

##### **4.4.1 - Redução na fonte**

Para reduzir a geração de efluentes líquidos na fonte, na indústria Tecumseh do Brasil Ltda, são sugeridas neste trabalho modificações na tecnologia utilizada e nas práticas operacionais do processo de acabamento metálico de compressores.

##### **Modificações na tecnologia**

Como citado no item 2.4, a tecnologia utilizada pode sofrer modificações de rápida implementação e baixo custo ou de custo elevado, quando envolvem alterações no processo de produção. As modificações na tecnologia sem que seja alterado o processo de produção abrangem modificações nos equipamentos, no “lay-out” e nas tubulações de uma indústria (THEODORE & MACGUINN 1992).

Sugere-se então que algumas máquinas sejam alteradas, através da introdução de novos tanques, para que possam ser realizados enxágües contra-corrente em múltiplos estágios e assim seja reduzido o volume de efluentes líquidos gerados por estas fontes em toda a indústria. Também são necessárias modificações no “lay-out” da mini-fábrica onde estão localizadas estas máquinas, para que haja espaço suficiente para a introdução destes novos tanques.

Ainda para a minimização de efluentes dos enxágües, pode-se fazer o controle de sua vazão de entrada, pela utilização de controladores de vazão e medidores de condutividade e pH, como também foi relatado por THEODORE & MACGUINN (1992).

Modificações na máquina Lavadora Fosfato Final, localizada no Processo Final AE/AK/AZ, na mini-fábrica 3, pela implementação de drenos, tanques, calhas de gotejamento ou outros métodos de retorno de líquido ao banho de origem, podem reduzir e até eliminar a geração de efluentes por respingos e arraste de soluções de um estágio para outro.

### **Modificações nas práticas operacionais**

A implementação de programas de prevenção à poluição é a primeira atitude que deve ser tomada na modificação das práticas operacionais, para minimizar a geração de efluentes líquidos no processo de produção industrial.

O treinamento e educação dos operários é de grande importância para que estes fiquem a par dos benefícios que podem ser alcançados através da minimização de resíduos e assim se empenhem para o sucesso de um programa deste tipo, como foi citado por MATOS (1997).

Uma maior eficiência na operação e limpeza das máquinas e no preparo das soluções utilizadas nos banhos do processo de acabamento de metais, pode ser conseguida através do treinamento de operários. Assim, podem ser reduzidas as

variações de vazão e das características dos efluentes, bem como o consumo de água e as perdas de produtos químicos pela contaminação e erro de preparo das soluções.

Deve-se ainda procurar eliminar os transbordamentos e vazamentos existentes nos equipamentos para reduzir o volume de efluentes.

#### **4.4.2 - Reciclagem**

##### **Uso ou reuso**

Os efluentes das Banheiras de Alta e Baixa Pressão nos Processos Finais AE/AK/AZ e TP/RG/RK e também o efluente do enxágüe da Lavadora de Pequenas Peças, na Estamparia, devido à baixa concentração de poluentes existente em sua composição, podem ser utilizados diretamente nos enxágües do processo de acabamento de metais, ou ainda para lavagem dos tanques das máquinas e do piso das mini-fábricas, para irrigação de jardins e em vasos sanitários.

Modificações nas tubulações através das quais são descartados os banhos e enxágües podem ser feitas, para realizar a segregação dos diferentes tipos de efluentes líquidos da indústria, por exemplo, aqueles cuja concentração de poluentes é mínima, podendo ser utilizados sem alteração de suas características, os que contêm grande quantidade de óleo e os que contêm alta concentração de fosfato ou de metais, para sua recuperação ou apenas tratamento, reunindo aqueles de características semelhantes, de acordo com a disponibilidade de espaço e a proximidade dos pontos de geração.

## **Recuperação**

Para os enxágües e banhos que apresentaram concentrações elevadas de metais e fosfato, foi proposta a remoção destes poluentes para a recuperação de soluções. A água tratada pode então retornar às atividades do acabamento de metais.

Pode-se ainda recuperar o óleo dos efluentes dos desengraxes, cuja concentração apresentou-se bastante elevada, através de quebra de emulsão e flotação. O óleo recuperado, desde que não tenha sofrido alterações em suas características que prejudiquem sua qualidade, pode ser utilizado na própria indústria ou ser comercializado.

### **4.5 - Resultados obtidos através da segunda caracterização dos efluentes**

A partir da comparação dos resultados da segunda caracterização dos efluentes líquidos estudados, apresentados nas tabelas 33 a 45, no Anexo B, com os da primeira, foram confirmadas muitas das características obtidas inicialmente, mas também foram verificadas muitas variações entre as concentrações de poluentes determinadas pelas duas caracterizações em um efluente gerado no mesmo local.

As variações observadas podem ter ocorrido, como já foi discutido no item 5.2.1 para as variações de vazão, em consequência de operação ineficiente das máquinas, do controle manual das vazões dos enxágües ou devido às coletas de amostras terem sido feitas em diferentes períodos de produção (hora, dia e época do ano).

Os efluentes das Lavadoras de Bielais e de Cabeçotes I e o do primeiro estágio da Lavadora Sistema Fosfato MN foram caracterizados em amostra composta, assim como os efluentes da Lavadora de Parafusos, de acordo com sugestão feita no item 4.4.1 de reunir alguns efluentes para recuperação ou tratamento.

#### 4.6 - Ensaio de recuperação de soluções

Após a realização dos ensaios de precipitação química por coagulação-floculação e caracterização dos efluentes dos três “Jar-test”, cujos resultados podem ser observados nas tabelas 46 a 48, no Anexo C, foi realizada uma comparação das novas características com as características do efluente bruto.

Observou-se que a redução de sólidos totais (ST) e DQO alcançada foi mínima nos três ensaios realizados, e que os sólidos suspensos (SS) foram bastante reduzidos, sendo então aumentada a concentração de sólidos dissolvidos, o que não pode ser considerado como vantagem.

A melhor remoção de fosfato foi verificada no primeiro “Jar-test”, com a utilização de uma dosagem de 10mg de  $\text{Ca(OH)}_2$  /L de efluente, em um pH de 6,8.

Já os metais, precipitaram mais quando foi utilizada dosagem igual a 50mg de  $\text{Ca(OH)}_2$ /L de efluente, em pH 7,0, ou seja, na mesma faixa de pH da melhor remoção de fosfato.

Um certo aumento nas concentrações de sólidos totais (ST) e fosfato foi observado em alguns dos efluentes dos ensaios realizados, o que pode ter ocorrido em consequência da utilização da cal como coagulante, que, como foi comentado por GROSSE (1986), apesar de ser o produto mais utilizado para a precipitação de metais, causa bastantes interferências, devido a presença de agentes complexos em sua composição.

Pode-se então considerar a precipitação química por coagulação-floculação uma tecnologia aplicável à remoção de metais no efluente estudado, devendo-se no entanto, encontrar a dosagem de coagulante e o pH ótimo para esta remoção. O mesmo não pode ser aplicado para a remoção de sólidos e fosfato, para os quais a remoção por precipitação química não demonstrou ser efetiva.



