

**Mestrado Integrado em Engenharia Química**

**Análise do valor intrínseco dos  
metais em lamas de uma empresa de  
metalização de plásticos**

Tese de Mestrado

desenvolvida no âmbito da disciplina de

Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Académico



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

**FEUP**

**Departamento de Engenharia Química**

*Autor: Manuel Fernando Madureira Lima*

*Orientador: Prof. José Inácio Ferrão de Paiva Martins*

**Porto, 31 Agosto de 2010**



## Agradecimentos

Entre muitos, agradece-se em particular ao Professor José Inácio Martins (FEUP) por ter contribuído com o seu valioso conhecimento científico; ao Engenheiro Rui Lobo (DOURECA) e à Engenheira Ana Catarina Costa (DOURECA) pela disponibilização de dados e documentação da empresa, bem como no esclarecimento dúvidas e, por fim ao meu colega e amigo Engenheiro Henrique Jorge Rodrigues pelo intercâmbio de conhecimentos.

## Resumo

Esta tese desenvolveu-se no âmbito da disciplina de Projecto de Desenvolvimento e decorreu num Ambiente Académico e enquadra-se na necessidade da indústria rentabilizar os resíduos produzidos, particularmente os provenientes dos processos de metalização onde se geram grandes quantidades de resíduos perigosos. Assim, o principal objectivo foi a análise da viabilidade económica da recuperação dos metais presentes nas lamas de uma metalização de plásticos.

No sentido de garantir a aplicação prática deste projecto, usou-se as informações retiradas de uma empresa portuguesa de metalização de plástico *DOURECA - Produtos Plásticos, LDA*.

Provou-se que existe um enorme potencial de recuperação de metais das lamas geradas na ETAR, assinalando-se os benefícios de natureza económica e ambiental que daí resultam. A finalizar, demonstrou-se através de uma avaliação expedita a sua viabilidade económica. No entanto, a integração de uma técnica de recuperação ainda requer estudos mais detalhados visando a optimização dos custos e das condições operacionais.

**Palavras-chave:** Metalização, plásticos, tratamento de resíduos, lamas, precipitação.

## Abstract

This thesis was developed within the discipline of Development Project in Academic Environment held and fits the need of the industry monetizes the waste produced, particularly the metallization processes which generate large quantities of hazardous wastes. Thus, the main objective was to analyze the economic viability of metals recovery present in sludge from a metallization of plastics.

In order to ensure the practical implementation of this project, used as design data with the information taken from a Portuguese company DOURECA Metalização de Plásticos, Lda.

It proves that there is huge potential for recovery of metals in WWTP sludge generated, indicating to the benefits of economic and environmental consequences. Finally, it was demonstrated through an expedited assessment their economic viability. However, the integration of a recovery technique still requires more detailed studies aimed at optimizing costs and operating conditions.

**Keywords:** Metallization, plastics, waste treatment, sludge, precipitation.

# Índice

<b>Notação e Glossário</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Introdução</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Estado da Arte</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1 História</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2 Princípios Gerais da Electrodeposição em Plásticos</b> .....	<b>8</b>
2.2.1 Tipos de Plásticos Metalizáveis.....	10
<b>2.3 Descrição do Processo Produtivo</b> .....	<b>11</b>
2.3.1 Método de Preparação de Superfícies .....	12
2.3.2 Método de Revestimento .....	14
2.3.3 Métodos de conversão .....	15
2.3.4 Métodos de Transformação Estrutural .....	17
<b>2.4 Resíduos Industriais</b> .....	<b>17</b>
2.4.1 Caracterização dos Resíduos Produzidos .....	18
<b>2.5 Potencial de prevenção/recuperação no sector de tratamento de superfície</b> .....	<b>21</b>
2.5.1 Medidas e tecnologias de prevenção / recuperação .....	23
<b>3 Descrição Técnica e Discussão dos Resultados</b> .....	<b>25</b>
<b>4 Conclusões</b> .....	<b>36</b>
<b>5 Avaliação do trabalho realizado</b> .....	<b>37</b>
<b>5.1 Objectivos Realizados</b> .....	<b>37</b>
<b>5.2 Outros Trabalhos Realizados</b> .....	<b>37</b>
<b>5.3 Limitações e Trabalho Futuro</b> .....	<b>37</b>
<b>5.4 Apreciação final</b> .....	<b>38</b>
<b>Bibliografia</b> .....	<b>39</b>



## Notação e Glossário

l	litro
h	hora
m <sup>2</sup>	metro quadrado
m <sup>3</sup>	metro cúbico
€	euro
kW	kilowatt
mg	miligrama
g	grama
µm	micrómetro
kg	quilograma

### *Lista de Siglas*

ETAR	Estação de Tratamento Águas Residuais
PC	Policarbonato
ABS	acrilonitrilo-butadieno-estireno

# 1 Introdução

Este projecto tem como objectivo o seguinte:

- Analisar a viabilidade económica da recuperação dos metais presentes nas lamas residuais de uma metalização de plásticos;
- Caracterização da composição das lamas e da sua produção anual;
- Estabelecimento de uma metodologia para a recuperação de metais;
- Ensaios laboratoriais do custo e rendimento da metodologia apresentada.

Para atingir os objectivos anteriormente descritos, recorreu-se a uma base prática e real de trabalho (“case study”), isto é, usou-se como dados de projecto as informações retiradas de uma empresa de metalização de plástico **DOURECA - Produtos Plásticos, LDA**, localizada em SÃO BENTO – COSSOURADO, 4940-136 PAREDES DE COURA.

Seguidamente apresentamos dados de projecto da empresa estudada:

- O caudal de efluentes nos tanques: máximo 500 l/h;
- O caudal de efluentes à entrada da ETAR é a reunião de 3 efluentes:
  - efluente ácido (lavagens crómicas) – 1 000 l/h
  - efluente básico – 4 000 l/h
  - efluente dos tanques – 500 l/h;
- A quantidade de lamas produzida em função do tempo: Aproximadamente 175 t/ano;
- Custo do tratamento/Eliminação das lamas: 48 000 €/ano.
- Custos de energia das operações de bombagem e tratamento de água: Não foi possível quantificar mas com base em bibliografia do sector estimou-se em 0,40 €/kWh;

Na *Figura 1* encontramos o diagrama processual da empresa DOURECA [1].

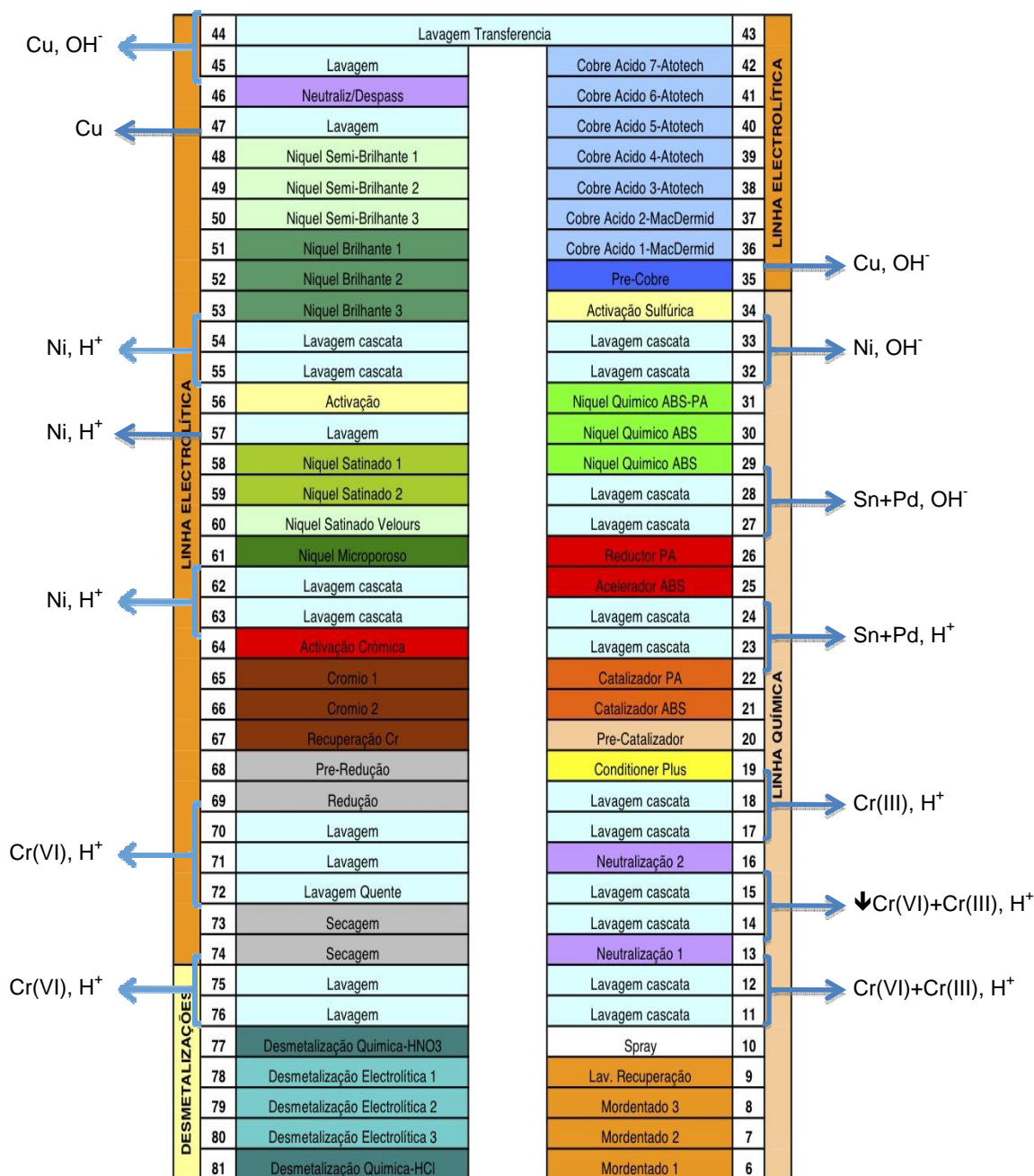


Figura 1 – Diagrama da linha produtiva da DOURECA.

