

# GUIA TÉCNICO

SECTOR DA METALURGIA E METALOMECÂNICA

**Lisboa**  
**Novembro 2000**

**GUIA TÉCNICO SECTORIAL**

**SECTOR DA METALURGIA E METALOMECÂNICA**

*Elaborado no âmbito do*  
**PLANO NACIONAL DE PREVENÇÃO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS (PNAPRI)**

*Sob a Coordenação de*  
**José Miguel Figueiredo**  
(INETI)

*Equipa de Trabalho do Sector da Metalurgia e Metalomecânica*

**Manuel Caldeira Coelho**  
**Fátima Pedrosa**  
**Paula Oliveira**  
(INETI)

Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial – INETI

Departamento de Materiais e Tecnologias de Produção - DMTP

Estrada do Paço do Lumiar, 1649-038 Lisboa

Tel. 21 716 51 41

Fax. 21 716 65 68

Novembro de 2000

## ÍNDICE GERAL

	<b>Pág.</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>iv</b>
<b>Índice de quadros</b> .....	<b>vi</b>
<b>Agradecimentos</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Objectivos e Metodologias</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Caracterização do Sector</b> .....	<b>5</b>
3.1. Indicadores Industriais e Distribuição Geográfica .....	5
3.2. Caracterização dos Processos de Fabrico .....	12
3.2.1. Importância de fluidos de arrefecimento e de lubrificação nas operações de fabrico da Metalomecânica .....	26
3.3. Resíduos Industriais .....	28
3.3.1. Análise global do sector e da sua gestão actual .....	28
3.3.2. Classificação e quantificação dos resíduos .....	34
3.3.3. Correlação dos resíduos com as operações que os geram .....	38
<b>4. Potencial de Prevenção dentro do Sector</b> .....	<b>43</b>
4.1. Tecnologias e Medidas de Prevenção Identificadas para o Sector .....	43
4.1.1. Tecnologias e Medidas de Prevenção Aplicadas à Fundição .....	45
4.1.1.1. <i>Doseamento correcto dos aglomerantes orgânicos</i> .....	46
4.1.1.2. <i>Controlo da granulometria das areias</i> .....	46
4.1.1.3. <i>Separação magnética de partículas metálicas das areias</i> .....	47
4.1.1.4. <i>Tratamento das areias com aglomerantes</i> .....	47
4.1.1.5. <i>Utilização de moldes especiais</i> .....	48
4.1.1.6. <i>Seleção da carga do forno</i> .....	49
4.1.1.7. <i>Reaproveitamento dos gitos</i> .....	50
4.1.1.8. <i>Utilização de resíduos da fundição nas indústrias de material                 de construção</i> .....	51
4.1.2. Tecnologias e Medidas de Prevenção Aplicadas aos Processos de Maquinagem .....	51
4.1.2.1. <i>Regeneração de fluidos de corte</i> .....	51

4.1.2.2. <i>Controlo do uso de fluidos de corte nos equipamentos de maquinagem</i> .....	61
4.1.2.3. <i>Utilização de tecnologias mais avançadas nas operações de corte de chapa</i> .....	62
4.1.2.4. <i>Limpeza de superfícies com dióxido de carbono sólido</i> .....	64
5. <b>Análise da Viabilidade Técnica, Económica e dos Benefícios Ambientais</b> .....	66
5.1. Estado Actual da Implementação das Tecnologias e Medidas de Prevenção no País .....	66
5.2. <b>Tecnologias e Medidas de Potencial Aplicação: Descrição Técnica e Análise da Viabilidade</b> .....	68
5.2.1. Recuperação de areias de fundição por via térmica .....	69
5.2.2. Utilização de novos moldes na fundição injectada .....	73
5.2.3. Tecnologias de recuperação e regeneração de emulsões de corte .....	76
5.2.3.1. <i>Decantação com dispositivo de coalescência</i> .....	77
5.2.3.2. <i>Centrifugação e hidrociclonação de emulsões</i> .....	82
5.2.3.3. <i>Ultrafiltração de emulsões</i> .....	86
5.2.4. Evaporação por vácuo de óleos semi-sintéticos .....	91
5.2.5. Tecnologias avançadas de maquinagem de chapa .....	94
<b>Bibliografia</b> .....	<b>100</b>
<b>Sites da Internet Relacionados com o Sector da Metalurgia e Metalomecânica</b> .....	<b>102</b>
<b>Lista Geral de Entidades, Instituições e Associações Nacionais e Sectoriais</b> .....	<b>103</b>
<b>Nota sobre Legislação</b> .....	<b>104</b>

**INDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> - Distribuição percentual das empresas por subsector.....	6
<b>Figura 2</b> - Distribuição percentual dos trabalhadores por subsector.....	6
<b>Figura 3</b> - Distribuição percentual das empresas por região.....	7
<b>Figura 4</b> - Distribuição percentual dos trabalhadores por região.....	7
<b>Figura 5</b> - Distribuição geográfica das empresas por subsector.....	8
<b>Figura 6</b> - Distribuição geográfica dos trabalhadores por subsector.....	8
<b>Figura 7</b> - Distribuição percentual das empresas por escalão de pessoal ao serviço...	9
<b>Figura 8</b> - Distribuição percentual dos trabalhadores por escalão de pessoal ao serviço.....	9
<b>Figura 9</b> - Distribuição percentual das empresas por escalão de pessoal ao serviço para os vários subsectores.....	10
<b>Figura 10</b> - Distribuição percentual dos trabalhadores por escalão de pessoal ao serviço para os vários subsectores.....	10
<b>Figura 11</b> - Distribuição percentual do volume de negócios por subsector em 1997.	11
<b>Figura 12</b> - Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo da Fundição por moldação em areia.....	16
<b>Figura 13</b> - Diagrama de caracterização das entradas e saídas dos processos de Fundição em coquilha e por injeção.....	17
<b>Figura 14</b> - Diagrama de caracterização das entradas e saídas dos processos de Corte.....	18
<b>Figura 15</b> - Diagrama de caracterização das entradas e saídas dos processos de dobragem, calandragem, enrolamento, quinagem e estiragem.....	19
<b>Figura 16</b> - Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo de Extrusão com anodização.....	20
<b>Figura 17</b> - Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo de Forjagem.....	20
<b>Figura 18</b> - Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo de Laminagem.....	21
<b>Figura 19</b> - Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo de Trefilagem.....	22
<b>Figura 20</b> - Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo de Electroerosão.....	22

<b>Figura 21</b> - Diagrama de caracterização das entradas e saídas dos processo de Fresagem, Furação e Torneamento.....	23
<b>Figura 22</b> - Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo de Rectificação.....	24
<b>Figura 23</b> - Diagrama de caracterização das entradas e saídas dos diferentes processos de Soldadura.....	26
<b>Figura 24</b> - Análise do Investimento na recuperação de areias de fundição em leito fluidizado.....	72
<b>Figura 25</b> - Análise do Investimento na utilização de novos moldes em fundição injectada.....	76
<b>Figura 26</b> - Processo de Decantação para recuperação de emulsões. <u>Base</u> : 1 m <sup>3</sup> de emulsão.....	79
<b>Figura 27</b> - Evolução do período de recuperação do investimento na decantação em função do volume de emulsão a tratar para as várias opções de caudais de emulsão tratada.....	81
<b>Figura 28</b> - Processo de Centrifugação para recuperação de emulsões. <u>Base</u> : 1 m <sup>3</sup> de emulsão tratada.....	83
<b>Figura 29</b> - Evolução do período de recuperação do investimento na centrifugação em função do volume de emulsão para vários caudais de emulsão tratada.....	86
<b>Figura 30</b> - Processo de Ultrafiltração para recuperação de emulsões. <u>Base</u> : 1 m <sup>3</sup> de emulsão.....	88
<b>Figura 31</b> - Evolução do período de recuperação do investimento na tecnologia da ultrafiltração em função do volume de emulsão para vários caudais de permeado.....	90
<b>Figura 32</b> - Processo de Evaporação em vácuo, para recuperação de água de misturas de óleos semi-sintéticos. <u>Base</u> : 1 m <sup>3</sup> de mistura de óleos semi-sintéticos tratada.....	92
<b>Figura 33</b> - Comparação dos períodos de recuperação do investimento para diversas tecnologias de corte de chapa.....	98