## 5 - CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e analisados nesta pesquisa, pode-se concluir que:

- Os enxágües são as maiores fontes geradoras de efluente líquido no processo de acabamento de metais da indústria estudada.
- Há grande variação de vazões e até mesmo das características dos efluentes dos estágios de enxágüe das peças, que podem ocorrer em consequência de operação ineficiente das máquinas, do controle manual das vazões dos enxágües ou devido às coletas de amostras terem sido feitas em diferentes períodos de produção (hora, dia e época do ano).
- É de grande importância a implementação de programas de prevenção à poluição em uma indústria, para que sejam reduzidos seus custos com tratamento e disposição de resíduos e sua responsabilidade com o lançamento de poluentes no meio ambiente, além de ser melhorada sua imagem frente à população.
- A conscientização e o treinamento de funcionários é uma das modificações das práticas operacionais mais importantes para a implementação e o sucesso de um programa de prevenção à poluição em uma indústria.
- É necessária a implementação de alternativas e o monitoramento de sua atuação, a fim de que se conheça as vantagens e desvantagens desta implementação.
- A precipitação química por coagulação-floculação, com a utilização do hidróxido de cálcio como coagulante, mostrou-se efetiva na remoção de metais do efluente do enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP, para pH por volta de 7,0.

- Não foi alcançada remoção eficiente de sólidos, DQO e fosfato do efluente do enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP, através da precipitação química utilizando o hidróxido de cálcio como coagulante.

## 6 - SUGESTÕES

- Realizar medições de vazão, na Tecumseh do Brasil Ltda, mais freqüentes e em períodos mais representativos da produção industrial, nos enxágües das lavadoras que constituem o processo de acabamento de metais.
- Caracterizar com maior freqüência os efluentes determinados na fase de estudo do fluxograma do processo de produção industrial, para verificar se persistem as variações de características e comprovar a causa destas variações.
- Aplicar na indústria as alternativas de prevenção à poluição propostas neste trabalho para verificar seus efeitos, tanto na qualidade do produto final da indústria como na redução de volume dos efluentes gerados e na concentração de poluentes nestes efluentes.
- Realizar ensaios de precipitação química por coagulação-floculação, utilizando o hidróxido de cálcio e outros coagulantes, com o efluente do enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP, com pH ótimo, para verificar se há maior precipitação de metais que a obtida neste trabalho.
- Realizar ensaios de precipitação química por coagulação-floculação, com a utilização o hidróxido de cálcio e outros coagulantes, com os efluentes de todos os enxágües, para verificar sua aplicabilidade na remoção de metais, fosfato e sólidos.
- Verificar a aplicabilidade de outras tecnologias de recuperação de soluções dos banhos sugeridas neste trabalho, como a evaporação, a osmose reversa, a eletrodíálise, através de ensaios laboratoriais.

- Realizar ensaios de floculação e quebra de emulsão para verificar a possibilidade de recuperação de óleo dos estágios de desengraxe.
- Realizar uma comparação de balanços hídricos, analisando o volume de efluentes gerados pela indústria na situação em que se encontra e aquele gerado após a implementação de um programa de prevenção à poluição, para verificar os reais benefícios deste programa.
- Comparar os custos financeiro e ambiental relativos à geração de efluentes na atual situação da indústria e após a implementação das alternativas propostas para a minimização de efluentes líquidos.

## ANEXO A

Resultados da primeira caracterização dos efluentes líquidos gerados pelas máquinas estudadas na Usinagem AE/AK/AZ (mini - fábrica 3), Estamparia (mini-fábrica 4) e Processos Finais AE/AK/AZ (mini - fábrica 3) e TP/RG/RK (mini-fábrica 5).

## 1 - Usinagem AE/AK/AZ: mini - fábrica 3

Tabela 19: Características dos efluentes da Lavadora de Bielas obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta	
	Desengraxe I	Desengraxe II
ST (mg/L)	4.278,00	629,00
STF (mg/L)	312,00	27,40
STV (mg/L)	3.966,00	601,60
SS (mg/L)	284,00	27,40
SSF (mg/L)	124,00	5,40
SSV (mg/L)	160,00	22,00
Ssed (ml/L)	0,10	N.D.
DQO (mg/L)	28.000,00	12.040,00
pH	8,90	9,00
óleos e graxas (mg/l)	3.290,00	1.780,00
fosfato (mg/L)	9,74	12,72
Zn (mg/L)	3,50	1,40
Pb (mg/L)	2,15	0,26
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	21,60	0,93
Mn (mg/L)	0,19	0,08
Cu (mg/L)	3,20	2,63
Cr (mg/L)	0,14	0,10

N.D.: Não detectado

Tabela 20: Características dos efluentes da Lavadora de Cabeçotes I obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta	
	Desengraxe I	Desengraxe II
ST (mg/L)	4.633,00	2.608,00
STF (mg/L)	3.476,00	2.013,00
STV (mg/L)	1.157,00	595,00
SS (mg/L)	21,20	13,60
SSF (mg/L)	16,80	10,70
SSV (mg/L)	4,40	2,90
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	552,00	582,00
pH	10,30	10,60
óleos e graxas (mg/l)	238,00	44,00
fosfato (mg/L)	296,50	373,30
Zn (mg/L)	0,29	0,20
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	0,83	0,43
Mn (mg/L)	0,02	0,03
Cu (mg/L)	0,60	0,50
Cr (mg/L)	0,13	0,14

N.D.: Não detectado

Tabela 21: Características dos efluentes da Lavadora de Cabeçotes II obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta	
	Desengraxe I	Desengraxe II
ST (mg/L)	6.516,00	5.804,00
STF (mg/L)	52,00	552,00
STV (mg/L)	6.464,00	5.252,00
SS (mg/L)	80,00	106,00
SSF (mg/L)	28,90	46,00
SSV (mg/L)	51,10	60,00
Ssed (ml/L)	0,15	0,10
DQO (mg/L)	19.480,00	22.200,00
pH	9,40	9,40
óleos e graxas (mg/l)	2.378,00	2.687,00
fosfato (mg/L)	19,20	36,10
Zn (mg/L)	0,54	0,60
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	26,00	30,00
Mn (mg/L)	0,33	0,61
Cu (mg/L)	1,75	1,90
Cr (mg/L)	0,15	0,18

N.D.: Não detectado

Tabela 22: Características dos Efluentes da Lavadora ASVOTEC/USINA. obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta		
	Desengraxe I	Desengraxe II	Desengraxe III
ST (mg/L)	10.792,00	6.520,00	4.832,00
STF (mg/L)	8.026,00	4.870,00	3.486,00
STV (mg/L)	2.766,00	1.650,00	1346,00
SS (mg/L)	118,00	53,00	58,00
SSF (mg/L)	76,00	30,00	27,00
SSV (mg/L)	42,00	23,00	31,00
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	3.760,00	1.960,00	791,00
pH	11,00	11,00	10,50
óleos e graxas (mg/l)	108,00	62,00	N.D.
fosfato (mg/L)	1.286,00	849,00	611,00
Zn (mg/L)	0,16	0,11	0,09
Pb (mg/L)	0,03	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	0,02	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	0,03	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	2,40	1,40	1,06
Mn (mg/L)	0,04	0,03	0,02
Cu (mg/L)	0,59	0,30	0,19
Cr (mg/L)	0,04	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

Tabela 23: Características dos Efluentes da Lavadora de Parafusos obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta	
	Desengraxe I	Desengraxe II
ST (mg/L)	11.070,00	11.752,00
STF (mg/L)	7.540,00	8.196,00
STV (mg/L)	3.530,00	3.556,00
SS (mg/L)	166,00	195,00
SSF (mg/L)	62,00	83,30
SSV (mg/L)	104,00	111,70
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	13.320,00	13.880,00
pH	9,90	9,90
óleos e graxas (mg/l)	2.024,00	1.680,00
fosfato (mg/L)	1.574,20	1.637,10
Zn (mg/L)	4,10	3,60
Pb (mg/L)	0,21	0,14
Cd (mg/L)	0,08	N.D.
Ni (mg/L)	0,23	0,25
Fe (mg/L)	3,60	3,20
Mn (mg/L)	0,99	1,03
Cu (mg/L)	0,88	0,88
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