Apresentamos ainda na Figuras 2 e 3 um desenho esquemático da ETAR da empresa DOURECA [2].

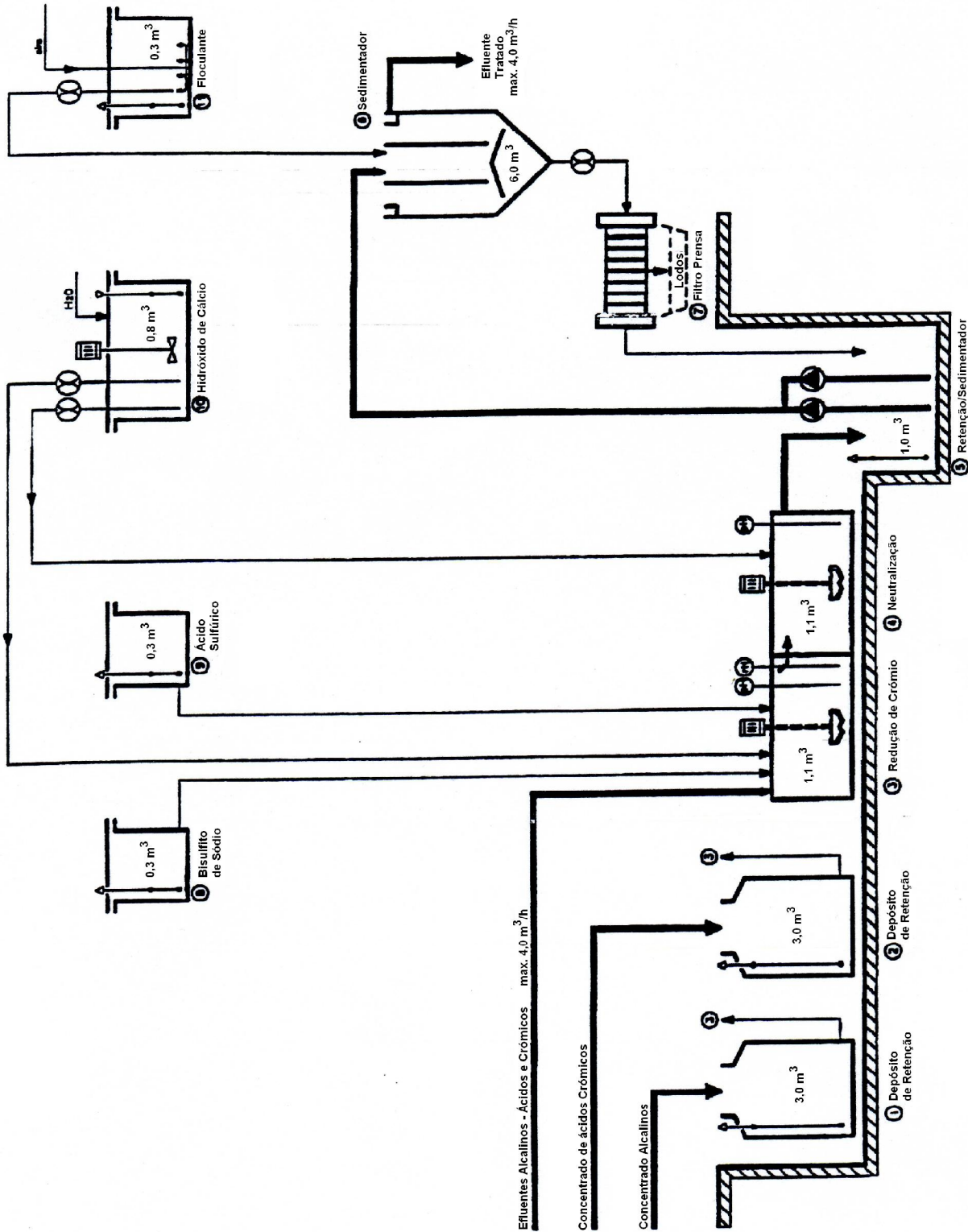


Figura 2 – Representação esquemática da ETAR da DOURECA

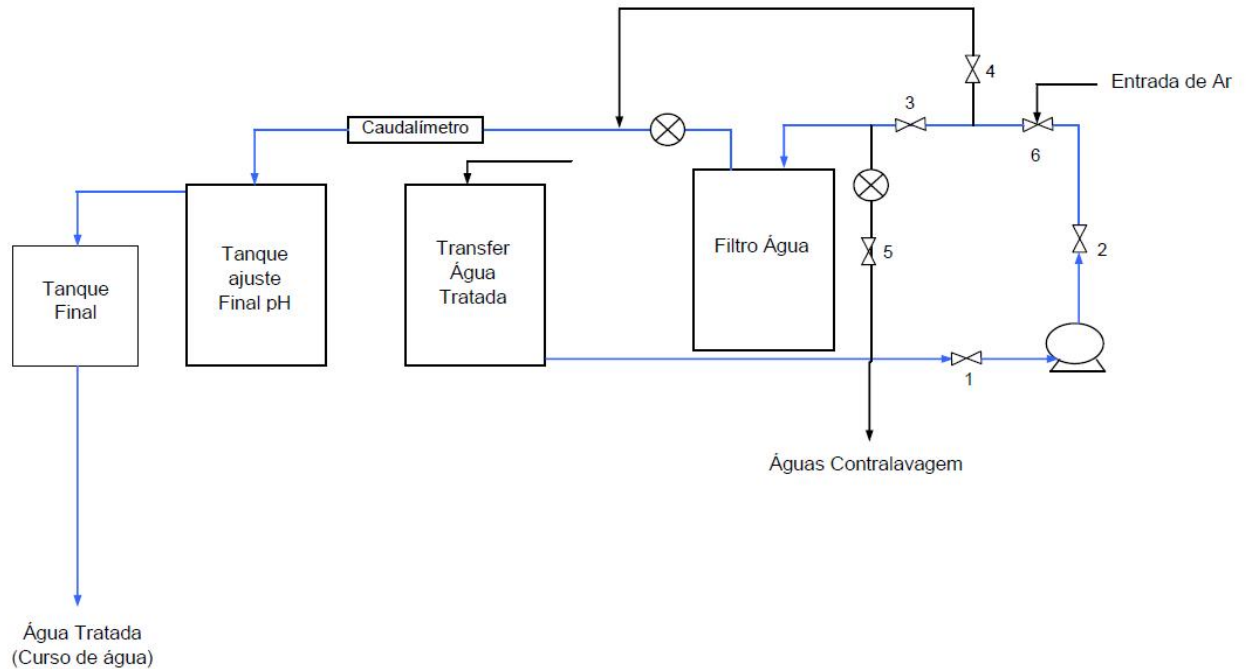


Figura 3 – Representação esquemática do filtro da ETAR da DOURECA

Começou-se esta tese por expor o estado de arte do sector de tratamento de superfícies, fazendo uma breve “viagem” pelo sector através das diversas etapas de tratamento, abordou-se a metalização de um ponto de vista das suas potencialidade e debilidades, e identificou-se as principais técnicas de prevenção e recuperação de metais do sector, quer na fase de processo e, muito em particular, na fase de tratamento das águas residuais (lamas).

Por fim, mostra-se o potencial de recuperação de metais das lamas geradas na ETAR, assinalando os benefícios de natureza económica e ambiental que daí resultam. A finalizar, efectua-se uma avaliação expedita da sua viabilidade económica.

## 2 Estado da Arte

### 2.1 História

A deposição de níquel brilhante sobre materiais poliméricos representou um enorme avanço no campo da electrometalização [3].

Os processos de deposição metálica sobre os não-condutores são de há muito do conhecimento geral, porém a falta de aderência foi, durante bastante tempo, uma barreira para o maior desenvolvimento dessa nova tecnologia. Na verdade, o simples encapsulamento do plástico não oferecia uma aderência suficiente para garantir o bom desempenho das estruturas metalizadas [4].

Com o surgimento de polímeros especiais como o ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno), houve uma mudança bastante significativa devido à aderência conseguida entre o plástico e as sucessivas camadas metálicas depositadas. Actualmente, a eletrodeposição sobre polímeros orgânicos para fins decorativos e técnicos é utilizada em diversos sectores e no mais variado tipo de peças [5].

O uso do plástico com revestimentos metálicos encontra aplicações na indústria automóvel, construção civil, electrónica, mobiliário, electrodomésticos, bijuterias, fotográfica, telecomunicações, etc.

### 2.2 Princípios Gerais da Electrodeposição em Plásticos

A falta de condutibilidade é a principal propriedade que diferencia os plásticos dos materiais condutores. Assim, torna-se necessário conseguir a deposição de uma camada condutora que sirva de base para o crescimento das posteriores camadas metálicas. A função da camada condutora inicial é também a de promover uma boa aderência entre os substratos polimérico e metálico [5].