**ÍNDICE DE TABELAS:**

<b>Quadro 1</b> - Volume de negócios por trabalhador dos vários subsectores.....	11
<b>Quadro 2</b> - Distribuição por CAE das várias actividades produtivas inseridas no sector da Metalurgia e Metalomecânica.....	12
<b>Quadro 3</b> - Especificação da amostra de empresas do sector, usada na extrapolação dos quantitativos de resíduos gerados.....	30
<b>Quadro 4</b> - Estimativa de produção anual (1998) de resíduos por grandes grupos.....	31
<b>Quadro 5</b> - Distribuição percentual dos resíduos característicos dos processos de fundição de peças ferrosas e não ferrosas por subsector.....	33
<b>Quadro 6</b> - Distribuição percentual dos resíduos característicos dos processos de corte e maquinagem, por subsector.....	33
<b>Quadro 7</b> - Quantificação dos resíduos gerados anualmente por subsector (1998).....	35
<b>Quadro 8</b> - Classificação e Quantificação dos resíduos e sua correlação com as operações que os geram (1998).....	39
<b>Quadro 9</b> - Tecnologias e medidas de prevenção identificadas para o sector da Metalurgia e Metalomecânica.....	44
<b>Quadro 10</b> - Comparação das características técnicas associadas às tecnologias de tratamento de emulsões.....	59
<b>Quadro 11</b> - Comparação das características técnico-económicas associadas às tecnologias de corte de chapa.....	64
<b>Quadro 12</b> - Identificação das características de algumas tecnologias e medidas de prevenção da poluição para o sector no País respectivos constrangimentos para a sua implementação.....	66
<b>Quadro 13</b> - Avaliação económica comparativa entre o processo convencional e o processo de recuperação de areia por via térmica. Base: 2 350t/ano.....	71
<b>Quadro 14</b> - Avaliação económica comparativa para o processo, considerando várias capacidades de produção.....	72
<b>Quadro 15</b> – Comparação do consumo de metal para produzir 1 t de peças no processo convencional e utilizando os novos moldes.....	74
<b>Quadro 16</b> – Avaliação económica comparativa entre o processo convencional e o processo de fundição com novos moldes. <u>Base</u> : 50 t/ano de peças produzidas.....	75

<b>Quadro 17</b> - Avaliação económica comparativa entre o processo convencional e o processo de fundição com novos moldes, para várias capacidades de produção.....	75
<b>Quadro 18</b> - Comparação dos consumos entre o processo convencional e o processo que incorpora a aplicação da decantação à regeneração das emulsões.....	79
<b>Quadro 19</b> - Avaliação económica comparativa entre o processo convencional e o processo com aplicação da decantação. <u>Base</u> : 5 m <sup>3</sup> de emulsão, com um caudal de 150l/h.....	80
<b>Quadro 20</b> - Avaliação económica comparativa entre o processo convencional e o processo com implementação da decantação para várias quantidades de emulsão e para vários caudais.....	81
<b>Quadro 21</b> - Comparação dos consumos entre o processo convencional e o processo que incorpora a aplicação da centrifugação à regeneração das emulsões degradadas.....	83
<b>Quadro 22</b> - Avaliação económica comparativa entre o processo convencional, e os processos que incorporam uma centrífuga. <u>Base</u> : 5 m <sup>3</sup> de emulsão e caudal de emulsão tratada de 250l/h.....	84
<b>Quadro 23</b> - Avaliação económica comparativa entre o processo convencional, sem aplicação da tecnologia e com implementação da centrifugação para várias quantidades e para vários caudais de emulsão tratada.....	85
<b>Quadro 24</b> - Comparação entre o processo convencional e o processo com a aplicação da ultrafiltração às regeneração das emulsões. Base: 1m <sup>3</sup> ; substituição da emulsão 3 vezes/ano na situação convencional; tratamento por ultrafiltração 3 vezes/ano.....	88
<b>Quadro 25</b> - Avaliação económica comparativa entre a situação convencional (sem regeneração da emulsão) e a situação resultante da implementação da ultrafiltração. <u>Base</u> : 5 m <sup>3</sup> de emulsão, caudal de permeado 50l/h.....	89
<b>Quadro 26</b> Avaliação económica comparativa entre o processo convencional, sem aplicação da tecnologia e com implementação da ultrafiltração para várias quantidades de emulsão e vários caudais de permeado.....	90

<b>Quadro 27</b> - Comparação entre os consumos anuais do processo convencional e do processo resultante da aplicação da evaporação em vácuo aos resíduos de maquinagem.....	92
<b>Quadro 28</b> - Avaliação económica comparativa entre o processo convencional, sem aplicação da tecnologia e com implementação do evaporador. <u>Base:</u> 10 m <sup>3</sup> de óleos semi-sintéticos substituídos ou tratado 2 vezes ao ano.....	93
<b>Quadro 29</b> – Avaliação económica comparativa entre o processo convencional e o processo de evaporação por vácuo, para várias quantidades de óleo (mudados 2 vezes ao ano).....	94
<b>Quadro 30</b> - Comparação das características técnicas das diferentes tecnologias de corte de chapa e percentagens de redução de resíduo conseguido com cada uma delas, relativamente ao processo convencional. Base: 1 t de peças.....	95
<b>Quadro 31</b> - Comparação dos custos inerentes ao processo convencional e aos processos de corte avançados, referentes a 291 t de peças produzidas. Base 291 t de peças aproveitáveis.....	97
<b>Quadro 32</b> - Comparação dos dados económicos, das diferentes tecnologias avançadas de corte de chapa.....	98

## **AGRADECIMENTOS**

Agradece-se a todas as pessoas e instituições que de alguma forma prestaram a sua colaboração para a elaboração deste Guia Técnico. Particularmente, agradece-se às associações do sector – ANEMM (Associação Nacional das Empresas Metalúrgicas e Metalomecânicas) e AIMMAP (Associação dos Industriais Metalúrgicos, Metalomecânicos e Afins de Portugal), pela ajuda prestada no envio dos questionários e pelas sugestões de empresas a visitar.

Agradece-se ainda a todas as empresas que nos proporcionaram uma visita às suas instalações pela disponibilidade, pelo atendimento e pelos dados fornecidos.

Finalmente, agradece-se às empresas fornecedoras de equipamento e produtos químicos pelos dados e esclarecimentos fornecidos sobre as tecnologias por eles comercializadas.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem sido crescente a preocupação da opinião pública e das empresas face aos problemas de natureza ambiental. A aproximação à sustentabilidade do desenvolvimento económico só se consegue otimizando a utilização dos recursos, sejam energéticos ou materiais.

As empresas podem realizar benefícios de várias ordens, resultantes não só da diminuição do consumo de matérias primas, energia, água, mas também da redução de custos relacionados com o controlo da poluição gerada e, com a deposição ou transporte dos resíduos produzidos. Eliminando ou reduzindo a quantidade de resíduos gerados além destes benefícios, as acções de carácter preventivo relativamente à poluição, dão às empresas uma melhor imagem pública, que se pode traduzir igualmente numa vantagem competitiva.

A Prevenção da Poluição implica, nomeadamente, a utilização criteriosa das matérias primas, a eficiente utilização energética e a reutilização, sempre que tecnicamente possível dos fluxos gerados durante o processo, em alternativa ao seu tratamento final. O Guia Técnico pretende, no essencial, ser uma ferramenta à disposição das empresas para que estas possam ponderar opções técnicas enquadradas na perspectiva da prevenção. Destas opções, são de esperar benefícios de ordem económica e ambiental.

As empresas devem pôr de lado a convicção de que a resolução dos problemas ambientais corresponde obrigatoriamente a custos adicionais sem contrapartidas compensadoras. Na realidade, existem à disposição tecnologias que, ao serem aplicadas a determinadas operações durante o processo de fabrico, resultam na redução de emissões poluentes através da redução da sua perigosidade e/ou do seu quantitativo, como resultado natural do aproveitamento mais eficiente dos fluxos do processo.

A decisão de implementar as medidas e/ou tecnologias de prevenção tem de partir obviamente dos industriais do sector. No entanto, a intervenção e o incentivo da Administração Pública pode ser fundamental para dinamizar estas tomadas de decisão, através de acções de esclarecimento e sensibilização, de transferência de tecnologia e de apoio financeiro às empresas, que na sua estratégia, pretendam incorporar soluções de produção ecoeficiente. Estas acções são de particular importância para as pequenas e médias empresas que constituem a grande maioria do tecido produtivo.

Através desta filosofia empresarial, as empresas privilegiam os factores de competitividade e assumem-se como agentes activos na protecção do ambiente. Na perspectiva da Prevenção da Poluição não há nenhuma contradição entre as questões económicas e as ambientais. Ambas contribuem em uníssono para a modernização e a qualidade.

## 2. OBJECTIVOS E METODOLOGIAS

O Guia Técnico Sectorial elaborado para o Sector da Metalurgia e Metalomecânica encontra-se inserido no Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais (PNAPRI) e tem os seguintes objectivos:

- Caracterizar a actividade industrial do sector a nível nacional, por subsector ou grupo de actividade industrial, tendo em conta os mercados, os processos produtivos e as tecnologias usadas, assim como o seu impacto ambiental;
- Apresentar uma estimativa credível das quantidades de resíduos geradas a nível nacional, partindo do conhecimento da quantidade e perigosidade dos resíduos produzidos por algumas empresas, extrapolando os valores obtidos para o total do sector;
- Consciencializar os industriais para as questões da Prevenção da Poluição e implementação de tecnologias mais limpas, como forma de as empresas obterem vantagens competitivas em mercados de exigência crescente;
- Apresentar as vantagens de natureza técnica, ambiental e/ou económica que advêm da aplicação das tecnologias ou das medidas de prevenção;
- Construir uma ferramenta de fácil consulta que contenha as medidas e tecnologias de prevenção aplicáveis, por operação, tendo sempre em conta os resíduos que previnem.