Tabela 24: Características dos efluentes do Sistema Fosfato MN obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta				
	Desengraxe I	Desengraxe II	Enxágüe I	Enxágüe II	Refinação
ST (mg/L)	6.034,00	18.360,00	114,40	31,80	9.372,00
STF (mg/L)	394,00	1.246,00	25,50	4,20	8.542,00
STV (mg/L)	5.640,00	17.114,00	88,90	27,60	830,00
SS (mg/L)	31,80	40,00	5,40	2,80	3.253,00
SSF (mg/L)	8,80	22,50	1,50	1,20	2.915,60
SSV (mg/L)	23,00	17,50	3,90	1,60	337,00
Ssed (ml/L)	0,30	N.D.	N.D.	N.D.	5,00
DQO (mg/L)	23.500,00	28.450,00	237,00	62,00	2.080,00
pH	9,70	9,90	7,20	7,70	8,70
óleos e graxas (mg/l)	1.287,00	968,00	31,00	58,00	N.D.
fosfato (mg/L)	52,80	108,80	0,68	1,55	5.690,00
Zn (mg/L)	0,78	1,06	0,09	0,04	0,81
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,14
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,07
Ni (mg/L)	0,17	0,30	N.D.	N.D.	0,57
Fe (mg/L)	18,60	25,0	0,10	0,08	4,50
Mn (mg/L)	1,85	1,97	0,01	0,05	350,0
Cu (mg/L)	0,39	0,49	N.D.	N.D.	0,15
Cr (mg/L)	0,03	N.D.	N.D.	N.D.	0,02

Tabela 24: Características dos efluentes do Sistema Fosfato MN obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta			
	Fosfatização I	Fosfatização II	Enxágüe III	Passivação
ST (mg/L)	39.496,00	36.856,00	755,00	4.799,00
STF (mg/L)	28.927,00	27.622,00	422,00	1.806,00
STV (mg/L)	10.596,00	9.234,00	333,00	2.993,00
SS (mg/L)	22,60	19,90	8,40	102,50
SSF (mg/L)	18,10	16,30	8,00	85,00
SSV (mg/L)	4,40	3,60	0,40	17,50
Ssed (ml/L)	0,10	0,10	0,20	N.D.
DQO (mg/L)	5.940,00	5.260,00	112,00	12.500,00
pH	2,10	2,10	3,20	8,90
óleos e graxas (mg/l)	16,00	14,00	44,00	14,00
fosfato (mg/L)	22.997,00	21.540,00	182,00	1.150,40
Zn (mg/L)	22,00	23,00	1,90	2,40
Pb (mg/L)	1,30	1,30	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	0,26	0,27	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	277,00	280,00	2,64	1,54
Fe (mg/L)	8,60	34,20	3,00	13,00
Mn (mg/L)	18.000,00	17.000,00	85,00	46,00
Cu (mg/L)	0,38	0,30	0,03	0,06
Cr (mg/L)	0,36	0,34	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

## 2 - Estamparia: mini - fábrica 4

Tabela 25: Características dos efluentes da Lavadora ACME obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta		
	Desengraxe I	Desengraxe II	Desengraxe III
ST (mg/L)	2.496,00	4.004,00	6.748,00
STF (mg/L)	34,00	2.426,00	1.334,00
STV (mg/L)	2.462,00	1.578,00	5.414,00
SS(mg/L)	95,00	105,60	120,00
SSF (mg/L)	10,00	10,00	15,00
SSV (mg/L)	85,00	95,00	105,00
Ssed (ml/L)	0,15	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	4.280,00	4.960,00	4.840,00
pH	9,40	9,60	9,90
óleos e graxas (mg/l)	719,00	649,00	561,00
fosfato (mg/L)	392,50	728,40	1.732,00
Zn (mg/L)	0,30	0,44	0,49
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.	0,20
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	0,02	0,22
Fe (mg/L)	6,20	6,60	7,60
Mn (mg/L)	0,10	0,15	0,52
Cu (mg/L)	0,11	0,14	0,17
Cr (mg/L)	N.D.	0,06	0,05

N.D.: Não detectado

Tabela 26: Características dos efluentes da Lavadora Durr obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta	
	Desengraxe I	Desengraxe II
ST (mg/L)	5.846,00	9.308,00
STF (mg/L)	3.924,00	7.262,00
STV (mg/L)	1.922,00	2.046,00
SV (mg/L)	425,00	640,00
SSF (mg/L)	80,00	306,70
SSV (mg/L)	345,00	333,30
Ssed (ml/L)	0,30	0,15
DQO (mg/L)	7.240,00	4.590,00
pH	9,30	9,50
óleos e graxas (mg/l)	955,00	650,00
fosfato (mg/L)	1.173,00	1.991,40
Zn (mg/L)	0,94	1,00
Pb (mg/L)	0,35	0,34
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	0,35	0,55
Fe (mg/L)	14,8	4,30
Mn (mg/L)	0,17	0,34
Cu (mg/L)	0,13	0,18
Cr (mg/L)	0,03	0,08

N.D.: Não detectado

Tabela 27: Características dos efluentes da Lavadora SICOM ESTP obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta		
	Desengraxe	Enxágüe I	Decapagem I
ST (mg/L)	38.3541,00	712,00	36.270,00
STF (mg/L)	31.133,00	149,00	30.348,00
STV (mg/L)	7.208,00	563,00	5.922,00
SS (mg/L)	116,60	8,70	2.995,00
SSF (mg/L)	98,20	1,30	1.480,00
SSV (mg/L)	18,40	7,30	1.515,00
Ssed (ml/L)	7,50	N.D.	1,30
DQO (mg/L)	8.960,00	125,00	8.960,00
pH	7,20	7,10	1,50
óleos e graxas (mg/l)	266,00	N.D.	N.D.
fosfato (mg/L)	132,00	18,35	28.746,00
Zn (mg/L)	2,80	0,35	35,00
Pb (mg/L)	0,33	N.D.	0,70
Cd (mg/L)	0,02	N.D.	0,23
Ni (mg/L)	0,22	N.D.	2,46
Fe (mg/L)	17,0	1,30	2.800,0
Mn (mg/L)	0,14	N.D.	6,20
Cu (mg/L)	3,83	0,24	21,6
Cr (mg/L)	0,25	N.D.	0,38

Tabela 27: Características dos efluentes da Lavadora SICOM ESTP obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta		
	Decapagem II	Enxágüe II	Passivação
ST (mg/L)	37.744,00	1.472,00	7.748,00
STF (mg/L)	30.493,00	1.088,00	2.064,00
STV (mg/L)	7.251,00	384,00	5.684,00
SS (mg/L)	228,00	158,00	615,00
SSF (mg/L)	200,00	142,00	415,00
SSV (mg/L)	28,00	16,00	200,00
Ssed (ml/L)	0,70	6,00	N.D.
DQO (mg/L)	358,00	372,00	31.160,00
pH	1,50	2,60	9,40
óleos e graxas (mg/l)	N.D.	N.D.	1.648,00
fosfato (mg/L)	37.297,50	1.148,00	1.982,00
Zn (mg/L)	27,00	0,64	2,00
Pb (mg/L)	0,85	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	0,21	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	3,43	N.D.	0,20
Fe (mg/L)	3.500,0	92,0	90,00
Mn (mg/L)	10,40	0,26	0,74
Cu (mg/L)	14,00	1,72	35,60
Cr (mg/L)	0,42	N.D.	0,11

N.D.: Não detectado

Tabela 28: Características dos efluentes da Lavadora de Pequenas Peças obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta
	Enxágüe
ST (mg/L)	68,00
STF (mg/L)	27,00
STV (mg/L)	41,00
SV (mg/L)	1,00
SSF (mg/L)	0,20
SSV (mg/L)	0,80
Ssed (ml/L)	N.D.
DQO (mg/L)	3,74
pH	6,30
óleos e graxas (mg/l)	
fosfato (mg/L)	0,53
Zn (mg/L)	0,03
Pb (mg/L)	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.
Fe (mg/L)	N.D.
Mn (mg/L)	N.D.
Cu (mg/L)	0,09
Cr (mg/L)	N.D.