Para se conseguir atingir o objectivo pretendido ter-se-á de actuar na superfície dos plásticos implantando núcleos catalizadores que possibilitem o desenvolvimento das reacções redox responsáveis pela criação da camada condutora.

As peças a metalizar são produzidas por moldagem, o que obriga a um controle apertado dos parâmetros da operação de injeção. Uma superfície heterogênea produzirá revestimentos defeituosos, e conseqüentemente o aumento de rejeitados.

O condicionamento das peças processa-se através da utilização de soluções específicas.

No caso do ABS, a sua imersão em soluções oxidantes (ácido crômico, água oxigenada, permanganato, ácido nítrico) promove a oxidação do butadieno, o que proporciona o aparecimento de microporos na superfície que servirão posteriormente de suporte para as etapas seguintes.

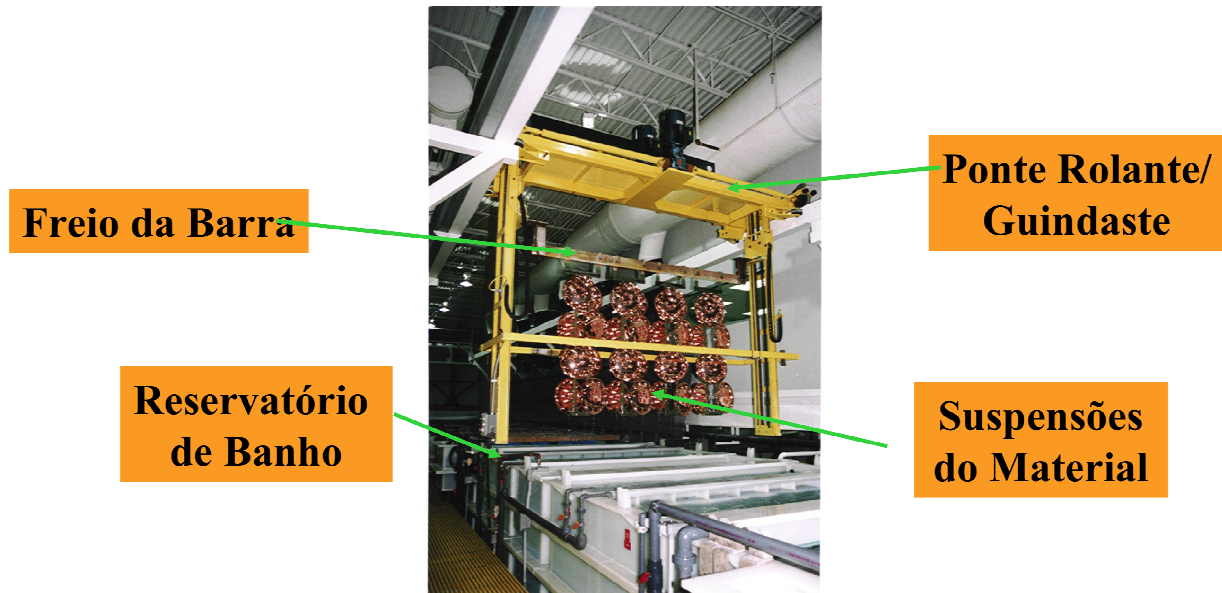
A seguir são imersas numa solução neutralizadora para eliminar os resíduos do oxidante, ou seja, uma solução que o destrua.

As peças assim preparadas passam agora por soluções activadoras. Estas soluções, em geral, contêm estanho e paládio sob a forma de complexos cloretados que se fixam nos microporos criados na operação de decapagem ácida.

Após uma nova imersão numa solução aceleradora, normalmente à base de ácidos inorgânicos, só então as peças seguem para o banho de deposição química via “electroless”. Aí, recebem uma camada da ordem de 0,4  $\mu\text{m}$  de cobre ou de níquel que servirão de base para o crescimento do filme por eletrodeposição em meio alcalino até uma espessura da ordem de 1 a 2  $\mu\text{m}$ . Após esse estágio as peças estarão prontas para receber também por electrodeposição camadas específicas de cobre ácido (20  $\mu\text{m}$ ), níquel (sucessivas camadas específicas até perfazer cerca de 18  $\mu\text{m}$ ) e crómio (0,25  $\mu\text{m}$ ) [5].

A camada final é rigorosamente controlada tendo em vista a detecção de imperfeições habitualmente sob a forma de picadas cuja análise permite identificar qual a etapa que está subjacente ao defeito.

Na *Figura 4* encontra-se uma imagem da linha produtiva da DOURECA, onde se pode observar a forma de transporte das peças sujeitas à metalização [1].



*Figura 4 - Processo de Electrometalização para ABS e ABS+PC*

*(Foto do Processo da DOURECA)*

### **2.2.1 Tipos de Plásticos Metalizáveis**

Além do ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno), amplamente utilizado na indústria automóvel, outros tipos de plásticos podem também ser usados, ainda que por vezes se tenha de ajustar os parâmetros operacionais em função das características do material.

Os mais conhecidos e já em uso são o polipropileno, ureia-formaldeído, Lexan, polissulfona, Noryl, PC (policarbonato).

Dos plásticos citados apenas o polipropileno tem emprego mais divulgado, e assim mesmo em proporção bastante reduzida face ao ABS que ocupa cerca de 90-95% do mercado [5].

Basicamente, o procedimento é o mesmo para os diversos tipos de plásticos. São utilizadas soluções específicas para condicionamento, activação e deposição química, adequadas para cada tipo de plástico. Neste projecto, trataremos especificamente das condições para deposição no ABS.

## 2.3 Descrição do Processo Produtivo

Os Tratamentos de Superfície são conjuntos de processos e métodos físico-químicos aplicados a peças metálicas e não metálicas, destinados a conferir-lhes certas propriedades.

Não obstante, o objectivo deste projecto centralizar-se em peças de plástico, apresentam-se seguidamente conceitos e conhecimentos teóricos aplicáveis a peças metálicas e não metálicas.

Os Tratamento de Superfície podem conferir a um determinado material uma série de propriedades superficiais diferentes das suas propriedades intrínsecas, tais como:

- decorativas;
- protecção contra à corrosão húmida;
- resistência à oxidação a altas temperaturas;
- resistência à luz;
- características mecânicas (fadiga, ductilidade, dureza, tenacidade, aderência, abrasão, etc.);
- eléctricas;
- térmicas;
- ópticas;
- magnéticas.

As propriedades de uma camada superficial dependem não só da sua composição química, mas também das características físicas (estrutura e morfologia). As camadas superficiais induzidas pelos Tratamentos de Superfície podem ser metálicas, inorgânicas e orgânicas.

Os Tratamentos de Superfície podem utilizar processos físicos (mecânicos, térmicos e eléctricos), físico-químicos ou apenas químicos, em que o material pode ser tratado em fase sólida, líquida ou gasosa. No entanto, os diferentes tratamentos não podem ser aplicados a qualquer tipo de material, ou seja, um material frágil não pode suportar um processo mecânico, um material não condutor não reage face a um processo eléctrico e um material poroso não pode geralmente ser tratado em fase líquida devido ao aprisionamento de soluções agressivas nos seus poros, nem em fase gasosa sob vácuo devido à retenção de

moléculas gasosas [6].

Em termos gerais, os processos dos Tratamentos de Superfície podem ser divididos em quatro grandes grupos: Preparação de superfícies, Revestimentos, Tratamentos de conversão e Transformações estruturais.

A preparação das superfícies é obrigatória em todos os casos em que as peças sejam submetidas a qualquer tipo de tratamento posterior. Estas operações, por exemplo o desengorduramento e/ou decapagem, são praticadas para remover sujidade, matéria orgânica ou óxidos metálicos, de modo a melhorar o contacto entre a superfície da peça e o seu posterior revestimento. O polimento quando se pretende reduzir a rugosidade da peça a tratar e desse modo melhorar o acabamento final. Revestimento plástico quando se pretende uma protecção temporária da peça entre etapas distintas de fabrico [7].

Nos Revestimentos, o material a depositar não reage quimicamente, ou reage pouco com o material de que a peça é constituída, a qual não sofre, por isso, modificações estruturais apreciáveis. Os revestimentos podem ser obtidos por via térmica, mecânica, imersão ou projecção de um material diluído num solvente, química, electrolítica ou deposição física e química em fase vapor [7].

Nos Tratamentos de conversão há uma transformação físico-química da camada superficial da peça, podendo haver modificações estruturais ou não, conforme a conversão seja mais ou menos difusa. As camadas de conversão obtêm-se por via química ou electroquímica em meio aquoso, tratamento termoquímico em meio sólido, líquido ou gasoso, ou imersão em meio fundido.

Nas transformações estruturais, a peça sofre alterações estruturais à superfície, as quais são geralmente induzidas por tratamento mecânico, térmico ou implantação iónica.

### **2.3.1 Método de Preparação de Superfícies**

Seguidamente apresenta-se as diversas etapas existentes num tratamento superfície [6].

#### *2.3.1.1 Desengorduramento*

Em determinadas peças, principalmente as metálicas, antes do desengorduramento, procede-se a um processo de lixagem e/ou polimento, com o objectivo de desbastar a peça para lhe

conferir a rugosidade adequada às operações seguintes. O desgorduramento visa a remoção de eventual gordura ou óleo existente na peça proveniente habitualmente de operações mecânicas de formatação da peça. Pode ser levada a cabo através de processos químicos ou electroquímicos, utilizando solventes orgânicos (clorados ou não), em fase líquida ou em fase vapor, ou soluções aquosas contendo sais alcalinos, produtos molhantes e aditivos. Os sistemas orgânicos podem trabalhar em circuito fechado com recuperação de solvente. Nos desgorduramentos químico são geradas grandes quantidades de resíduos líquidos carregados de contaminantes inorgânicos e orgânicos susceptíveis de reutilização parcial, após tratamento para separação dos constituintes indesejáveis. O desgorduramento precede obrigatoriamente a decapagem ácida ou alcalina.