Pretendeu-se elaborar um documento de fácil consulta por parte dos industriais, que resumisse no essencial as melhores práticas, medidas e tecnologias, tendo em conta os aspectos técnicos e de natureza ambiental. A execução deste Guia envolveu um vasto trabalho de recolha e tratamento de informação diversa, proveniente de várias fontes, destacando-se algumas das empresas do sector contactadas para o efeito, as Associações Industriais e a Administração Pública. Foram igualmente efectuadas pesquisas bibliográficas em bases de dados nacionais e internacionais.

É importante referir que relativamente às emissões de poluentes para o ambiente, foram considerados como objecto das acções aqui propostas, não só os resíduos sólidos, líquidos e ou

semi-sólidos gerados na actividade industrial, mas também as águas residuais. Efectivamente, estando este Guia inserido no Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais, poder-se-ia admitir que as águas de processo não fossem aqui incluídas. Esta não foi, no entanto, a interpretação assumida, porque o tratamento em ETAR das águas residuais com carga poluente acaba por gerar lamas, que são efectivamente resíduos classificáveis segundo o Catálogo Europeu de Resíduos (CER). Assim sendo, as tecnologias de prevenção aplicadas à redução da carga poluente e à quantidade de águas residuais acabam por ter implicação na quantidade e/ou na perigosidade dos resíduos gerados. As questões relativas às emissões gasosas ultrapassam efectivamente o âmbito deste Guia.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DO SECTOR

#### 3.1 Indicadores Industriais e Distribuição Geográfica

O Sector da Metalurgia e Metalomecânica apresenta uma grande diversidade de produtos, sendo dividido consoante a actividade principal das várias empresas, nos seguintes subsectores:

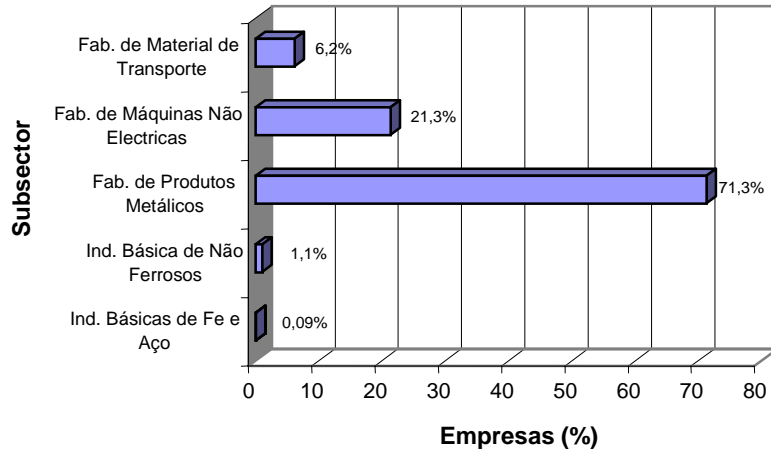
- Industrias Básicas de Ferro e Aço, com as classificações CAE 27510 e CAE 27520
- Industriais Básicas de Metais Não Ferrosos, com a classificação CAE 27540
- Fabricação de Produtos Metálicos, inserido na classificação CAE 28
- Fabricação de Máquinas Não Eléctricas, inserido na classificação CAE 29
- Fabricação de Material de Transporte, inserido na classificação CAE 34 e CAE 35

Segundo dados do INE referentes a 1997, este sector é constituído por 18 891 empresas que empregam 173 503 trabalhadores. Por outro lado, o Ministério do Trabalho e da Solidariedade (MTS), refere para o mesmo ano, a existência de 7 915 empresas e de 135 732 trabalhadores. As Associações do sector, quando consultadas sobre estas discrepâncias, consideraram os valores apresentados pelo INE fora da realidade nacional, visto poderem incluir muitas empresas que, embora legalmente constituídas, não têm existência física no tecido produtivo. Deste modo, optou-se pelos dados de base do Ministério do Trabalho e da Solidariedade os quais, face às opiniões recolhidas, estarão mais próximos da realidade.

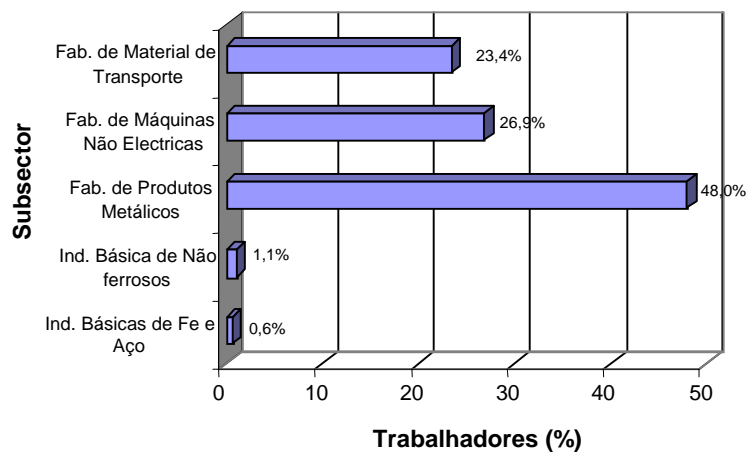
Como se ilustra na Figura 1, o subsector da Fabricação de Produtos Metálicos é largamente maioritário em número de empresas (71,3%), seguido dos subsectores da Fabricação de Máquinas Não Eléctricas (21,3%) e da Fabricação de Material de Transporte (6,2%). Com menor expressão em termos de número de empresas, surgem finalmente, os subsectores das Industrias Básicas de Metais Não Ferrosos (1,1%) e das Industrias Básicas de Ferro e Aço (0,09%).

Relativamente ao número de trabalhadores do sector verifica-se, de igual modo, que é o subsector da Fabricação de Produtos Metálicos que emprega maior número de trabalhadores, cerca de 48,0% do total, seguido do subsector da Fabricação de Máquinas Não Eléctricas com 26,9% e do subsector da Fabricação de Material de Transporte (23,4%). Tal como se pode verificar na Figura 2, as diferenças percentuais entre os vários subsectores, em termos de número de trabalhadores, não são tão acentuadas como no caso do número de empresas. De facto, apesar

de existirem muitas empresas que se dedicam à fabricação de produtos metálicos, estas são em grande parte, de pequena dimensão (75,3%), de carácter familiar e empregando em média até 10 trabalhadores.



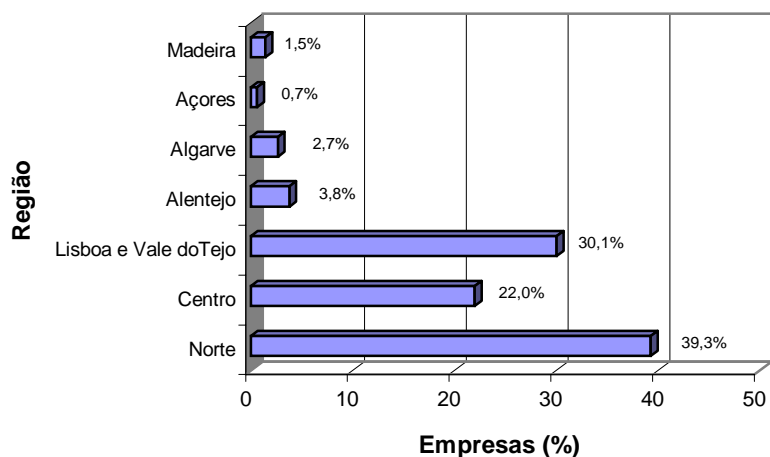
**Figura 1** – Distribuição percentual das empresas por subsector



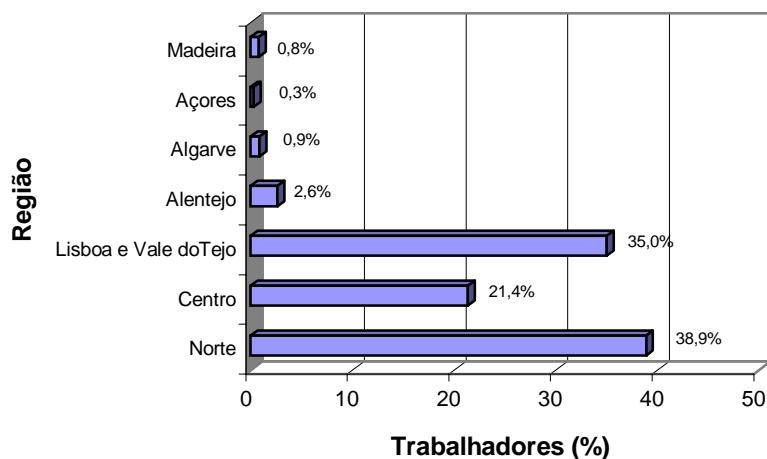
**Figura 2** – Distribuição percentual dos trabalhadores por subsector

No que respeita à distribuição geográfica das empresas, a grande maioria situa-se nas regiões Norte (39,3%) e de Lisboa e Vale do Tejo (30,1%). Como se pode verificar na Figura 3, a percentagem das empresas localizadas nas regiões do Alentejo, Algarve e nas Regiões Autónomas não é muito significativa.