N.D.: Não detectado

## 3 - Processo Final AE/AK/AZ : mini-fábrica 3

Tabela 29: Características dos efluentes das Banheiras de Alta e Baixa Pressão obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta	
	Banheira Alta Pressão	Banheira Baixa Pressão
ST (mg/L)	71,00	81,00
STF (mg/L)	32,00	78,00
STV (mg/L)	39,00	3,00
SS (mg/L)	3,02	0,00
SSF (mg/L)	0,93	0,00
SSV (mg/L)	2,09	0,00
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	115,00	48,80
pH	6,60	7,60
óleos e graxas (mg/l)	2,00	9,00
fosfato (mg/L)	0,40	0,35
Zn (mg/L)	0,20	0,30
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	N.D.	N.D.
Mn (mg/L)	0,02	N.D.
Cu (mg/L)	N.D.	N.D.
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

Tabela 30: Características dos efluentes da Lavadora Fosfato Final obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta			
	Desengraxe	Enxágüe I	Decapagem	Enxágüe II
ST (mg/L)	9.213,00	308,00	3.314,00	197,00
STF (mg/L)	7.547,00	139,00	1.594,00	115,00
STV (mg/L)	1.666,00	169,00	1.720,00	82,00
SS (mg/L)	75,60	4,80	474,50	4,20
SSF (mg/L)	43,30	1,80	104,40	3,50
SSV (mg/L)	32,30	3,00	370,10	0,70
Ssed (ml/L)	0,20	0,10	0,35	N.D.
DQO (mg/L)	1.060,00	19,60	1.070,00	32,00
pH	10,60	8,20	1,50	6,25
óleos e graxas (mg/l)	101,00		26,00	84,00
fosfato (mg/L)	582,00	47,40	17,70	7,07
Zn (mg/L)	11,00	2,00	0,28	0,36
Pb (mg/L)	0,34	N.D.	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	0,26	N.D.	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	30,00	2,40	194,00	14,60
Mn (mg/L)	1,50	0,06	8,30	0,19
Cu (mg/L)	18,00	0,48	0,87	0,14
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.	0,01	N.D.

Tabela 30: Características dos efluentes da Lavadora Fosfato Final obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta			
	Ativação	Enxágüe III	Passivação	Enxágüe IV
ST (mg/L)	19.903,00	800,00	1.220,00	581,00
STF (mg/L)	16.746,00	550,00	330,00	231,00
STV (mg/L)	3.157,00	250,00	890,00	350,00
SS (mg/L)	259,80	27,90	19,20	6,20
SSF (mg/L)	238,80	18,80	6,70	2,20
SSV (mg/L)	21,00	9,10	12,50	4,00
Ssed (ml/L)	3,50	N.D.	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	771,00	27,60	1.310,00	349,00
pH	3,40	4,50	7,50	6,70
óleos e graxas (mg/l)	46,00		34,00	107,00
fosfato (mg/L)	11.010,00	311,40	57,20	17,50
Zn (mg/L)	160,00	54,00	4,40	2,00
Pb (mg/L)	0,10	N.D.	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	0,07	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	11,30	N.D.	0,05	N.D.
Fe (mg/L)	22,00	15,00	24,10	25,30
Mn (mg/L)	700,00	0,50	2,65	0,88
Cu (mg/L)	0,28	0,03	0,29	0,29
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

## 4 - Processo Final TP/RG/RK: mini-fábrica 5

Tabela 31: Características do efluente da Banheira de Alta Pressão obtidas através da primeira caracterização

<b>Parâmetro</b>	<b>Ponto de Coleta Banheira Alta Pressão</b>
ST (mg/L)	94,00
STF (mg/L)	79,00
STV (mg/L)	15,00
SS (mg/L)	1,80
SSF (mg/L)	0,00
SSV (mg/L)	1,80
Ssed (ml/L)	N.D.
DQO (mg/L)	17,00
pH	6,90
óleos e graxas (mg/l)	N.D.
fosfato (mg/L)	0,38
Zn (mg/L)	0,82
Pb (mg/L)	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.
Fe (mg/L)	2,77
Mn (mg/L)	N.D.
Cu (mg/L)	0,30
Cr (mg/L)	N.D.

N.D.: Não detectado

Tabela 32: Características dos efluentes da Lavadora Túnel de Fosfatização obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta			
	Desengraxe	Enxágüe I	Decapagem	Enxágüe II
ST (mg/L)	11.282,00	184,00	1.598,00	137,00
STF (mg/L)	9.782,00	49,00	752,00	80,00
STV (mg/L)	1.500,00	135,00	846,00	57,00
SS (mg/L)	67,70	1,00	5,00	4,60
SSF (mg/L)	56,60	0,40	2,20	0,20
SSV (mg/L)	11,10	0,60	2,80	4,40
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	2.030,00	1,09	761,00	3,70
pH	10,15	7,10	1,50	6,25
óleos e graxas (mg/l)	103,00		11,00	
fosfato (mg/L)	1.826,50	5,50	61,90	26,80
Zn (mg/L)	9,00	1,50	0,11	1,44
Pb (mg/L)	0,83	N.D.	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	0,05	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	0,85	N.D.	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	2,24	3,85	340,0	3,00
Mn (mg/L)	0,14	N.D.	2,20	0,05
Cu (mg/L)	25,00	0,31	0,35	N.D.
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.	0,02	N.D.

Tabela 32: Características dos efluentes da Lavadora Túnel de Fosfatização obtidas através da primeira caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta		
	Enxágüe III	Passivação	Enxágüe IV
ST (mg/L)	324,00	1.002,00	72,00
STF (mg/L)	229,00	370,00	33,00
STV (mg/L)	95,00	632,00	39,00
SS (mg/L)	3,00	89,00	2,20
SSF (mg/L)	1,60	8,00	0,80
SSV (mg/L)	1,40	81,00	1,40
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.	0,10
DQO (mg/L)	14,30	924,00	14,30
pH	3,60	4,90	5,20
óleos e graxas (mg/l)		N.D.	
fosfato (mg/L)	137,90	15,74	3,00
Zn (mg/L)	13,00	14,50	0,20
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	6,20	9,00	N.D.
Fe (mg/L)	3,20	6,40	0,34
Mn (mg/L)	2,40	3,55	0,04
Cu (mg/L)	0,10	0,21	0,03
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

## **ANEXO B**

Resultados da segunda caracterização dos efluentes líquidos gerados pelas máquinas estudadas na Usinagem AE/AK/AZ (mini - fábrica 3), Estamparia (mini-fábrica 4) e Processos Finais AE/AK/AZ (mini - fábrica 3) e TP/RG/RK (mini-fábrica 5).