#### *2.3.1.2 Decapagem*

A decapagem visa eliminar as camadas de óxidos presentes na superfície das peças, de modo a que a posterior deposição de material constitua uma camada perfeitamente aderente e homogénea. Pode efectuar-se por via mecânica (jacto de areia ou de granalha), electroquímica (corrente contínua anódica ou corrente alternada) ou química, esta última a mais vulgarizada. A decapagem por acção química, por exemplo nos aços e no cobre, é realizada com ácido sulfúrico, clorídrico ou nítrico. No caso do alumínio utiliza-se um meio alcalino com soda cáustica, e designa-se por acetinagem quando se pretenda dar à superfície um certo acabamento com um aspecto mate.

As operações de decapagem são responsáveis pela grande parte das lamas das indústrias de galvanização.

#### *2.3.1.3 Protecções temporárias*

As protecções temporárias visam proteger as peças contra a corrosão, abrasão, rasuras, etc., quando há necessidade de se proceder ao seu armazenamento, transporte ou simples manipulação entre etapas de fabrico distintas. A protecção é retirada quando a peça chega ao seu destino. São operações levadas a cabo, geralmente no início dos processos de tratamento e, na maioria dos casos, entre as fases de preparação e o restante processo de tratamento. Os materiais utilizados neste tipo de protecção são aplicados sob a forma de filme com pincel, por

pulverização ou imersão, podendo ser de vários tipos, tais como: óleo, solventes orgânicos ou aquosos, gorduras, ceras, vernizes e filmes plastificados.

### **2.3.2 Método de Revestimento**

Nos subcapítulos seguintes encontra-se um descrição de alguns métodos de revestimento [6].

#### *2.3.2.1 Revestimentos por projecção de matérias sólidos (pós ou outros)*

Este tipo de revestimentos pode ser realizado de duas formas distintas:

- a) O material do revestimento em pó (orgânico ou cerâmico) é projectado à pistola sobre a peça que pode ser aquecida previamente ou após a projecção, formando-se o filme pretendido por solidificação (resinas termoplásticas), vitrificação (esmaltes) ou por secagem e polimerização (resinas termoendurecíveis). Como exemplos deste tipo de operações podem referir-se a pintura electrostática a pó, a plastificação e a esmaltagem a pó. A primeira encontra-se bastante difundida no nosso País, nomeadamente na lacagem de alumínio.
- b) O material de revestimento na forma sólida (metálico, cerâmico ou orgânico) é levado à temperatura de fusão e projectado sobre a peça por pistola de chama, arco eléctrico ou plasma. Encontram-se neste caso, os processos de metalização, entre outros.

#### *2.3.2.2 Revestimentos metálicos por via não electrolítica*

O elemento constituinte do revestimento, inicialmente dissolvido e ionizado no banho, sofre uma reacção de redução, o que leva à sua deposição na superfície da peça no estado metálico. Esta reacção pode ocorrer por dois mecanismos distintos:

- a) Por oxidação do metal que constitui a peça, menos nobre que o metal do revestimento em solução que se reduz, deposição por imersão. Assim que a superfície da peça fique coberta pelo metal do revestimento, na ausência de porosidade, a reacção pára, sendo a espessura da camada depositada em geral muito fina; e,

- b) Por oxidação de um redutor presente em solução, sendo que a redução se faz sobre uma superfície com propriedades catalíticas próprias ou adquiridas, deposição “electroless”. Independentemente do metal de revestimento (níquel, platina, cobre, prata ou ouro), a sua espessura dependerá apenas do tempo de operação.

Pode encontrar-se este processo de revestimento em linhas de Cobragem, Douragem, Niquelagem, Platinagem ou Prateagem.

### *2.3.2.3 Revestimentos por via electrolítica*

O material do revestimento, que pode ser metálico, cerâmico e orgânico, está inicialmente dissolvido no banho. Pela aplicação de uma corrente eléctrica exterior dá-se uma reacção electroquímica à superfície da peça (que funciona como cátodo nos revestimentos metálicos e orgânicos e como ânodo nos cerâmicos), proporcionando-se assim a formação do material de revestimento.

Os revestimentos electrolíticos são os mais relevantes em Portugal, como sejam: Niquelagem, Cromagem, Cobragem, Zincagem, Douragem, Estanhagem, Latonagem, Prateagem ou Cadmiagem; Pintura Cataforética, quando o revestimento é orgânico; e Esmaltagem Electroforética, em revestimentos cerâmicos. De salientar que, tanto as operações de desengorduramento, como as de lavagem, se podem referir a uma ou a um grupo de operações da mesma natureza.

## **2.3.3 Métodos de conversão**

Alguns dos métodos conversão existentes são descritos seguidamente [6].

### *2.3.3.1 Conversão por via química*

A peça a tratar é mergulhada num banho apropriado que a ataca superficialmente, formando-se a camada de conversão. O banho é quimicamente agressivo e contém geralmente fosfatos, cromatos ou outros sais e ácidos, formando-se na superfície da peça metálica uma camada protectora que pode ser constituída por um composto químico salino (fosfatos ou cromatos), ou por compostos cerâmicos (óxidos). Os processos de Coloração e Cromatação do alumínio,

bem como os da Fosfatação e da Passivação Crômica são conversões por via química. Estas três últimas operações ocorrem frequentemente em processos de pintura electrostática a pó, na fase de preparação das peças, designadamente em lacagem de alumínio.

#### *2.3.3.2 Conversão por via electrolítica*

Nesta técnica, as peças a tratar funcionam como o ânodo de uma célula electroquímica, oxidando-se superficialmente durante a passagem de corrente. O electrólito participa na reacção, dando origem a um óxido ou a um hidróxido do metal constituinte da peça, formando-se uma camada protectora na sua superfície e ocorrendo, simultaneamente, a dissolução do metal no banho. A nova superfície formada é um óxido. São exemplo desta técnica de conversão os processos de Anodização do alumínio.

#### *2.3.3.3 Conversão por difusão: Tratamento termoquímico em fase sólida*

A peça metálica a tratar é posta em contacto com o material em pó que contém o elemento a difundir numa atmosfera inerte ou redutora, à pressão atmosférica ou sob vácuo parcial. O material difunde-se na peça e reage parcialmente com ela sob o efeito da temperatura. A superfície convertida pode ser metálica ou cerâmica. Exemplos deste tipo de conversão são a Cementação, a Nitruração e a Carbonitruração.

#### *2.3.3.4 Conversão por difusão: Imersão*

A peça metálica é posta em contacto com o material metálico que induz a conversão e que se encontra no estado líquido. Sob o efeito do calor, o material difunde-se na peça reagindo com ela. São exemplos deste tipo de conversão as operações de Galvanização, Estanhagem com Chumbo e Estanhagem com Alumínio.

#### *2.3.3.5 Conversão por difusão: Tratamento termoquímico em fase líquida ou pastosa*

A peça metálica é introduzida num banho de sais fundidos que contém os sais do elemento a difundir e fundentes. Sob o efeito da temperatura, o elemento difunde-se na peça e reage

parcialmente com ela. A superfície formada é cerâmica. Como exemplos deste tipo de tratamento podem apontar-se a Cementação, a Nitruração, a Carbonitruração e a Sulfuração.

## **2.3.4 Métodos de Transformação Estrutural**

### *2.3.4.1 Transformações estruturais por implantação iónica*

A substância que induz a transformação pode ser um metal vaporizado ou um elemento não metálico no estado gasoso. É ionizada na fonte de ionização, acelerada por um campo eléctrico e implantada na peça, que pode ser metálica, cerâmica e plástica. Esta sofre modificações estruturais por reacção com o material de implante. São exemplos de transformações estruturais, a implantação de cromo e de cobalto para melhoria das propriedades mecânicas e anticorrosivas de peças metálicas [6].

## **2.4 Resíduos Industriais**

O sector de Tratamentos de Superfície é um forte potencial gerador de resíduos, dadas as características dos seus diversos processos produtivos. Estes envolvem, na sua grande maioria, a utilização de banhos concentrados (desengorduramento, electrodeposição e outros), do que resulta as peças após emersão imporem arrastes significativos para as águas de lavagem subsequentes. Deste modo, a composição dos efluentes residuais possuem elevadas concentrações em óleos e gorduras, compostos metálicos, ácidos, bases, aditivos vários, cianetos e outros, podendo ainda, em certos casos, apresentarem já lamas metálicas. No caso de existirem tratamentos de fim de linha, são também gerados nas ETAR's quantidades avultadas de lamas do tipo coloidal, de difícil desidratação, que concentram a maior parte da poluição gerada no processo [6, 8].

Por outro lado, o facto de em algumas das operações de tratamento se recorrer à utilização de compostos nocivos, como sejam, solventes halogenados no desengorduramento e compostos à base de cromo ou de cianetos em banhos de electrodeposição, faz com que muitos dos efluentes e resíduos produzidos neste sector tenham características de elevada perigosidade.

Acresce o facto da maioria das empresas em Portugal serem de pequena dimensão (60% com menos de 10 trabalhadores), o que configura uma dispersão desses resíduos e, portanto, uma

gestão mais problemática, com as implicações económicas e ambientais que daí decorrem [6].