Na Figura 4 apresenta-se a distribuição percentual de trabalhadores por região, podendo verificar-se que esta segue, no essencial, a distribuição percentual das empresas para as mesmas regiões.



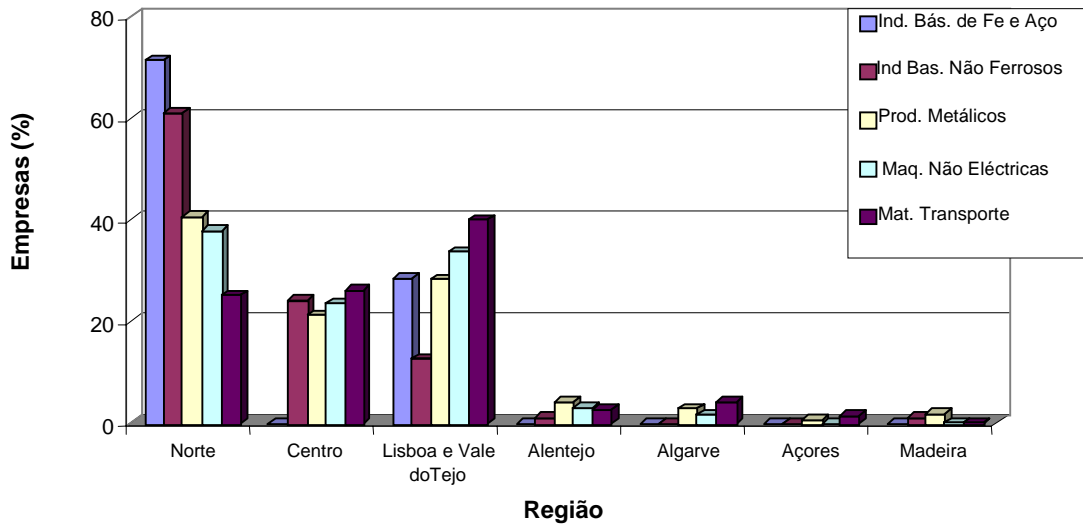
**Figura 3** – Distribuição percentual das empresas por região



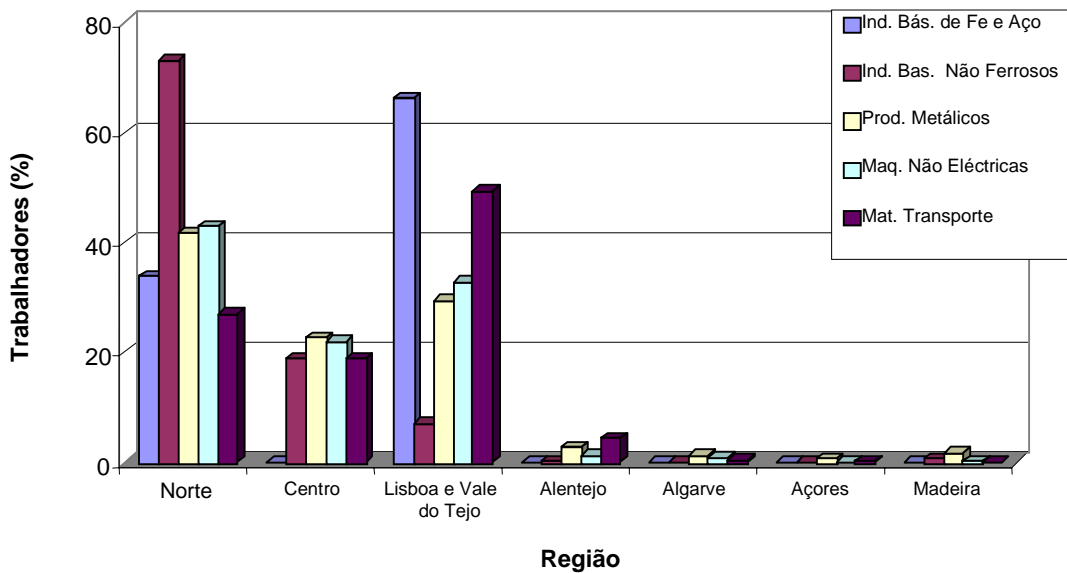
**Figura 4** – Distribuição percentual dos trabalhadores por região

Os subsectores das Industrias Básicas de Ferro e Aço, e de Metais Não Ferrosos situam-se predominantemente no Norte do País. A Fabricação de Máquinas Não Eléctricas está mais implantada em Lisboa e Vale do Tejo.

É de salientar o facto de que, apesar de a maioria das empresas da Indústria do Ferro e Aço se situarem predominantemente na região Norte (Figura 5), sucede o inverso com a distribuição regional do número de trabalhadores (Figura 6). Isto reflecte o facto de as empresas deste subsector sediadas na região de Lisboa e Vale do Tejo, serem, em média, de muito maior dimensão do que as da região Norte.



**Figura 5** – Distribuição geográfica das empresas por subsector

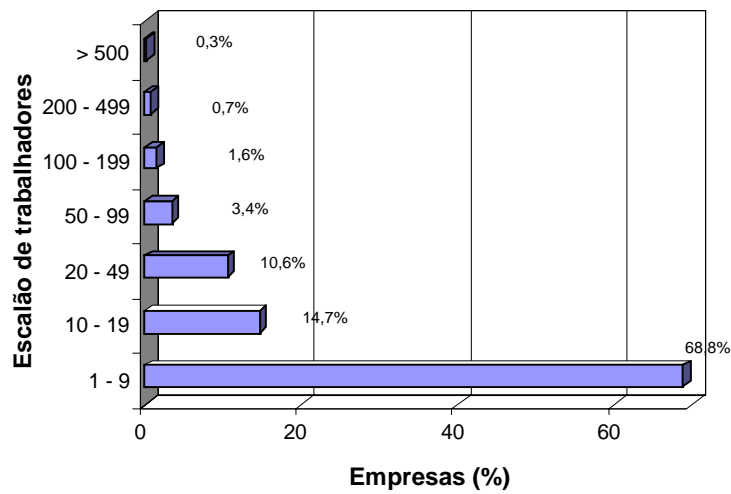


**Figura 6** – Distribuição geográfica dos trabalhadores por subsector

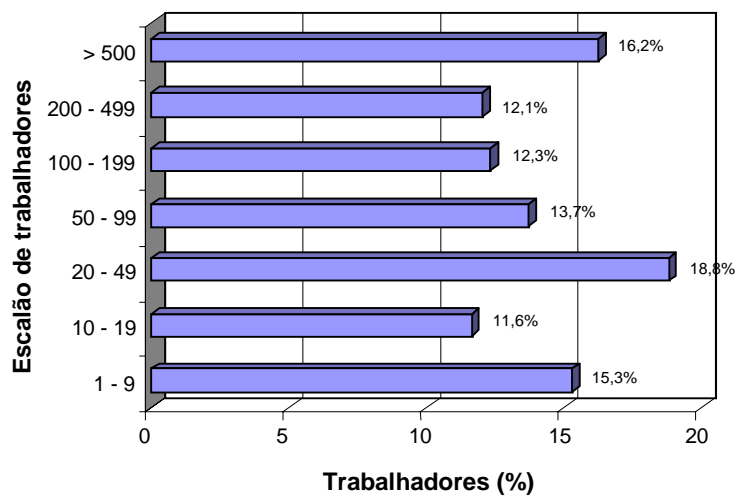
De um modo geral, o sector da Metalurgia e Metalomecânica é constituído predominantemente por empresas de pequena dimensão, uma vez que 68,7% das empresas do sector empregam menos de 10 trabalhadores e somente 1,0% possuem uma força de trabalho superior a 200 trabalhadores (Figura 7).

Após esta análise poder-se-ia supor que existia uma grande discrepância em termos da distribuição dos trabalhadores por escalão de pessoal ao serviço; no entanto, tal não corresponde à realidade, notando-se mesmo uma grande homogeneidade nessa distribuição. Para este facto, contribuem, em grande parte, as empresas dos subsectores das Industrias Básicas de Ferro e Aço

e da Fabricação de Material de Transporte, as quais, apesar de serem em pequeno número, apresentam uma dimensão considerável, como se ilustra nas Figuras 7 e 8.