## 1 - Usinagem AE/AK/AZ: mini - fábrica 3

Tabela 33: Características dos efluentes da Lavadora de Cabeçotes I obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta	
	Desengraxe I	Desengraxe II
ST (mg/L)	1.619,00	699,00
STF (mg/L)	422,00	216,00
STV (mg/L)	1.269,00	483,00
SS (mg/L)	57,00	33,30
SSF (mg/L)	35,00	4,00
SSV (mg/L)	22,00	29,30
Ssed (ml/L)	1,30	N.D.
DQO (mg/L)	11.540,00	7.310,00
pH	9,60	9,50
óleos e graxas (mg/l)	631,00	250,00
fosfato (mg/L)	5,46	2,55
Zn (mg/L)	0,89	0,28
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	8,60	3,65
Mn (mg/L)	0,05	N.D.
Cu (mg/L)	2,62	0,86
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

Tabela 34: Características da amostra composta pelos efluentes da Lavadora de Cabeçotes II, Lavadora de Bielias e do 1º estágio da Lavadora Sistema Fosfato MN obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta
	1º e 2º estágios das Lavadoras de Cabeçotes II e de Bielias e 1º estágio da Lavadora Sistema Fosfato MN
ST (mg/L)	11.754,00
STF (mg/L)	454,00
STV (mg/L)	11.300,00
SS (mg/L)	1.264,00
SSF (mg/L)	256,00
SSV (mg/L)	1.008,00
Ssed (ml/L)	N.D.
DQO (mg/L)	37.700,00
pH	9,30
óleos e graxas (mg/l)	2.161,00
fosfato (mg/L)	22,90
Zn (mg/L)	4,30
Pb (mg/L)	11,00
Cd (mg/L)	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.
Fe (mg/L)	60,00
Mn (mg/L)	4,16
Cu (mg/L)	4,30
Cr (mg/L)	0,15

N.D.: Não detectado

Tabela 35: Características dos efluentes da Lavadora ASVOTEC/USINA. obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta		
	Desengraxe I	Desengraxe II	Desengraxe III
ST (mg/L)	6.111,00	6.617,00	6.122,00
STF (mg/L)	4.444,00	4.914,00	4.666,00
STV (mg/L)	1.667,00	1.703,00	1.456,00
SS (mg/L)	30,00	77,10	137,80
SSF (mg/L)	17,00	31,40	35,60
SSV (mg/L)	13,00	45,70	102,20
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	4.610,00	2.592,00	1.384,00
pH	9,80	9,70	9,60
óleos e graxas (mg/l)	45,00	49,00	54,00
fosfato (mg/L)	579,90	633,40	642,20
Zn (mg/L)	0,48	0,43	0,41
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	26,30	33,80	29,50
Mn (mg/L)	0,31	0,54	0,54
Cu (mg/L)	0,33	0,42	0,30
Cr (mg/L)	0,10	0,05	0,02

N.D.: Não detectado

Tabela 36: Características dos efluentes da Lavadora de Parafusos obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta
	Desengraxes I e II da Lavadora de Parafusos
ST (mg/L)	19.004,00
STF (mg/L)	15.076,00
STV (mg/L)	3.928,00
SS (mg/L)	183,00
SSF (mg/L)	42,00
SSV (mg/L)	141,00
Ssed (ml/L)	N.D.
DQO (mg/L)	9.470,00
pH	9,80
óleos e graxas (mg/l)	1.382,00
fósforo (mg/L)	1.961,70
Zn (mg/L)	4,50
Pb (mg/L)	0,60
Cd (mg/L)	0,08
Ni (mg/L)	0,38
Fe (mg/L)	5,10
Mn (mg/L)	1,40
Cu (mg/L)	0,74
Cr (mg/L)	0,18

N.D.: Não detectado

Tabela 37: Características dos efluentes do Sistema Fosfato MN obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta				
	Desengraxe I	Desengraxe II	Enxágüe I	Enxágüe II	Refinação
ST (mg/L)	8.453,00	17.297,00	89,00	159,00	7.022,00
STF (mg/L)	568,00	1.132,00	75,00	126,00	6.216,00
STV (mg/L)	7.885,00	16.165,00	14,00	33,00	806,00
SS (mg/L)	58,80	43,30	8,300	12,00	2.534,30
SSF (mg/L)	15,30	23,30	2,60	3,30	2.251,40
SSV (mg/L)	43,50	20,00	5,70	8,70	282,90
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4,00
DQO (mg/L)	30.200,00	51.500,00	46,10	403,00	1.140,00
pH	9,50	9,90	7,00	8,80	8,80
óleos e graxas (mg/l)	1.332,00	4.437,00	15,00	57,00	73,00
fosfato (mg/L)	51,90	154,94	0,50	1,70	4.003,00
Zn (mg/L)	0,44	0,70	0,01	0,08	0,40
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	0,10	0,08	N.D.	N.D.	0,30
Fe (mg/L)	23,00	19,00	N.D.	0,30	5,10
Mn (mg/L)	1,78	1,55	N.D.	0,10	287,0
Cu (mg/L)	0,30	0,61	N.D.	0,03	0,03
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	0,02	N.D.

Tabela 37: Características dos efluentes do Sistema Fosfato MN obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta			
	Fosfatização I	Fosfatização II	Enxágüe III	Passivação
ST (mg/L)	33.573,00	33.691,00	260,00	4.937,00
STF (mg/L)	28.342,00	27.801,00	179,00	1.439,00
STV (mg/L)	5.231,00	5.890,00	81,00	3.534,00
SS (mg/L)	40,50	39,00	2,20	20,00
SSF (mg/L)	32,00	31,50	1,00	16,00
SSV (mg/L)	8,50	7,50	1,20	4,00
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	5.220,00	5.020,00	38,20	9.590,00
pH	2,40	2,40	4,20	8,90
óleos e graxas (mg/l)	25,00	2,00	29,00	N.D.
fosfato (mg/L)	17.034,00	17.716,00	41,20	801,60
Zn (mg/L)	100,00	90,00	0,43	0,56
Pb (mg/L)	0,70	0,62	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	170,0	115,00	0,85	0,84
Fe (mg/L)	32,40	34,00	1,06	5,73
Mn (mg/L)	1.700,00	1.550,00	23,30	13,00
Cu (mg/L)	0,24	0,24	N.D.	0,09
Cr (mg/L)	0,29	0,27	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

## 2 - Estamparia: mini - fábrica 4

Tabela 38: Características dos efluentes da Lavadora ACME obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta		
	Desengraxe I	Desengraxe II	Desengraxe III
ST (mg/L)	2.295,00	2.146,00	1.953,00
STF (mg/L)	609,00	993,00	1.152,00
STV (mg/L)	1.686,00	1.153,00	801,00
SS(mg/L)	96,80	39,80	65,20
SSF (mg/L)	8,40	4,80	7,60
SSV (mg/L)	88,40	35,00	57,60
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	6.420,00	3.552,00	2.740,00
pH	9,20	9,75	9,84
óleos e graxas (mg/l)	632,00	487,00	363,00
fosfato (mg/L)	193,00	107,20	407,90
Zn (mg/L)	0,19	0,18	0,20
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	5,20	2,98	3,70
Mn (mg/L)	0,08	0,06	0,07
Cu (mg/L)	0,03	0,02	0,02
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