Em termos qualitativos, os resíduos industriais produzidos por este sector podem classificar-se em três grandes grupos [6, 9]:

- **Resíduos sólidos:** resultantes, essencialmente, de operações de tratamento mecânico, como o polimento, a lixagem, a decapagem mecânica, e pulverização de materiais em pó (pintura e esmaltagem). Referem-se, na sua grande maioria, a poeiras constituídas por partículas metálicas, cerâmicas e orgânicas. Alguns resíduos são passíveis de reciclagem e/ou recuperação, apresentando como destino final mais comum a deposição em aterro controlado.
- **Resíduos líquidos:** provenientes dos tratamentos químicos e electroquímico, englobam os banhos concentrados e os banhos de escorrimento. São normalmente líquidos fortemente agressivos, constituídos por ácidos ou bases fortes, podendo ainda conter compostos de maior ou menor nocividade, como sejam óleos e gorduras, diversos metais (incluindo o crómio), cianetos, solventes, etc. .. Alguns são classificados como Resíduos Perigosos. Alguns destes banhos apresentam elevados potenciais de recirculação, como sejam os banhos de desgorduramento. O destino final mais usual dos banhos concentrados (cerca de 90%) é a sua condução para uma ETAR, resultando daí uma produção de lamas. Quando não existe ETAR, estes resíduos são normalmente canalizados para operadores licenciados de resíduos industriais, para posterior tratamento em unidades próprias, geralmente localizadas fora do País (nomeadamente no caso dos perigosos).
- **Resíduos semi-sólidos ou pastosos** - resultam principalmente das lamas formadas em algumas operações, como o polimento, a fosfatação ou a acetinagem, e das lamas de ETAR podendo ou não, encontrar-se na gama dos resíduos considerados como Perigosos. São os mais produzidos, tendo como destino final usual a deposição em aterro controlado, também geralmente fora do País (através do recurso a operadores de resíduos industriais licenciados).

#### 2.4.1 Caracterização dos Resíduos Produzidos

Dadas as particularidades do sector dos Tratamentos de Superfície e, também, devido à falta de

dados quantitativos no que respeita à produção de resíduos, este é um sector de difícil caracterização.

De salientar que, há resíduos que não constando da listagem de resíduos perigosos, se consideram como apresentando um grau de perigosidade elevado. Encontram-se, neste caso, por exemplo, muitos dos resíduos líquidos sem crómio e sem cianetos e as lamas de ETAR, que frequentemente contêm teores elevados de metais pesados.

Considerou-se que cerca de 90% do volume total de águas de lavagem e banhos descarregados sofrem tratamento em ETAR. Dado que a descarga dos banhos concentrados é pouco frequente ou mesmo rara, admitiu-se que o volume destes é de apenas 10%, sendo os restantes 90% correspondentes às águas de lavagem. Constitui excepção a operação de desengorduramento aquoso, para a qual se admitiu uma igual partição entre os banhos descarregados e as águas de lavagem [10].

Estima-se que, de entre os resíduos catalogados como Perigosos, os que contêm crómio são os produzidos em maior quantidade, seguidos dos que contêm cianetos.

No que respeita à sua utilização, é de salientar que, enquanto que os banhos cianetados têm vindo a ser progressivamente substituídos por banhos não cianetados, com a consequente diminuição da perigosidade dos resíduos gerados, o mesmo não acontece com os banhos que contêm crómio ou, pelo menos não acontece de forma tão acentuada. Tal deriva do facto da diminuição da perigosidade deste tipo de banhos se encontrar directamente associada à substituição do crómio (VI) pelo crómio (III), de menor toxicidade. Mas embora essa tendência já se verifique nos processos de cromagem decorativa, ainda não existem banhos de crómio (III) no mercado que sejam aceitáveis pela indústria em termos de preço e eficiência para substituir o crómio (VI) em cromagem dura.

Em termos globais, a maior quantidade dos resíduos líquidos não-perigosos é constituída pelos resíduos provenientes dos banhos de desengorduramento, logo seguida pelos banhos concentrados que não contêm crómio nem cianetos.

Quanto aos resíduos sólidos e semi-sólidos, verifica-se que a maior produção respeita, como seria de esperar, às lamas de ETAR, seguidas dos pós da metalização e da tinta em pó das lacagens de alumínio (resíduos fora do âmbito deste trabalho).

Na *Figura 5* pode ver-se fotografias do filtro da ETAR da empresa, cujas lamas foram o objecto

de estudo desta tese, assim como os recipientes “big-bag” usados na armazenagem e transporte das lamas [1].



Figura 5 – Pormenores da ETAR da DOURECA – Filtro de Lamas

## 2.5 Potencial de prevenção/recuperação no sector de tratamento de superfície

As características dos resíduos gerados pelo sector dos Tratamentos de Superfície, descritas no ponto anterior, proporcionam a aplicação de um vasto conjunto de medidas e tecnologias de prevenção ao longo dos processos, as quais permitem a redução, não só da quantidade, mas, também, da perigosidade dos resíduos provenientes de cada operação.

Apesar de o objectivo principal deste projecto não ser o estudo do potencial de prevenção no decorrer da linha processual, mas sim o potencial de recuperação das lamas geradas. No entanto, importa referir que é possível e muitas vezes desejável actuar na recuperação de metais ao longo do processo.

No que se refere aos resíduos líquidos, é possível actuar não só ao nível da sua redução, mas também, simultaneamente, ao nível da reutilização das matérias-primas e da água, com a consequente redução de custos. Quanto às águas residuais provenientes das lavagens associadas aos vários tratamentos de superfície apresentam um elevado potencial de prevenção. Nomeadamente, no caso das lavagens intermédias que se situam entre banhos electrolíticos ou químicos de longa duração, algumas das tecnologias existentes consistem em sistemas de concentração/purificação que permitem a recirculação do concentrado (com os constituintes do banho) para o banho de tratamento anterior e da água para os andares de lavagem. Consegue-se assim, ao mesmo tempo, a redução do consumo de água, a recuperação de matérias-primas e ainda a redução significativa do volume de efluente gerado e dos resíduos de fim de linha correspondentes [10, 11].

A substituição do processo de lavagem mais tradicional por lavagens em cascata e em contracorrente, pode também conduzir a uma redução do consumo de água e consequentemente dos efluentes líquidos gerados, mantendo a mesma eficiência de lavagem.

Também no caso dos banhos de desengorduramento químico, é possível que seu o resíduo seja submetido a tratamento por sistemas de membranas, de decantação ou outros, nos quais as gorduras, os óleos e as outras impurezas ficam retidos, retornando a solução com os aditivos livres ao banho. Consegue-se assim, uma diminuição do consumo de reagentes, bem como do volume de efluente ou resíduo gerados, como resultado do prolongamento da vida do banho.

Durante a visita efectuada à empresa DOURECA, bem como através de pesquisa bibliográfica, verificou-se que as medidas de prevenção mais utilizadas em Portugal, ou pelo menos aquelas para as quais os industriais estão mais sensibilizados, consistem na utilização de sistemas de lavagem em cascata e em contracorrente, em substituição das lavagens simples. Verificou-se ainda haver em algumas empresas a preocupação com o uso de banhos cianetados e a vontade de os substituir por banhos não cianetados, nomeadamente, no caso das zincagens e cobreagens, objectivando a redução da perigosidade dos efluentes gerados.

No caso das tecnologias de prevenção, os sistemas de permuta iónica são os mais implementados para reutilização das águas de lavagem entre banhos de tratamento.

Os principais factores de incentivo à implementação de medidas e tecnologias de prevenção no sector são, para além dos incentivos financeiros e fiscais, a garantia prévia de que através dessas medidas/tecnologias se consegue a eliminação/redução substancial dos seus resíduos. Tal atitude permite alimentar algum optimismo acerca da implementação a curto ou médio prazo de algumas dessas medidas/tecnologias, nomeadamente a optimização das lavagens e também a utilização de sistemas de separação por membranas e de permuta iónica para recirculação de banhos ou águas de lavagem. Note-se, no entanto, que o facto de a maioria das empresas deste sector terem captações próprias de água, o que se obtém a um custo bastante reduzido, implica uma menor sensibilidade do industrial face às medidas/tecnologias cujo principal objectivo consiste na redução do consumo de água.

Quanto às restantes tecnologias de prevenção passíveis de aplicação nos tratamentos de superfície, muitas delas têm sido implementadas com sucesso noutros países e mesmo em Portugal, embora estejam muito pouco difundidas. O impacto de quase todas as tecnologias mencionadas não tem sido muito visível junto dos industriais portugueses, quer por exigirem investimentos mais elevados, quer por induzirem a ideia de que têm períodos de retorno do investimento demasiado longos, o que em muitos casos e após uma análise económica simples, se verifica não corresponder à realidade.

Deste modo, com base no vasto conjunto de medidas/tecnologias de prevenção existentes no mercado com aplicabilidade a curto ou médio prazo, pode concluir-se que o sector dos Tratamentos de Superfície apresenta um elevado potencial de prevenção. Os benefícios associados à implementação dessas medidas/tecnologias são por vezes bastante significativos ao nível da redução dos consumos de matérias-primas e de água. A redução dos resíduos e

efluentes gerados terá um impacto positivo ao nível do custo do tratamento em ETAR, bem como do custo da respectiva deposição em aterro.