**Figura 7** – Distribuição percentual das empresas por escalão de pessoal ao serviço



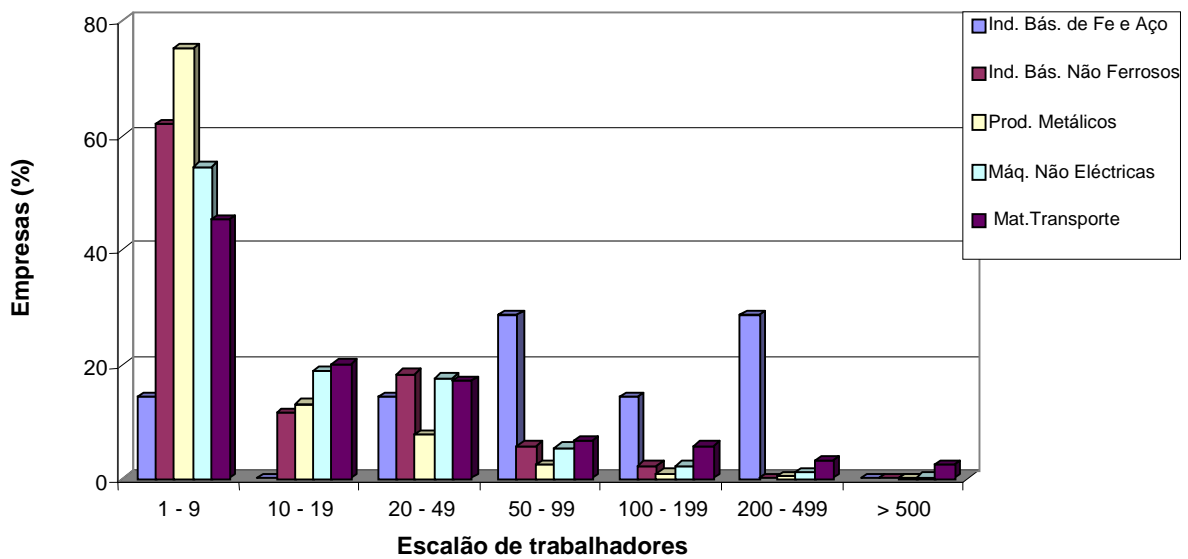
**Figura 8** – Distribuição percentual dos trabalhadores por escalão de pessoal ao serviço

A análise da Figura 9 permite concluir que o subsector da Industria Básica de Ferro e Aço é predominantemente constituído por médias empresas, com mais de 50 trabalhadores, ocupando cerca de 66,1% dos trabalhadores no escalão de pessoal ao serviço 200 a 499 (Figura 10).

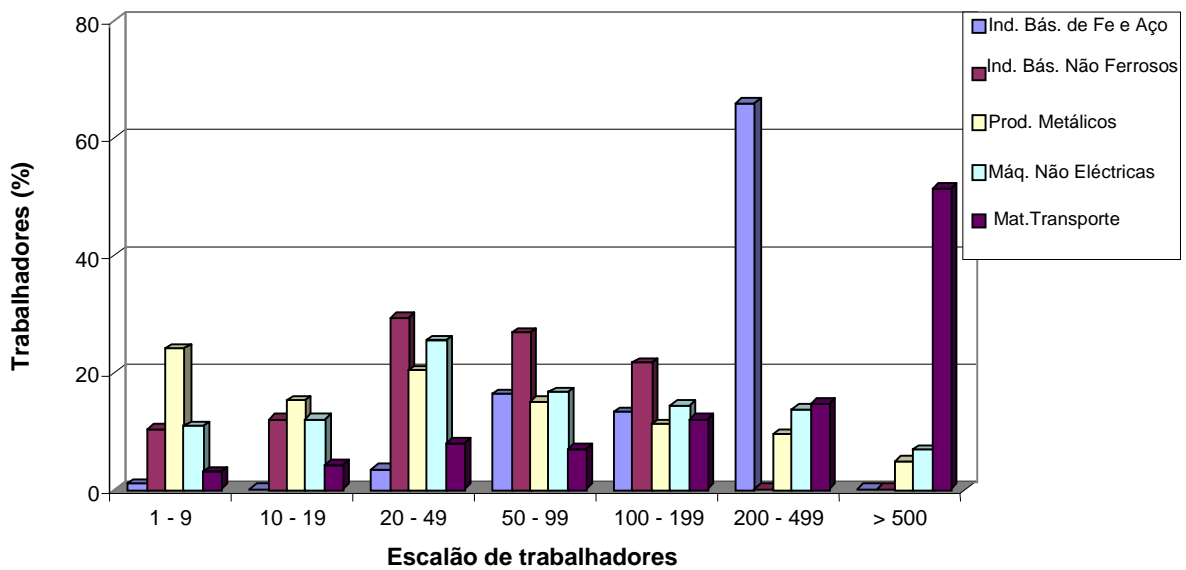
Relativamente ao subsector da Industria Básica de Metais Não Ferrosos, a maioria das empresas são de pequena dimensão (62,1% com menos de 10 trabalhadores), não existindo nenhuma com mais de 200 trabalhadores.

Das empresas de fabricação de produtos metálicos, que são na sua maioria muito pequenas, 75,3% têm menos de 10 trabalhadores, existindo somente algumas empresas com mais de 100 trabalhadores. Panorama idêntico se verifica no subsector da Fabricação de Máquinas Não Eléctricas.

No escalão com mais de 500 trabalhadores, 51,5% dos trabalhadores pertencem às empresas de Fabricação de Material de Transporte.



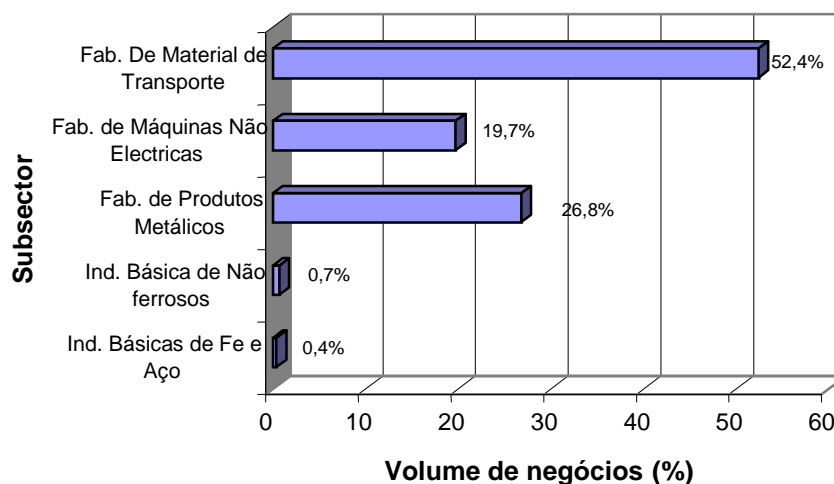
**Figura 9** – Distribuição percentual das empresas por escalaõ de pessoal ao serviço para os vários subsectores



**Figura 10** – Distribuição percentual dos trabalhadores por escalaõ de pessoal ao serviço para os vários subsectores.

No que respeita ao volume de negócios, verifica-se, por observação da Figura 11, que o subsector da Fabricação de Material de Transporte contribuiu, em 1997, com cerca de 984 milhões de contos, correspondendo a 52,4% do volume de negócios do sector. É de realçar o facto do número de empresas deste subsector não ultrapassar 6,2% do total.

O segundo maior subsector em termos de volume de negócios é o da Fabricação de Produtos Metálicos, com 502 milhões de contos.



**Figura 11** – Distribuição percentual do volume de negócios por subsector em 1997

No Quadro 1 apresenta-se o volume de negócios por trabalhador para os diferentes subsectores. Por comparação dos valores obtidos, pode deduzir-se que a actividade industrial das empresas do subsector da Fabricação de Material de Transporte incorpora mais tecnologia, visto ser aquele para o qual este indicador apresenta valores mais elevados.

O subsector da Fabricação de Produtos Metálicos é o que apresenta menor volume de negócios por trabalhador, o que indicia o baixo nível de incorporação de tecnologia nos processos de fabrico, se bem que existam outras razões possíveis para esta constatação.

**Quadro 1** – Volume de negócios por trabalhador dos vários subsectores

Subsector	Volume de negócios / trabalhador (contos)
Ind. Básica de Ferro e Aço	8 900
Ind. Básica de Não Ferrosos	9 100
Fab. de Produtos Metálicos	7 700
Fab. de Máquinas Não Eléctricas	10 100
Fab. de Material de Transporte	30 900

### 3.2 Caracterização dos Processos de Fabrico

No Quadro 2 identificam-se para cada um dos 5 subsectores referenciados, os vários tipos de actividades produtivas de acordo com a Classificação das Actividades Económicas (CAE) respectiva.

**Quadro 2** - Distribuição por CAE das várias actividades produtivas inseridas no sector da Metalurgia e Metalomecânica

Industrias Básicas do Ferro e do Aço:	CAE*
Fundição de ferro	27510
Fundição de aços vazados	27520
Industrias Básicas de Metais Não Ferrosos:	
Fundição de alumínio	27540
Fundição de bronze	27540
Fundição de cobre	27540
Fabricação de Produtos Metálicos:	
Fabricação de elementos de construção em metal	281
Fabricação de reservatórios, recipientes, caldeiras e radiadores metálicos para aquecimento central	282
Fabricação de geradores de vapor (excepto caldeiras para aquecimento central)	283
Fabricação de produtos forjados, estampados e laminados	284
Actividades de mecânica em geral	285
Fabricação de cutelaria, ferramentas e ferragens	286
Fabricação de outros produtos metálicos	287
Fabricação de Máquinas Não Eléctricas:	
Fabricação de máquinas e equipamento para a produção e utilização de energia mecânica, excepto motores de automóveis e motociclos	291
Fabricação de máquinas de uso geral	292
Fabricação de máquinas e de tractores, para a agricultura, pecuária e silvicultura	293
Fabricação de máquinas ferramentas	294
Fabricação de outras máquinas e equipamento para uso específico, incluindo Moldes metálicos e respectivos acessórios	295
Fabricação de armas e munições	296
Fabricação de aparelhos domésticos não eléctricos	297
Fabricação de Material de Transporte:	
Fabricação de veículos automóveis	341
Fabricação de carroçarias, reboques e semi-reboques	342
Fabricação de componentes e acessórios para veículos automóveis e seus motores	343
Fabricação e reparação de material circulante para caminhos de ferro	352
Fabricação de motociclos e bicicletas	354
Fabricação de outro material de transporte não eléctrico	345

\*Os CAE(s) com 3 dígitos englobam várias actividades com CAE(s) de 5 dígitos.