Tabela 39: Características dos efluentes da Lavadora Durr obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta	
	Desngraxe I	Desengraxe II
ST (mg/L)	2.353,00	3.447,00
STF (mg/L)	1.357,00	2.319,00
STV (mg/L)	996,00	1.128,00
SV (mg/L)	65,50	71,00
SSF (mg/L)	6,40	13,00
SSV (mg/L)	59,10	58,00
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	2.600,00	2.390,00
pH	8,50	9,20
óleos e graxas (mg/l)	321,00	280,00
fosfato (mg/L)	496,70	781,30
Zn (mg/L)	1,05	2,15
Pb (mg/L)	0,13	0,20
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	22,30	28,00
Mn (mg/L)	0,33	0,44
Cu (mg/L)	0,08	0,09
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

Tabela 40: Características dos efluentes da Lavadora SICOM ESTP obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta		
	Desengraxe	Enxágüe I	Decapagem I
ST (mg/L)	38.036,00	876,00	9.927,00
STF (mg/L)	32.554,00	393,00	6.597,00
STV (mg/L)	5.482,00	483,00	3.330,00
SS (mg/L)	2.005,00	37,00	50,60
SSF (mg/L)	1.370,00	37,00	5,00
SSV (mg/L)	635,00	0,00	45,60
Ssed (ml/L)	2,30	0,20	N.D.
DQO (mg/L)	6.980,00	697,00	278,00
pH	7,20	6,00	2,10
óleos e graxas (mg/l)	579,00	91,00	53,00
fosfato (mg/L)	189,80	82,70	5.778,00
Zn (mg/L)	10,30	0,70	5,50
Pb (mg/L)	1,16	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	0,05	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	0,48	N.D.	0,27
Fe (mg/L)	103,00	20,0	138,00
Mn (mg/L)	0,33	0,10	0,56
Cu (mg/L)	32,40	2,03	5,36
Cr (mg/L)	0,14	N.D.	0,09

Tabela 40: Características dos efluentes da Lavadora SICOM ESTP obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta		
	Decapagem II	Enxágüe II	Passivação
ST (mg/L)	38.788,00	2.274,00	7.882,00
STF (mg/L)	29.536,00	1.090,00	2.762,00
STV (mg/L)	9.252,00	1.184,00	5.120,00
SS (mg/L)	21,80	165,50	920,00
SSF (mg/L)	11,00	149,30	573,30
SSV (mg/L)	10,80	16,30	346,70
Ssed (ml/L)	N.D.	5,50	N.D.
DQO (mg/L)	165,00	342,00	28.160,00
pH	1,50	2,30	9,10
óleos e graxas (mg/l)	57,00	0,80	659,00
fosfato (mg/L)	15.778,00	328,90	837,40
Zn (mg/L)	12,00	0,38	3,10
Pb (mg/L)	0,80	N.D.	0,12
Cd (mg/L)	0,14	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	1,40	N.D.	0,07
Fe (mg/L)	152,00	170,00	100,00
Mn (mg/L)	1,76	0,23	0,90
Cu (mg/L)	11,60	1,80	13,00
Cr (mg/L)	0,50	0,13	0,05

N.D.: Não detectado

Tabela 41: Características dos efluentes da Lavadora de Pequenas Peças obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta
	Enxágüe
ST (mg/L)	142,00
STF (mg/L)	65,00
STV (mg/L)	77,00
SV (mg/L)	16,00
SSF (mg/L)	6,00
SSV (mg/L)	10,00
Ssed (ml/L)	N.D.
DQO (mg/L)	150,00
pH	6,50
óleos e graxas (mg/l)	19,00
fosfato (mg/L)	1,74
Zn (mg/L)	0,05
Pb (mg/L)	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.
Fe (mg/L)	N.D.
Mn (mg/L)	N.D.
Cu (mg/L)	0,05
Cr (mg/L)	N.D.

N.D.: Não detectado

## 3 - Processo Final AE/AK/AZ: mini-fábrica 3

Tabela 42: Características dos efluentes das Banheiras de Alta e Baixa Pressão obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta	
	Banheira Alta Pressão	Banheira Baixa Pressão
ST (mg/L)	66,00	153,00
STF (mg/L)	65,00	48,00
STV (mg/L)	1,00	105,00
SS (mg/L)	11,00	5,50
SSF (mg/L)	7,00	0,00
SSV (mg/L)	4,00	5,50
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	19,60	11,70
pH	7,20	7,30
óleos e graxas (mg/l)	11,00	5,00
fósforo (mg/L)	0,25	0,20
Zn (mg/L)	N.D.	0,17
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	N.D.	0,09
Mn (mg/L)	N.D.	N.D.
Cu (mg/L)	0,07	0,01
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

Tabela 43: Características dos efluentes da Lavadora Fosfato Final obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta			
	Desengraxe	Enxágüe I	Decapagem	Enxágüe II
ST (mg/L)	4.443,00	356,00	1.585,00	283,00
STF (mg/L)	3.286,00	148,00	823,00	146,00
STV (mg/L)	1.157,00	208,00	762,00	137,00
SS (mg/L)	46,30	5,80	399,30	0,00
SSF (mg/L)	31,90	3,60	241,30	0,00
SSV (mg/L)	14,40	2,20	158,00	0,00
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.	0,90	N.D.
DQO (mg/L)	738,00	46,10	1.130,00	30,20
pH	10,16	7,60	10,08	4,20
óleos e graxas (mg/l)	22,00	57,00	5,00	7,00
fosfato (mg/L)	350,20	17,70	83,80	17,50
Zn (mg/L)	9,00	0,24	5,40	0,70
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	0,18	N.D.	0,08	N.D.
Fe (mg/L)	20,00	1,13	337,00	20,00
Mn (mg/L)	1,09	0,09	9,50	0,10
Cu (mg/L)	10,30	0,41	2,35	2,03
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

Tabela 43: Características dos efluentes da Lavadora Fosfato Final obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta			
	Ativação	Enxágüe III	Passivação	Enxágüe IV
ST (mg/L)	25.997,00	482,00	1.601,00	409,00
STF (mg/L)	20.684,00	84,00	530,00	272,00
STV (mg/L)	5.313,00	398,00	1.071,00	137,00
SS (mg/L)	294,80	13,30	5,45	8,70
SSF (mg/L)	267,00	0,830	0,00	4,00
SSV (mg/L)	27,80	12,50	5,45	4,70
Ssed (ml/L)	4,00	N.D.	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	83,80	30,20	2.070,00	82,00
pH	2,93	5,20	8,00	8,20
óleos e graxas (mg/l)	5,00	39,00	37,00	48,00
fosfato (mg/L)	2.747,50	254,50	44,30	18,70
Zn (mg/L)	2.800,00	60,00	3,00	10,00
Pb (mg/L)	0,60	N.D.	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	0,06	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	134,00	0,19	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	37,00	6,90	8,00	20,60
Mn (mg/L)	400,00	7,80	0,98	0,75
Cu (mg/L)	0,33	0,04	0,12	0,12
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.	0,14	0,02

N.D.: Não detectado

## 4 - Processo Final TP/RG/RK: mini-fábrica 5

Tabela 44: Características do efluente da Banheira de Alta Pressão obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta
	Banheira Alta Pressão
ST (mg/L)	375,40
STF (mg/L)	189,20
STV (mg/L)	186,20
SS (mg/L)	1,40
SSF (mg/L)	0,20
SSV (mg/L)	1,20
Ssed (ml/L)	N.D.
DQO (mg/L)	7,70
pH	6,20
óleos e graxas (mg/l)	N.D.
fosfato (mg/L)	0,59
Zn (mg/L)	0,67
Pb (mg/L)	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.
Fe (mg/L)	0,69
Mn (mg/L)	N.D.
Cu (mg/L)	0,05
Cr (mg/L)	N.D.