### **2.5.1 Medidas e tecnologias de prevenção / recuperação**

A identificação das medidas e tecnologias de prevenção para o sector dos Tratamentos de Superfície foi efectuada através de pesquisas bibliográficas, consultas a fornecedores de tecnologias e do contacto com industriais do sector, centrando-se nos seguintes aspectos:

- substituição de matérias primas perigosas por outras de menor impacto ambiental;
- minimização do consumo de água;
- minimização do consumo de matérias primas;
- optimização da utilização dos banhos de tratamento e respectivas águas de lavagem, através de processos de concentração e recirculação dos mesmos; e,
- melhoria da manutenção dos equipamentos, com o objectivo de reduzir o risco de avarias, fugas ou acidentes.

As soluções existentes podem ser extremamente vantajosas para as empresas, porque, para além de benefícios económicos associados, introduzem melhorias significativas no processo em termos ambientais, quer pela diminuição da quantidade e/ou perigosidade dos resíduos gerados, quer pela maior facilidade da sua gestão. Todas estas acções garantem às empresas que as adoptem vantagens competitivas e uma melhor preparação para enfrentar as exigências normativas ambientais que venham a ser impostas no futuro.

Existem dois factores imprescindíveis para alcançar os objectivos propostos: a minimização e a recuperação de resíduos.

A actividade ligada aos revestimentos electrolíticos é a mais difundida em Portugal, ocorrendo frequentemente associada aos processos de Tratamento de Superfícies.

Os principais objectivos de qualquer linha galvânica são a melhoria da qualidade do processo, a redução dos custos de produção e o cumprimento das normas ambientais.

Com este trabalho não se pretende identificar e descrever todas as medidas e tecnologias de prevenção disponíveis para o sector, pois existe muita bibliografia sobre esta temática; no

entanto as principais medidas tecnológicas e aplicações são as seguintes [6]:

- **Lavagem** - método para redução do consumo de água;
- **Ultrafiltração** - banhos de desengorduramento alcalino;
- **Osmose inversa** - águas de lavagem de niquelagem;
- **Evaporação** - águas de lavagem de cromagem decorativa;
- **Permuta iónica** - águas de lavagem de cromagem decorativa;
- **Electrólise** - banhos mortos de cobreagem;
- **Retardação iónica** - banhos de anodização de alumínio;
- **Electrodiálise** - banhos de anodização de alumínio;
- **Precipitação química** – remoção de metais (p.e. em lamas).

### 3 Descrição Técnica e Discussão dos Resultados

Seguidamente apresentamos os resultados apurados na empresa de metalização de plástico DOURECA. Apesar de não ser o objecto de estudo desta tese a recuperação de metais na linha produtiva, para além da análise do teor de metais nas lamas de amostras recolhidas em dois pontos distintos da ETAR, mostram-se os resultados das análises em diversos pontos da linha processual (*Tabelas 1 a 7*).

*Tabela 1 – Concentração de Crómio.*

<b>Amostra</b>	<b>Concentração</b>
Lama I	132,300 g/kg de lama seca
Lama II	131,700 g/kg de lama seca
Água lavagem crómio	50,100 g/l
Água lavagem activação	149,430 mg/l
Água lavagem Neutralização	7,420 mg/l

*Tabela 2 – Concentração de Níquel.*

<b>Amostra</b>	<b>Concentração</b>
Lama I	47,430 g/kg de lama seca
Lama II	42,300 g/kg de lama seca
Água de lavagem do Níquel Químico	18,349 mg/l
Água de lavagem do Níquel Brilhante	232,948 mg/l

Tabela 3 – Concentração de Estanho

Amostra	Concentração
Lama I	4,416 g/kg de lama seca
Lama II	4,887 g/kg de lama seca
Água de Lavagem Activação	78,160 mg/l

Tabela 4 – Concentração de Cobre

Amostra	Concentração
Lama I	33,234 g/kg de lama seca
Lama II	29,928 g/kg de lama seca
Água de Lavagem Activação	121,800 mg/l

Tabela 5 – Concentração de Paládio

Amostra	Concentração
Lama I	0,0106 g/kg de lama seca
Lama II	0,0107 g/kg de lama seca
Água de Lavagem Activação	0,352 mg/l

Tabela 6 – Concentração de Ferro

Amostra	Concentração
Lama I	0,149 g /kg de lama seca
Lama II	0,129 g /kg de lama seca
Água de Lavagem Ácida	0,456 mg/l
Água de Lavagem Alcalina	n-d
Água de Lavagem Activação	0,163 mg/l

Tabela 7 – Concentração de Humidade

Amostra	Concentração
Lama I	35 %
Lama II	32 %

Tendo por base a caracterização das lamas, realizou-se uma avaliação expedita da sua viabilidade económica. Para isso recorreu-se aos seguintes elementos: dados fornecidos pela empresa objecto de estudo; bibliografia exemplificativa de tecnologias implementáveis na recuperação meta; custo de reagentes, energéticos, manutenção, etc. Finalmente, ainda se teve em consideração os benefícios resultantes, isto é, a rentabilidade dos metais recuperados nas lamas (reutilização na produção ou até mesmo na venda para mercado geral ou para outras aplicações), bem como a redução de custos no encaminhamento e deposição de resíduos.

Assim, os dados de projecto apurados na DOURECA necessários para a realização deste trabalho foram os seguintes:

- A quantidade de lamas produzida em função do tempo: aproximadamente 175 t/ano;
- Custo do tratamento /Eliminação das lamas: 48 000 €/ano;
- Custos de energia das operações de bombagem e tratamento de água. Estimou-se em 0,40 €/kWh;
- Na Tabela 8 apresentam-se as quantidade e os custos associados na aquisição dos reagentes e produtos usados no processos de tratamento que dão origem aos metais.

Tabela 8 – Quantidades e os custos associados na aquisição dos reagentes metálicos da Empresa DOURECA – dados referentes ao ano 2009

Metal	Composto químico aplicado no processo	Quantidade consumida (t/ano)	Custo aquisição (€/ano)
Níquel	Cloreto Níquel	2,345	12 006
	Sulfato de Níquel	11,615	35 535
	Ânodo Níquel Tipo R	5,950	76 818
	Ânodo Níquel Tipo S	6,750	86 318
Cobre	Sulfato de Cobre	5,293	14 800
	Ânodo de Cobre	12,200	95 844

**Nota:** os custos com aquisição de reagentes à base de Crómio, Estanho e Paládio não foram facultados em tempo útil pela DOURECA.

Importa realçar que os quantidades e os custos descritos anteriormente foram fornecidas pela DOURECA, no entanto, estes podem variar em função de acordos particulares de negócio.

Na tabela seguinte encontram-se explicitadas as quantidades produzidas de cada metal existente nas lamas, bem como um estudo da sua potencialidade económica.

*Tabela 9 – Quantidades produzidas e o benefício económico na recuperação de cada um dos metais existente nas lamas de uma metalização de plástico.*

<b>Metal</b>	<b>Concentração Média Lama Seca (g/kg)</b>	<b>Quantidade (t/ano)</b>	<b>Preço Unitário Médio (€/t) mercado actual – Agosto 2010)</b>	<b>Benefício (€/ano)</b>
Crómio	132,000	15,361	8 561	131 503
Níquel	44,865	5,221	17 363	90 654
Estanho	4,652	0,541	16 923	9 161
Cobre	31,581	3,675	4 558	16 751
Paládio	0,011	0,001	133 53 678	16 751
Ferro	0,139	Sem interesse económico, esta quantidade residual é proveniente da águas do furo existente e outras contaminações		
<b>TOTAL</b>		<b>24,800</b>		<b>264 619</b>

É importante referir que se considerou na determinação da quantidade de metais o teor médio de humidade nas lamas de 33,5 %, de acordo com as análises laboratoriais efectuadas. Os dados de natureza técnica, assim como os preços e os custos unitários utilizados foram, sempre que possível, obtidos no nosso País ou para aqui transpostos com base nos mercados de transacção de metais, facilmente recolhíveis na *Internet* [13, 14].

Analisando a *Tabela 9* verifica-se que as lamas possuem um elevado potencial de recuperação de metais, no total de 24 t/ano face às 116 t/ano de lamas secas produzidas (lamas húmidas 175 t/ano), o que significa que 21 % das lamas secas são constituídas por metais pesados (Crómio, Níquel, Estanho, Cobre, Paládio). Numa perspectiva financeira, o valor intrínseco total de metais nas lamas é de cerca de 265 000 €/ano. De realçar é o valor do Crómio que contribui com 50 % para o valor total dos metais nas lamas, seguido do Níquel com 34 %, Cobre e Paládio com 6% cada, e por fim o Estanho com 3 %. Importa ainda destacar que a este valor total, a empresa pode ainda economizar cerca de 30 000 € com o gasto associado no encaminhamento e deposição das lamas num aterro autorizado. Portanto, a rentabilidade global é cerca de 295 000 €/ano.

Convém também referir que os preços unitários dos metais são muito sensíveis nos mercados

de transacção internacionais. Uma análise sumária mostra que os valores médios actuais estão significativamente abaixo da média de anos anteriores, pois estes preços unitários estão ainda numa fase de recuperação para os índices praticados em anos anteriores à “crise económica 2008/2009” [14].

Seguidamente apresentamos um esquema da estratégia de recuperação de metais em lamas de uma metalização de plásticos [12, 15, 16]. Conforme já referido não é objecto desta tese identificar e descrever todas as medidas e tecnologias de recuperação disponíveis, pois existe muita bibliografia sobre esta temática, no entanto apresenta-se a seguir um exemplo concreto de aplicação de medidas e técnicas que podem ser usadas na recuperação de metais, assinalando os benefícios de natureza económica e ambiental que delas resultam.