Nos subsectores das Indústrias Básicas, os processos de fabrico baseiam-se, no caso dos metais não ferrosos, na fundição injectada, em coquilha e na moldação em areia, enquanto que, para os metais ferrosos, utiliza-se exclusivamente a moldação em areia. Além destas operações, as empresas de fundição podem efectuar outras operações do âmbito da metalomecânica consoante o tipo de produto que comercializam.

Nos restantes subsectores, os processos de fabrico podem divergir significativamente, dependendo do tipo de produtos fabricados.

As operações de fabrico nos restantes subsectores da Metalomecânica podem ser divididas em corte, maquinagem com e sem arranque de apara, soldadura, preparação e tratamento de superfícies, de acordo com a classificação que esquematicamente se apresenta em seguida.

<b>Corte</b>	Corte mecânico	Com disco de serra
	Corte de chapa	Com guilhotina Oxicorte Por plasma Com jacto de água com abrasivo Por laser
<b>Maquinagem</b>	Sem arranque de apara	Dobragem Cunhagem Enrolamento Estampagem Estiragem Extrusão Forjagem Laminagem Prensagem Quinagem Terfilhagem Calandragem
	Com arranque de apara	Electroerosão Frezagem Furação Rectificação Torneamento

<b>Soldadura</b>	Com eléctrodo revestido Oxiacetilénica Por pontos TIG MIG-MAG Por brazagem Por plasma Por laser
<b>Preparação de superfície</b>	Mecânica (Granalhagem, Lixagem, Polimento) Desengorduramento Protecções temporárias
<b>Tratamentos de Superfície</b>	Térmoquímicos ( Cementação, Nitruração, Carburação, Carbonitruração, etc) Químicos (Niquelagem, Cobragem, Platinagem, Douragem, Prateagem) Electrolíticos (Esmaltagem, Cromagem, Niquelagem, Zincagem, Cadmiagem, Estanhagem, Latonagem, etc) Por imersão (Galvanização, Estanhagem) Por projecção de material no estado sólido (Metalização, Esmaltagem, Pintura electrostática a pó)

É de salientar que os processo referidos na preparação e nos tratamentos de superfície (e mais alguns não mencionados) vão ser tratados e desenvolvidos no Guia Técnico dedicado aos **Tratamentos de Superfície**.

- **Fundição**

A fabricação de uma peça pelo processo de fundição consiste essencialmente no enchimento de um molde com metal fundido, à qual se segue a solidificação e a extracção da peça do molde.

O arrefecimento da peça (após ser retirada do molde) pode ser feito tanto ao ar como em banho de óleo e os gitos (metal que solidifica nos canais de alimentação e no canal que permite a saída do ar) são separados da peça por corte. Frequentemente, os canais são desenhados de forma a que a separação se possa fazer através de uma pancada.

Posteriormente, a peça é submetida às diferentes operações de limpeza e de maquinagem e/ou acabamento consoante a finalidade.

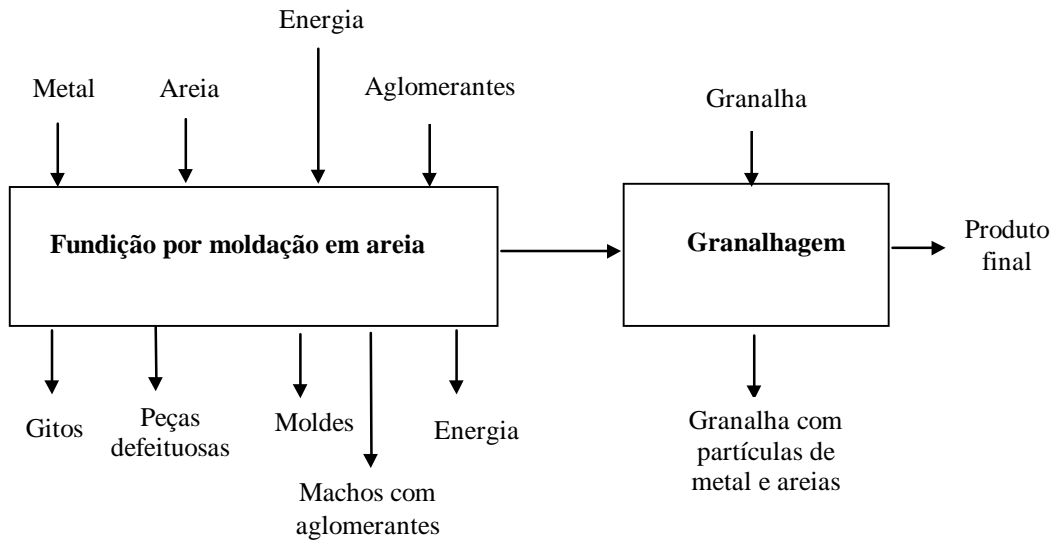
Os processos de fundição mais comuns são: fundição em areia, fundição em coquilha e fundição injectada. A fundição com moldação em areia é usada fundamentalmente para a produção de peças ferrosas, sendo no entanto, também utilizada para a fabricação de metais não ferrosos. Tanto a fundição em coquilha como a fundição injectada são usadas exclusivamente na fabricação de peças não ferrosas, visto os moldes serem feitos em aço.

### **- Fundição com Moldação em Areia**

O processo de fundição com moldes de areia inclui antes de mais, a preparação da areia do molde e a preparação do modelo, o qual pode ser fabricado em madeira, plástico ou metal, dependendo da dimensão da série de peças a produzir. As areias de fundição são materiais constituídos essencialmente por grãos de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e por argila ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), que aglomera as partículas e confere plasticidade à areia para fabrico do molde. A permeabilidade do molde é assegurada pela estrutura granular da areia utilizada no seu fabrico.

Para fabricar o molde de areia, coloca-se o modelo dentro de uma caixa de fundição (em metal ou madeira), o qual é envolvido com areia que enche por completo a caixa. Pressiona-se a areia por forma a obter uma estrutura compacta e retira-se então o modelo. Uma vez que o molde apenas reproduz a forma exterior da peça, as suas cavidades interiores são formadas a partir de um macho que é introduzido no interior do molde, sendo este feito de areia com aglomerantes orgânicos que lhe conferem uma maior rigidez. A caixa é fechada e o metal é então vazado verticalmente. Quando o metal solidifica a caixa é aberta e a peça é retirada, sendo o gito cortado e a areia aderente separada mecanicamente por granalhagem. Posteriormente, se necessário, efectua-se a rebarbagem da peça.

Na Figura 12 apresentam-se de forma esquemática os fluxos de entrada e de saída de materiais e energia no processo de fundição por moldação em areia. As saídas não incorporadas no produto representam desperdícios do processo.



**Figura 12** – Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo da Fundição por moldação em areia

### - Fundição em Coquilha

A fundição em moldes metálicos por gravidade denomina-se fundição em coquilha.

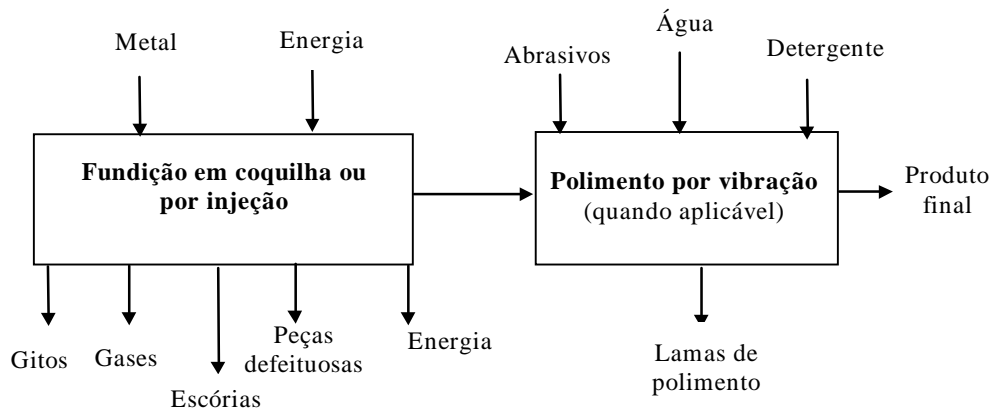
O enchimento correcto do molde exige que este seja pré-aquecido e protegido no interior, em geral com uma película isolante, por forma a evitar que a rápida perda de calor através das paredes do molde produza um arrefecimento prematuro, impedindo o total enchimento do mesmo.