N.D.: Não detectado

Tabela 45: Características dos efluentes da Lavadora Túnel de Fosfatização obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta		
	Enxágüe I	Enxágüe II	Enxágüe III
ST (mg/L)	351,00	90,00	104,00
STF (mg/L)	211,00	58,00	65,00
STV (mg/L)	140,00	32,00	39,00
SS (mg/L)	2,60	0,00	1,80
SSF (mg/L)	1,00	0,00	0,60
SSV (mg/L)	1,60	0,00	1,20
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	36,84	9,04	11,70
pH	7,80	6,70	5,90
óleos e graxas (mg/l)	7,00	N.D.	N.D.
fosfato (mg/L)	34,20	27,20	87,53
Zn (mg/L)	2,00	1,10	3,00
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	N.D.	1,60
Fe (mg/L)	12,00	1,33	0,10
Mn (mg/L)	N.D.	0,05	0,39
Cu (mg/L)	0N65	0,03	0,05
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.

Tabela 45: Características dos efluentes da Lavadora Túnel de Fosfatização obtidas através da segunda caracterização

Parâmetro	Ponto de Coleta	
	Passivação	Enxágüe IV
ST (mg/L)	1.303,00	61,20
STF (mg/L)	396,00	34,40
STV (mg/L)	907,00	26,80
SS (mg/L)	19,30	1,20
SSF (mg/L)	0,70	0,40
SSV (mg/L)	18,60	0,80
Ssed (ml/L)	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	1.395,00	99,10
pH	5,50	6,20
óleos e graxas (mg/l)	19,00	N.D.
fosfato (mg/L)	166,20	0,96
Zn (mg/L)	20,00	0,42
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	7,30	0,32
Fe (mg/L)	25,00	0,39
Mn (mg/L)	6,00	0,09
Cu (mg/L)	0,19	0,03
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

## ANEXO C

Resultados da segunda caracterização do enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP localizada na Estamparia (mini-fábrica 4) e dos ensaios de precipitação química realizados com este efluente.

**1 - Resultados da segunda caracterização do efluente do da Lavadora SICOM ESTP, na Estamparia (mini-fábrica 4)**

Tabela 46: Características do efluente bruto do enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP

Parâmetro	Ponto de Coleta
	Enxágüe II
ST (mg/L)	2.274,00
STF (mg/L)	1.090,00
STV (mg/L)	1.184,00
SS (mg/L)	165,50
SSF (mg/L)	149,30
SSV (mg/L)	16,30
Ssed (ml/L)	5,50
DQO (mg/L)	342,00
pH	2,30
fosfato (mg/L)	328,90
Zn (mg/L)	0,38
Pb (mg/L)	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.
Fe (mg/L)	170,00
Mn (mg/L)	0,23
Cu (mg/L)	1,80
Cr (mg/L)	0,13

N.D.: Não detectado

**2 - Ensaio de precipitação química por coagulação-floculação com a utilização de hidróxido de sódio como coagulante**

Tabela 47: Características do efluente do enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP tratado com 10mg de coagulante/L

Parâmetro	Jarro do Jar-Test					
	1	2	3	4	5	6
ST (mg/L)	2.619,00	2.132,00	2.154,00	2.154,00	3.037,00	2.349,00
STF (mg/L)	1.307,00	1.791,00	1.702,00	1.798,00	889,00	1.945,00
STV (mg/L)	1.312,00	341,00	452,00	356,00	2.148,00	404,00
SS (mg/L)	571,00	157,50	149,60	50,60	22,30	29,50
SSF (mg/L)	129,50	147,80	138,40	49,40	21,30	26,40
SSV (mg/L)	441,50	9,80	11,20	1,20	1,00	3,10
Ssed (ml/L)	5,00	3,00	4,50	N.D.	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	330,00	318,00	316,00	308,00	338,00	339,00
pH	2,50	3,10	3,60	5,60	6,50	6,80
fosfato (mg/L)	338,90	375,90	253,50	459,50	265,70	162,10
Zn (mg/L)	0,66	0,44	0,41	0,11	0,20	0,10
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	70,00	65,00	54,00	14,8	12,00	12,00
Mn (mg/L)	2,40	0,16	0,20	0,04	1,10	N.D.
Cu (mg/L)	1,80	1,80	1,33	0,35	0,50	0,58
Cr (mg/L)	0,13	0,10	0,10	0,10	0,12	0,11

N.D.: Não detectado

Tabela 48: Características do efluente do enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP tratado com 50mg de coagulante/L

Parâmetro	Jarro do Jar-Test					
	1	2	3	4	5	6
ST (mg/L)	3.193,00	2.828,00	2.114,00	2.241,00	2.355,00	2.172,00
STF (mg/L)	1.496,00	1.645,00	1.799,00	1.869,00	1.971,00	1.945,00
STV (mg/L)	1.997,00	1.183,00	315,00	372,00	384,00	227,00
SS (mg/L)	113,20	145,80	135,80	74,10	27,30	32,50
SSF (mg/L)	105,20	138,20	127,40	67,10	24,20	28,00
SSV (mg/L)	8,00	7,60	8,40	7,00	3,10	4,50
Ssed (ml/L)	6,50	5,00	4,00	N.D.	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	333,00	328,00	317,00	342,00	335,00	338,00
pH	2,50	3,20	3,70	5,90	7,00	6,80
fosfato (mg/L)	431,00	422,00	269,10	259,60	297,80	293,00
Zn (mg/L)	0,38	0,40	0,31	0,07	0,02	0,03
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	78,00	58,70	45,20	25,00	11,20	10,020
Mn (mg/L)	0,10	0,11	0,10	0,05	N.D.	N.D.
Cu (mg/L)	1,80	1,80	0,73	0,41	0,59	0,60
Cr (mg/L)	0,13	0,13	0,13	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

Tabela 49: Características do efluente do enxágüe II da Lavadora SICOM ESTP  
tratado com 100mg de coagulante/L

Parâmetro	Jarro do Jar-Test					
	1	2	3	4	5	6
ST (mg/L)	2.719,00	2.318,00	2.136,00	2.047,00	2.270,00	2.284,00
STF (mg/L)	1.091,00	1.734,00	1.832,00	1.809,00	1.896,00	1.861,00
STV (mg/L)	1.628,00	584,00	304,00	238,00	374,00	423,00
SS (mg/L)	109,30	138,00	125,80	58,00	40,00	33,20
SSF (mg/L)	99,00	131,20	117,80	50,00	39,10	30,90
SSV (mg/L)	10,30	6,80	8,00	8,00	0,90	2,30
Ssed (ml/L)	7,10	4,50	4,00	0,10	N.D.	N.D.
DQO (mg/L)	359,00	333,00	346,00	335,00	335,00	340,00
pH	2,50	3,20	3,80	6,00	6,50	6,90
fosfato (mg/L)	664,00	416,00	454,10	455,60	369,80	373,10
Zn (mg/L)	0,37	0,40	0,25	0,03	0,04	0,04
Pb (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cd (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ni (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Fe (mg/L)	71,00	86,00	47,60	20,00	11,50	5,00
Mn (mg/L)	0,16	0,18	0,16	0,08	0,04	0,01
Cu (mg/L)	2,10	1,87	0,62	0,38	0,52	0,62
Cr (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.: Não detectado