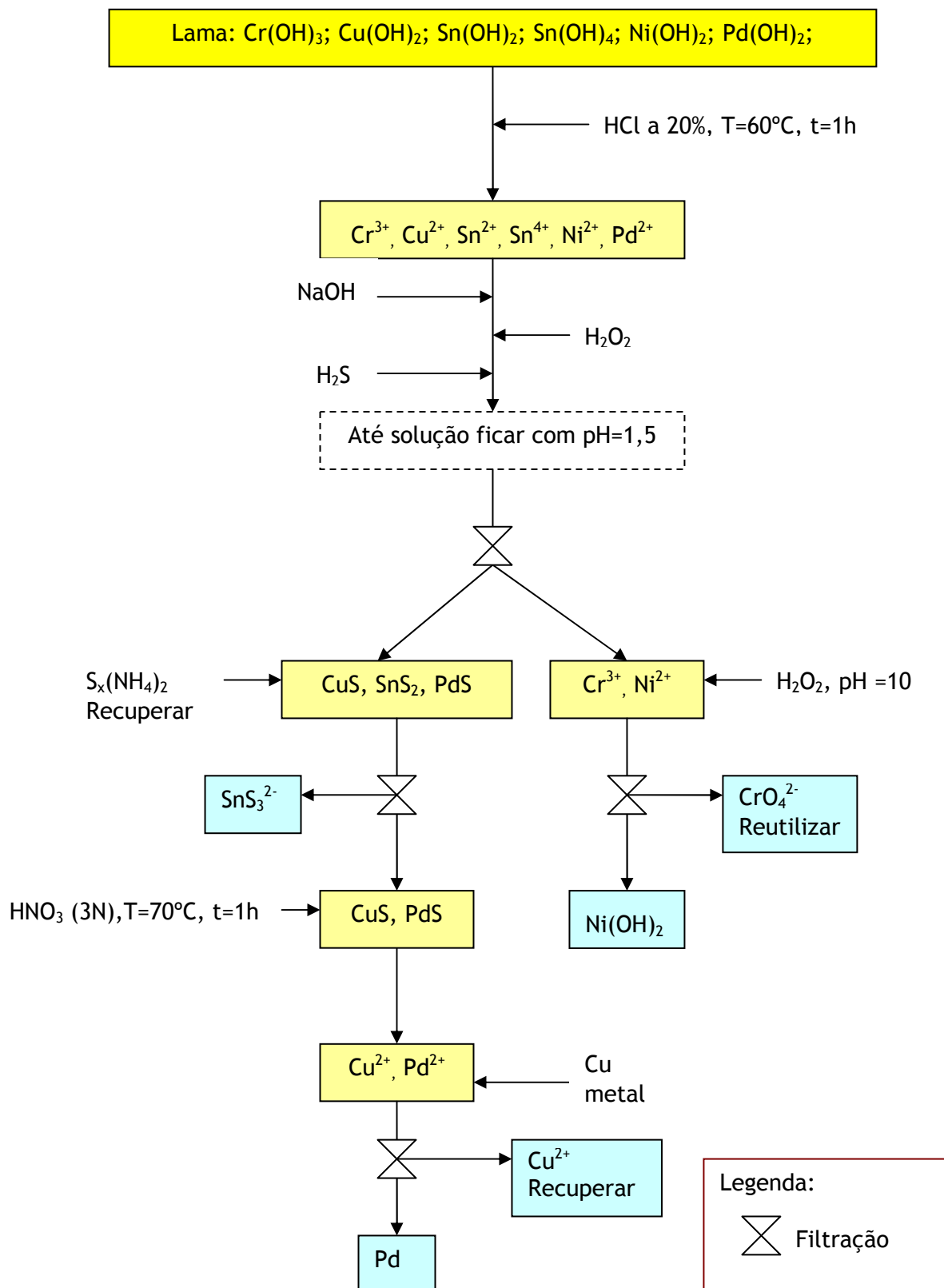
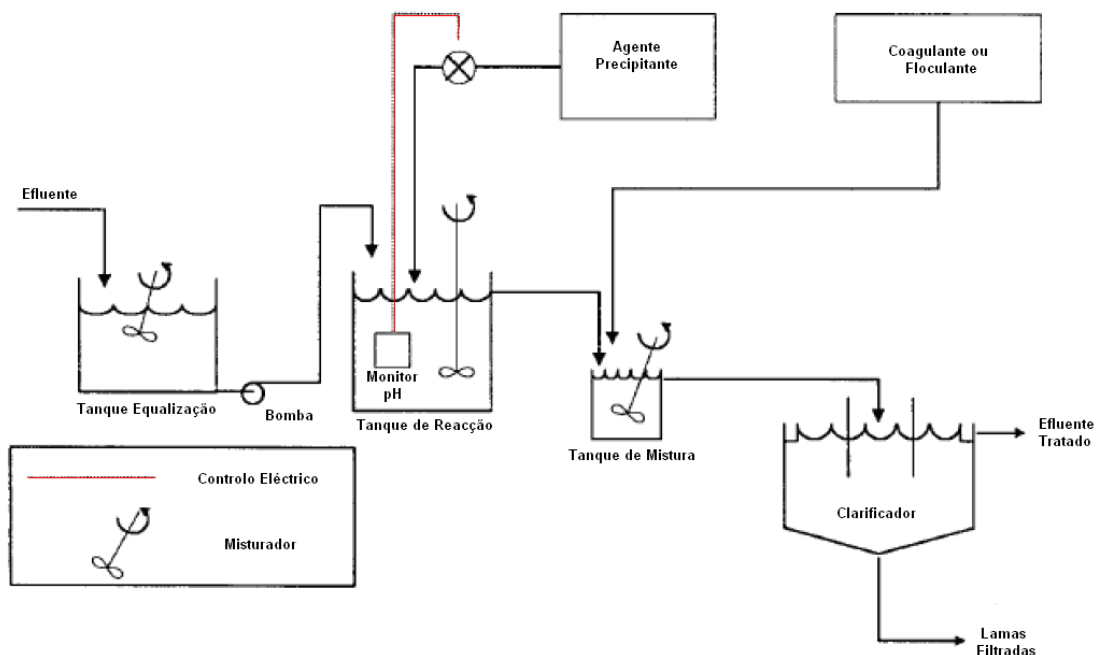


Figura 6 – Representação esquemática da recuperação de metais em lamas de uma metalização de plástico.

Na *Figura 6* apresenta-se um esquema de recuperação de metais em lamas de uma metalização de plástico; trata-se apenas de uma das possibilidades viáveis e exequíveis; no entanto existem outros métodos, tecnologias ou estratégias [17].

Conforme se verifica, a estratégia definida assenta em processos de solubilização, complexação, precipitação, e oxidação-redução, onde a relação custo (investimento) /benefício é muito satisfatória. A técnica de precipitação química é usualmente usada na indústria para a remoção de metais, por ser relativamente simples e de fácil implementação [12]. Na *Figura 7* mostra-se um exemplo clássico de aplicação desta técnica.



*Figura 7 – Esquema de uma instalação de remoção de metais por precipitação química e sedimentação.*

Os metais pesados são normalmente precipitados na forma de hidróxidos por meio de adição de cal ou soda cáustica até atingir um pH correspondente à solubilidade mínima (ver *Figura 8*) [12].

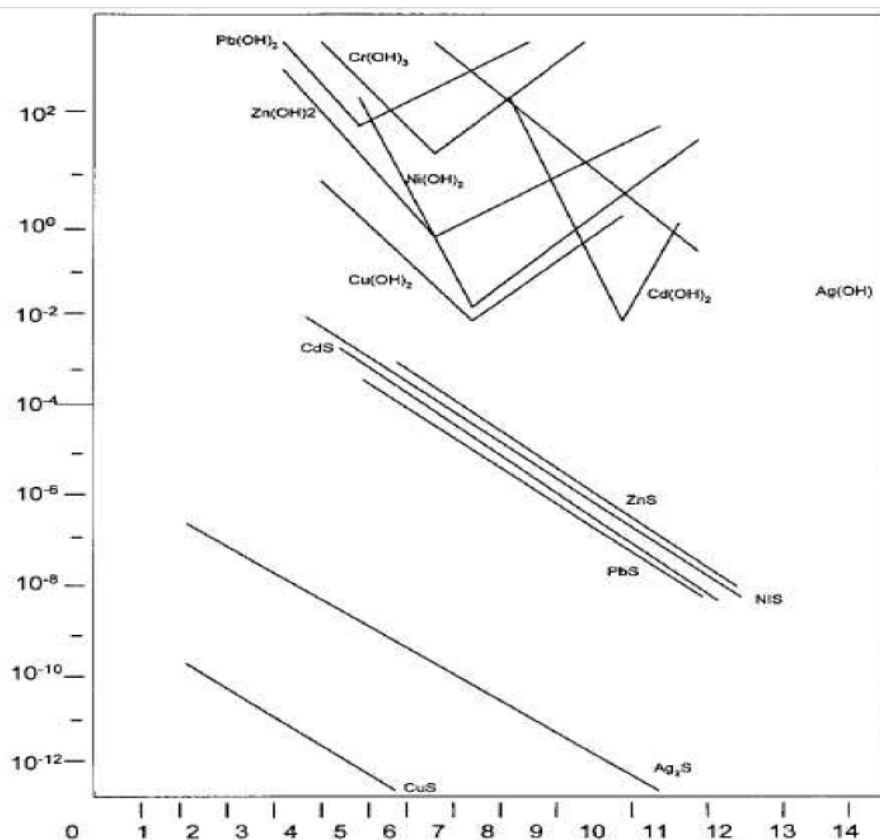


Figura 8 – Valores de concentração de solubilidade de sais metálicos (mg/l) em função do pH.