A fundição em coquilha é composta por um molde e um macho que fecham um sobre o outro, sendo o metal fundido vazado por acção da gravidade. Quando o metal solidifica, o conjunto é aberto e a peça retirada, sendo-lhe cortados os gitos.

### - Fundição por Injecção

Na fundição por injecção, o metal fundido é injectado directamente no molde “revestido” interiormente com uma solução desmoldante, por forma a reduzir a aderência da peça às paredes do molde. O metal é introduzido no molde sob pressão através de canais de alimentação, por acção de um pistão. Após o arrefecimento, o molde é aberto, retira-se a peça, sendo-lhe cortados os gitos.

Na Figura 13 está representado o diagrama de caracterização do processo de fundição em coquilha e por injeção em termos de matérias primas e resíduos gerados. O polimento por vibração pode ser ou não aplicável.



**Figura 13** – Diagrama de caracterização das entradas e saídas dos processos de Fundição em coquilha e por injeção

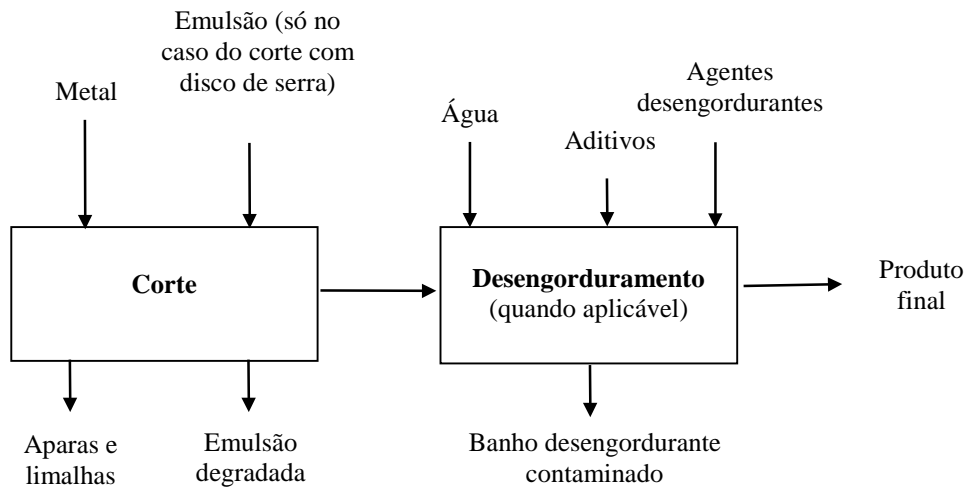
- **Corte**

Existem dois grandes grupos de tipos de corte:

- **Corte de perfis** - Pode ser executado para acerto de comprimentos com disco de serra ou com guilhotina, não necessitando, neste último caso, de fluido de corte.

- **Corte de chapa** - Quando o contorno é recto e a forma convexa, o corte de chapa pode também ser feito com guilhotina. Com contornos mais complicados, requer-se outro tipo de tecnologias como o oxicorte, corte por plasma, por laser e por jacto de água com abrasivo. Todas estas tecnologias podem envolver a utilização de comando numérico, o que permite otimizar a utilização da chapa e eliminar os erros de traçagem.

Por serem muito semelhantes, os respectivos diagramas são representados na Figura 14.



**Figura 14** - Diagrama de caracterização das entradas e saídas dos processos de Corte

- **Cunhagem**

Processo que consiste em cortar a matéria prima por acção de um cunho cortante de geometria definida, que por acção mecânica externa é projectado com força sobre a superfície a cortar.

- **Estampagem**

Processo em que a chapa é deformada plasticamente por prensagem utilizando ferramentas com a geometria adequada ao fim. Esta operação pode ser realizada tanto a frio como a quente, dependendo do tipo de material e do grau de deformação pretendido.

O diagrama de blocos destas operações é semelhante ao anterior, não sendo por isso representado isoladamente. Em alguns casos, a chapa é engordurada previamente.

- **Dobragem**

Este processo permite, por aplicação de uma força exterior, dobrar perfis e chapas de metal, obtendo-se a peça com a curvatura desejada.

- **Calandragem**

A calandragem é utilizada para dobrar chapa, sendo esta obrigada a passar pelo meio de uma série de cilindros, adquirindo progressivamente a curvatura desejada até ao caso extremo de formar um cilindro.

- **Enrolamento**

É um processo em que tubos são obrigados a passar pelo meio de uma série de cilindros que ficam enrolados sobre si, podendo formar uma espiral ou apenas um troço desta.

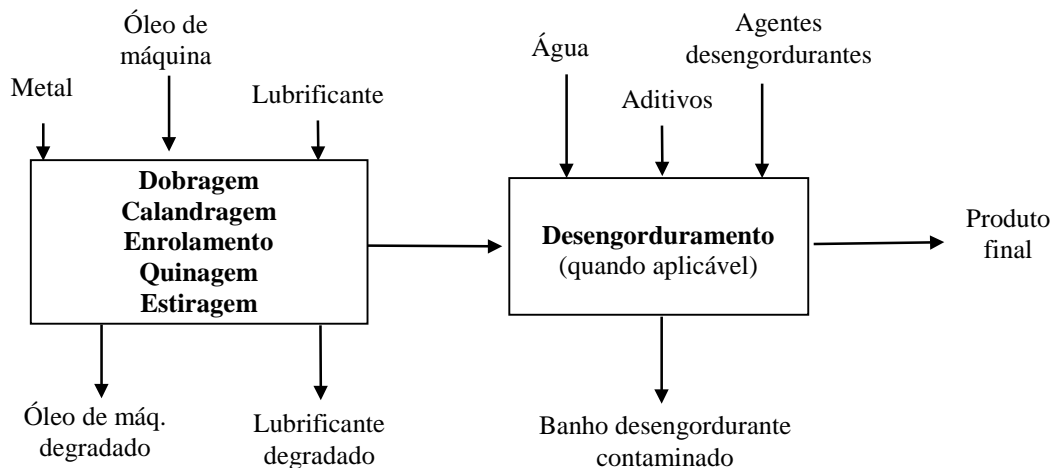
- **Quinagem**

A quinagem é um processo que permite formar quinas vivas ou dobrar uma peça de modo a que esta fique com um raio de curvatura muito pequeno. É sobretudo usada em chapa.

- **Estiragem**

Neste processo a peça é sujeita a uma força de tracção com o objectivo de lhe provocar uma deformação permanente.

Os processos acima descritos têm uma sequência de operações muito semelhante, pelo que são apresentados esquematicamente através do mesmo diagrama de blocos na Figura 15.



**Figura 15** - Diagrama de caracterização das entradas e saídas dos processos de dobragem, calandragem, enrolamento, quinagem e estiragem

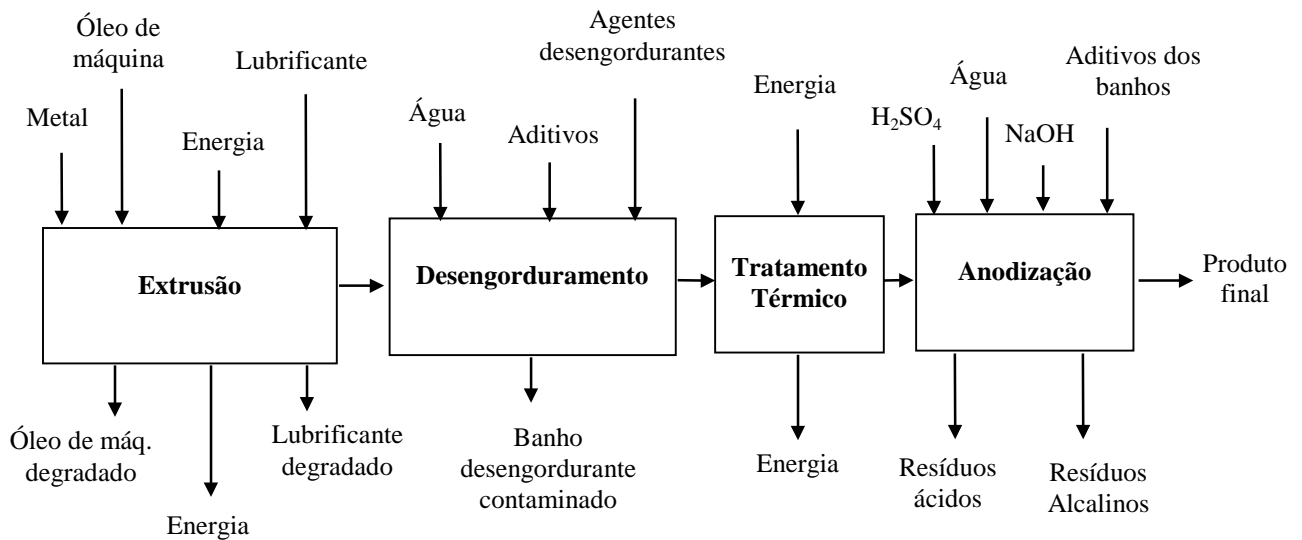
- **Extrusão**

O processo de extrusão consiste em forçar a passagem de um bloco de metal através do orifício de uma matriz mediante a aplicação de pressões elevadas (mecânicas ou hidráulicas).