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

- ARAGÃO, J. M. S. (1984). *Estudo Sobre Remoção de Metais Pesados em Águas Residuárias de Indústrias de Acabamento de Metais*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 159p ✓
- BENFORADO, D. M.; RIDLEHOOVER, G.; GORES, M. D. (1991). Pollution prevention: One Firm's Experience. *Chemical Engineering*. p.130 - 133, set.
- BERGLUND, R. L.; LAWSON, C. T. (1991). Preventing pollution in the cpi. *Chemical Engineering*. p. 120 - 127, set.
- BRAILE, M. P.; CAVALCANTE, J. E. W. A. (1993). *Manual de Tratamento de Águas Residuárias*, CETESB, São Paulo. Cap. 1e2, p. 1-31.
- BRASIL. Leis, etc.(1994). *Lei n. 6.938 de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. CETESB, São Paulo, 10p.
- BREEN, J. J.; DELLARCO, M. J. (1992). *Pollution prevention in industrial processes: the role of process analytical chemistry*. Washington, DC, Ameran Chemical Society.
- BRINGER, R. P. (1989). *Pollution prevention program saves environment and money*. Adhesives Age. sept. p. 34 - 36.
- CAJAZEIRA, J. E. R. (1997). *ISO 14.001 - manual de implantação*. Rio de Janeiro, Qualitymark.

- CAMPOS, J. R. (1991). *Tratamento de Efluentes Líquidos Industriais*. in:Curso. Associação Brasileira de Engenharia Ambiental. Belo Horizonte - MG.
- CARTWRIGHT, P. S. (1984). Na update on reverse osmosis for metal finishing. *Plating and Surface Finishing*. v. 71, n. 4, p. 62 - 66, abr.
- CARVALHO, A. B. M.; FROSINI, L. H.; FRAZÃO, R. (1996). Sistema ISO de gestão ambiental. *Controle da Qualidade*. n. 45, p30 - 46, fev.
- CHEREMISINOFF, P. N.; PERNA, A J.; CIANCIA, J. (1977). Treating metal finishing wastes - part 2. *Industrial Wastes*. V. 23, n. 1, p. 32 - 34, jan/fev.
- COMELLA, P. A.; RITTMAYER, R. W. (1990). *Waste minimization/pollution prevention*. *Pollution Engineering*. ab. p. 71 - 74.
- DAUBARAS, R. J. (1981). Waste treatment for plating in the Soviet Union. *Plating and Surface Finishing*. V. 68, p. 62 - 64, jul.
- FLORES, E. A. (1991). Impediments to haz waste minimization. *Pollution Engineering*. mar, p. 76-79.
- FREEMAN, H. (1990). *Hazardous waste minimization*. Singapore, McGraw-Hill Book Co.
- GROSSE, D. W. (1986). A review of alternative treatment processes for metal - bearing hazardous waste streams. *Journal of Air Pollution Control Association*. V. 36, n. 5, p. 603 - 614, mai.

- HAKLIK, J. E. (1997). ISO 14.000 environmental management: benefiting companies, saving the environment.  
<http://www.clickit.com/newsweb/nwsrch.htm>
- HALL, E. P.; LIZDAS, D. J.; AUERBACH, E. E. (1979). Recovery techniques in electroplating. *Plating and Surface Finishing*. p. 49-53, fev.
- HIGGINS, T. E. (1989). *Hazardous Waste Minimization Handbook*. Lewis Publishers. Michigan.
- JUCHEM, P. A. (1995). *Introdução à gestão, auditoria e balanço ambiental para empresas*. Curitiba, Faculdade Católica de Administração e Economia (FAE)/Centro de Desenvolvimento Empresarial (CDE).
- KARRS, S.; BUCKLEY, D. M.; STEWARD, F. (1986). Ion exchange for metal recovery: a discussion of the trade - offs. *Plating and Surface Finishing*. V. 73, n. 4, p. 60 - 66, abr.
- KNAPP, C.; CLÁUDIO, J. R. Auditoria ambiental: um instrumento de gerenciamento ambiental na indústria. In: XVII CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA. Natal, 1993. Anais. Natal, ABES. v. , tomo vi, p. 312-327.
- MATOS, S. V. (1997). *Proposta de minimização de resíduos sólidos industriais: estudo de caso com areia de fundição*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 107p. ✓
- MENDONÇA, S. R. (1991). *Efeitos dos despejos líquidos industriais nos cursos de água. Autodepuração. Eutrofização*. João Pessoa, Departamento de Tecnologia da Construção, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba. ✓

- METCALF & EDDY (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 3.ed., Singapura, McGraw-Hill.
- MOONEY, G. A. (1992). Pollution prevention shrinking the waste stream. *Pollution Engineering*. mar, p. 37 - 41.
- NEWTON, J. (1990). *Setting Up A Waste Minimization Program*. *Pollution Engineering*, abr, p.75-80.
- NUNES, J. A. (1996). *Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais*. 2ª ed. Aracaju. J. Andrade.
- OTTMAN, J. A. (1994). *Marketing verde*. São Paulo, Makron Books.
- SÃO PAULO (Estado). Leis, etc. (1986a). Resolução CONAMA n. 1 de 23/01/86 CETESB, São Paulo.
- SÃO PAULO (Estado). Leis, etc. (1986b). Resolução CONAMA n. 20 de 18/06/86 CETESB, São Paulo.
- SHEN, T. T. (1995). *Industrial pollution prevention*. Berlim, Alemanha, Springer-Verlag.
- STANDARD Methods For The Examination of Water And Wastewater. (1995). 18ª ed, Washington, DC, APHA - American Public Health Association.
- STEWART, F. A ; LANEY, L. E. (1978). Metal recovery from rinse waters: a critical review of the technology. *Transactions of the Institute of Metal Finishing*. V.56, p. 113 - 117, abr.



- TEIXEIRA, P. F. P.(1996). *Manual sobre vigilância ambiental*. Série HSP\_UNI/ Manuales Operativos PALTEX. ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD. Fundación W. K. KELLOGG. n.12. v. 4.
- THEODORE, L. ; MCGUINN, Y. C. (1992). *Pollution Prevention*. Nova Yorque, Van Nostrand Reinhold.
- TOLLER, W. H.; INNES, W. P. (1982). Considering recovery and reuse. *Plating and Surface Finishing*. v. 69, n. 2, p. 26-27, fev.
- TUCCI, C. E. M., org. (1993). *Hidrologia, Ciência e Aplicação*. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. 1.ed., 4.v. Porto Alegre,. Editora Universidade (UFRGS)/ ABRH/EDUSP,
- VESENTINI, W. (1996). *Sociedade e Espaço. Geografia Geral e do Brasil*. 32ª ed. São Paulo, Ática S.A.
- WARNER, H. P.; OLEXSEY, R. A. (1986). Treatment technologies for corrosive hazardous wastes. *Journal of Air Pollution Control Association*. v. 36, n. 4, p. 403-409, ab.
- WILLIAMS, H. E.; MEDHURST, J.; DREW, N. (1993). Corporate Strategies for a Sustainable Future. In FISCHER, K.; SCHOT, J. *Environmental Strategies for Industry:International Perspectives on Research Needs and Policy Implication*. Island Press. p.117-146.