Os principais factores que influenciam a solubilidade de iões metálicos em solução são os seguintes: formação de complexos, temperatura, co-precipitação e reacções de oxidação/redução. O controle e optimização destes factores são fundamentais na eficiência nos processos de precipitação. Trabalhos realizados confirmam que as remoções de Cr(III), Cu, Ni têm eficiência superiores a 98 %. Além disso, é fácil controlar o pH, as operações são fiáveis, simples, bem aceites pela indústria, e o custo do agente precipitante é relativamente baixo [17].

Finalmente, com base nos dados apurados na empresa, na caracterização dos metais e seu respectivo valor intrínseco, e aplicando a estratégia de recuperação proposta anteriormente, analisou-se a viabilidade económica ao caso em estudo. Na *Tabela 10* pode ver-se os resultados obtidos. Consideraram-se como custos operatórios adicionais os consumos de energia devidos a bombagem, monitorização, reagentes e também os custos da sua manutenção, incluindo a remoção, encaminhamento e eliminação de “novos” resíduos gerados. Os benefícios conseguidos são os resultantes dos processos de recuperações de metais e o decréscimo nos

custos na gestão dos resíduos da ETAR.

É de referir ainda, que no exemplo a seguir apresentado se comparam apenas os custos considerados relevantes para o caso em estudo. Assim, quando se mencionam os custos operacionais totais, estes referem-se apenas ao somatório dos custos que se alteram quando se introduz uma medida de recuperação de metais.

*Tabela 10 - Avaliação económica da implementação de um processo na recuperação de metais em lamas de uma metalização de plásticos.*

<b>Avaliação económica</b>	
<b>Custos operatórios adicionais :</b>	
Energéticos e Manutenção da tecnologia	20 000 €/ano
<b>Total</b>	<b>20 000 €/ano</b>
<b>Benefícios:</b>	
Metais recuperados	265 000 €/ano
Poupança na gestão dos resíduos (após aplicação da tecnologia)	48 000 €/ano
<b>Total</b>	<b>295 000 €/ano</b>
<b>Balanço anual (Euros)</b>	<b>255 000 €/ano</b>
<b>Investimento Tecnológico (Euros)</b>	<b>100 000 €/ano</b>
<b>Período de recuperação do investimento</b>	<b>5 meses</b>

Da análise da tabela anterior pode concluir-se que o período de recuperação do investimento é muito baixo, o que torna este projecto extremamente atractivo, quer economicamente, quer ambientalmente, pois deixa-se de produzir lamas perigosas. É evidente que as receitas das vendas e/ou reutilização dos metais é de primordial importância na viabilização económica desta projecto. Exige um estudo de mercado comercial destes metais, e da forma química em que devem ser comercializados.

Dadas as dificuldades inerentes a avaliação dos processos utilizados em tratamento de superfícies e no caso particular no tratamento das lamas, conforme se pode verificar na bibliografia, onde se verifica uma diferenciação enorme nas práticas e nas condições processuais adoptadas para se obter um mesmo produto, chama-se a atenção para o facto de que a informação aqui disponibilizada deve ser encarada apenas como indicativa e aproximada. O industrial interessado na aplicação de tecnologias de prevenção e recuperação de metais, deve sempre consultar os fornecedores deste tipo de tecnologias, para que estes o elucidem e lhe forneçam maior detalhe técnico e económico sobre elas, de modo a poder formar um juízo correcto sobre a adequação e viabilidade da sua introdução no seu processo de fabrico.

## 4 Conclusões

Com o trabalho desenvolvido nesta tese podemos tirar as seguintes conclusões:

- As lamas de uma metalização de plástico possuem um elevado potencial de recuperação de metais: 24 t/ano. O que significa 21 % das lamas secas, sendo constituídas pelos seguintes metais pesados: Crómio, Níquel, Estanho, Cobre e Paládio.
- A perspectiva financeira é muito atractiva, pois o valor intrínseco total de metais nas lamas é de cerca de 265 000 €/ano, em que o valor do crómio contribui com 50 % (i.e. aproximadamente 131 000 €/ano).
- Sendo que é necessário aprofundar o estudo das tecnologias/metodologias ideais a usar na recuperação de metais nas lamas de uma metalização foi, ainda assim, possível estabelecer uma estratégia simples de recuperação de metais através de processos de solubilização, complexação, precipitação, e oxidação-redução, onde a relação custo (investimento)/benefício é muito satisfatória.
- O período de recuperação do investimento é muito baixo (5 meses), o que torna este projecto de desejável aplicação por parte dos industriais, quer economicamente, quer ambientalmente, pois deixa-se de produzir lamas perigosas.
- É exigível que o industrial realize um estudo detalhado de mercado e da forma química em que devem ser comercializados os metais recuperados, pois as receitas das vendas e/ou reutilização desses metais é fundamental na viabilidade deste projecto.

## **5 Avaliação do trabalho realizado**

### **5.1 Objectivos Realizados**

Com este trabalho conseguiu-se mostrar o elevado valor intrínseco em metais presentes em lamas de uma ETAR de uma empresa de metalização de plásticos.

### **5.2 Outros Trabalhos Realizados**

Este trabalho foi desenvolvido em simultâneo com outro projecto, sob o tema “Tratamento diferenciado das águas residuais de uma instalação de metalização de plásticos”, que tinha como objectivo o estabelecimento de uma metodologia para recuperação de metais, bem como o estudo do teor de metais associados às águas de lavagem durante o processo e sua viabilidade económica. Este demonstra ser vantajoso recuperar os metais ao longo da linha produtiva, em vez de ser na ETAR. Exige-se ainda a realização de um estudo de mercado destes metais, e da forma química sob que devem ser comercializados.

### **5.3 Limitações e Trabalho Futuro**

Foi impossível apurar alguns custos envolvidos na aquisição dos reagentes metálicos usados no processo tratamento de superfície da empresa DOURECA, pelo que a falta desta informação inviabilizou uma análise comparativa entre os custos desses reagentes face os benefícios na recuperação de metais calculados.

Conforme já ligeiramente referido, esta tese carece de algumas limitações, em especial, aprofundar o estudo das tecnologias/metodologias ideais a usar na recuperação de metais nas lamas de uma metalização e sua respectiva eficiência e eficácia num enquadramento real de uma empresa deste tipo. Foi ainda impossível de obter em tempo útil os custos reais do investimento envolvido na implementação de tecnologias de recuperação de metais.

## **5.4 Apreciação final**

Em nosso entender o objectivo principal destes trabalho foi alcançado, ou seja, sensibilizar os industriais do sector de metalização de plásticos e afins do valor intrínseco das lamas geradas nas respectivas ETAR e sua viabilidade económica de tratamento.

Importa ainda realçar, que esta tese foi desenvolvida por um aluno trabalhador-estudante, com disponibilidade de tempo muito limitado face a exigência do trabalho envolvido, no entanto julgamos que servirá com ponto de partida para trabalhos futuros.

## Bibliografia

1. Manual do Processo Produtivo da empresa DOURECA;
2. Manual da Estação Tratamento de Águas Residuais da Empresa DOURECA;
3. DOPEE; "Environment et Electricity - Les Techniques Propes de L'industrie"; 1985;
4. "Electrodialysis technology for anodizing bath solutions"; Joint Service Pollution Prevention Opportunity Handbook; May, 1997;
5. <http://www.galvano.com>;
6. Ministério da Economia, Ministério do Ambiente; "Plano estratégico de resíduos industriais"; Lisboa; Jun. 1999;
7. Instituto Nacional Engenharia e Tecnologia Industrial, "Guia técnico sectorial dos tratamentos de superfície" , Lisboa, 2000
8. EnviroŞenŞe; "Guide to cleaner technologies organic coating replacements"; EPA, Office of Compliance Sector Notebook Project; "Profile of the fabricated metal products industry"; Set. 1995;
9. EPA; "Integrated pollution control licensing - batneec guidance note for electroplating operations"; EPA n° LC 19 (9/96); 1996);
10. "Pollution prevention in metal painting and coating operations"; April, 1998; American Society for Metals; "Metals Handbook" - 9th Edition; Vol 5 -"Surface Cleaning, Finishing and Coating"; Metals Park, Ohio; 1982;
11. Tecinvest; Estudo n° 1527, 1888; "Estudos complementares relacionados com o sistema centralizado de gestão de resíduos - actualização do quantitativo de resíduos"; 1994 e 1997.
12. Vogel Quantitative Inorganic Analysis; Revised by G. Svhla; 1996;
13. <http://www.br.srk.com/Portuguese/>
14. <http://www.recycleinme.com>

- 15.** Alvarez, E. A., Mochón, M.C., Sanchez, J.C., Rodriguez M. T., “Heavy metal extractable forms in sludge from wastewater treatment plants” Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Seville, Spain, 2002;
- 16.** Dewil, R., Baeyens, J., Neyens E. “Reducing the Heavy Metal Content of Sewage Sludge by Advanced Sludge Treatment Methods” University of Antwerp Department of Bio-engineering, Belgium, 2006;
- 17.** Neto, A. O., Bretz, J. S., Mansur, M. B., Rocha, S. D., “Alternativas para o tratamento de efluentes da indústria Galvânica”, Artigo técnico, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil Portugal, 2007.