Geralmente a extrusão é utilizada para a produção de secções de formas complexas, especialmente em materiais de fácil processamento (por exemplo, alumínio). Dependendo do

tipo de metal, da taxa de deformação e da secção a ser obtida, o processo de extrusão é realizado a quente ou a frio.

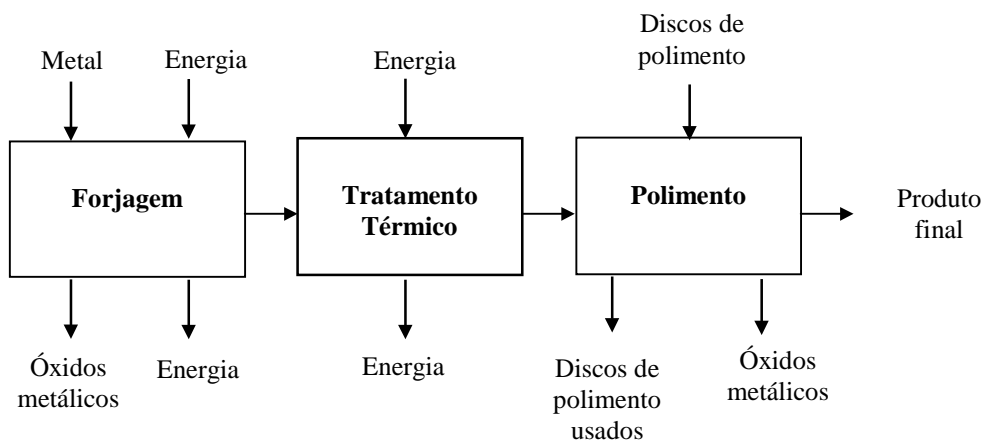
Seguidamente é apresentado em esquema um exemplo tipo para a extrusão de alumínio, contemplando-se o caso em que os perfis são posteriormente anodizados.



**Figura 16** – Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo de Extrusão com anodização

- **Forjagem**

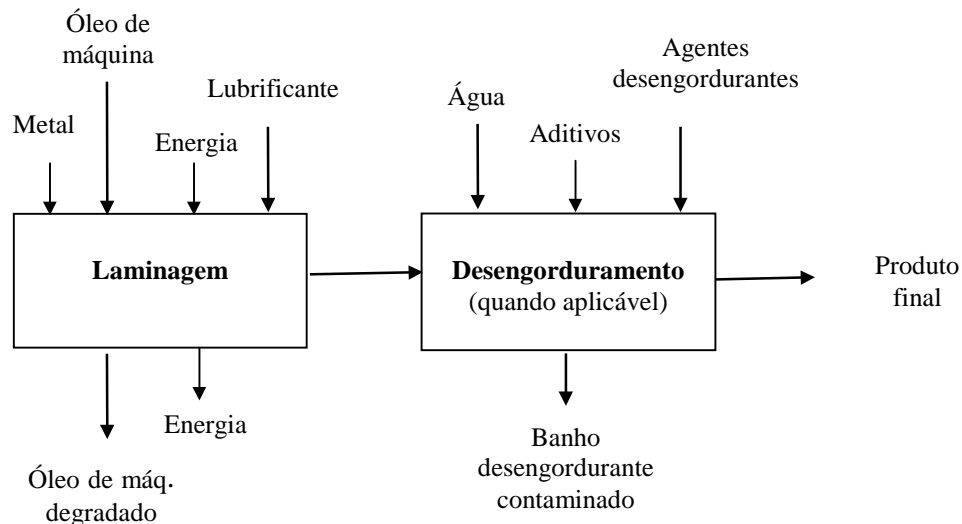
Consiste em deformar um metal por acção de um martelo, sendo normalmente realizada a quente (podendo no entanto também ser realizada a frio).



**Figura 17** – Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo de Forjagem

- **Laminagem**

A laminagem consiste na passagem de uma peça entre dois cilindros que rodam em sentidos opostos, de forma a reduzir a área da sua secção transversal. A laminagem é normalmente executada a quente, excepto na fabricação de chapas, em que existe, em regra, uma etapa de laminagem a frio.



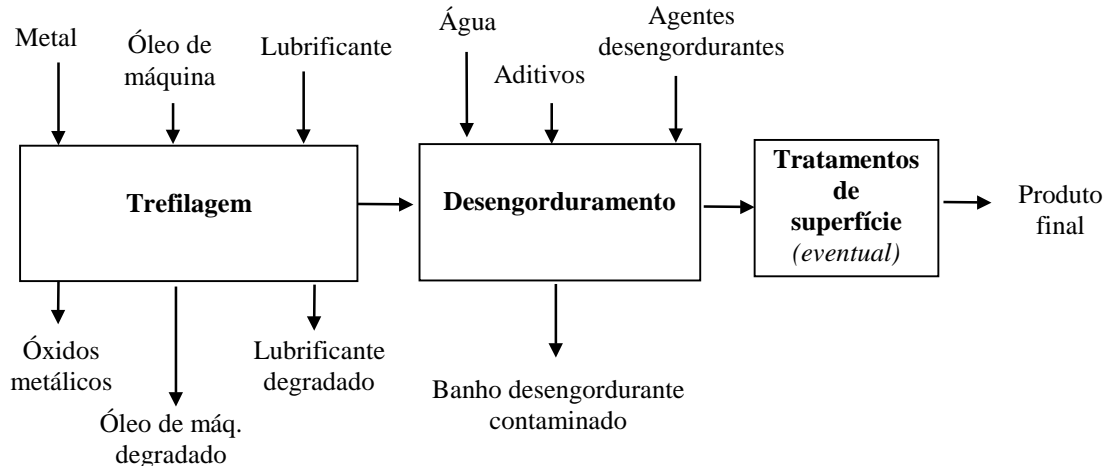
**Figura 18** – Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo de Laminagem

- **Prensagem**

Este processo permite através de uma força de compressão, compactar a matéria prima dentro de uma matriz. É utilizado também para embutir duas peças de diâmetros muito semelhantes permitindo um ajuste total e irreversível.

- **Trefilagem**

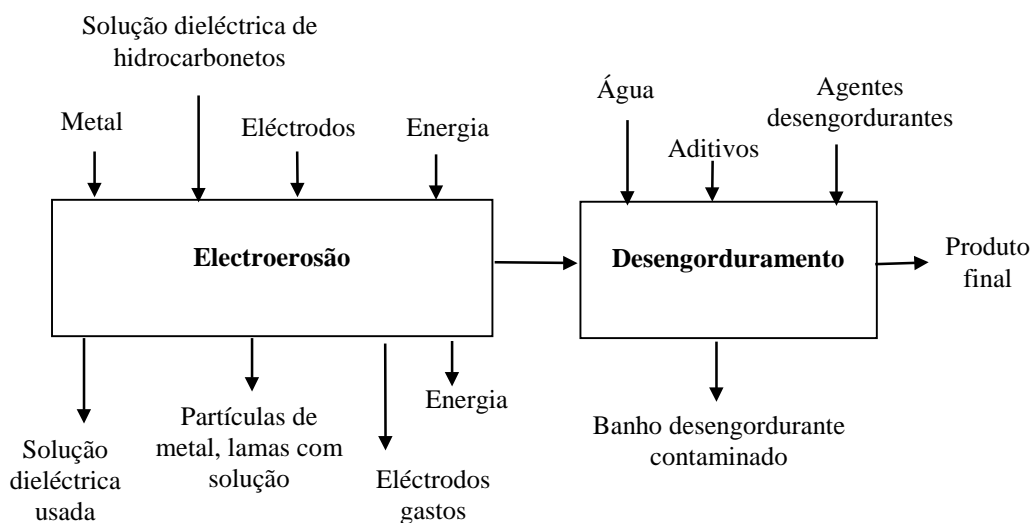
Este processo consiste em forçar a passagem de varão de liga metálica ferrosa ou não ferrosa, através de uma fieira, mediante a aplicação de uma força de tracção à saída desta fieira. O material deforma-se plasticamente à medida que atravessa a fieira e desta maneira reduz o seu diâmetro ao valor pretendido. Como resultado, obtém-se um produto de secção menor e de comprimento maior. Poderá haver lugar a um tratamento de superfície do fio (ex., zincagem, cobreagem, envernizamento, etc.), de acordo com a utilização do produto.



**Figura 19** – Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo de Trefilagem

- **Electroerosão**

Neste processo, a peça é trabalhada interiormente por aplicação de descargas eléctricas através de eléctrodos que originam a remoção de pequenas partículas de metal, dando forma à peça. A electroerosão pode ser aplicada tanto a peças de pequena, como de grande dimensão, quando a forma pretendida (interiormente) é difícil de conseguir através da aplicação de outros processos e as tolerâncias dimensionais são muito pequenas. As peças durante a electroerosão estão imersas numa solução dieléctrica de hidrocarbonetos.



**Figura 20** – Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo de Electroerosão

- **Furação**

Processo que permite a realização de furos em peças através da acção mecânica de brocas em rotação.

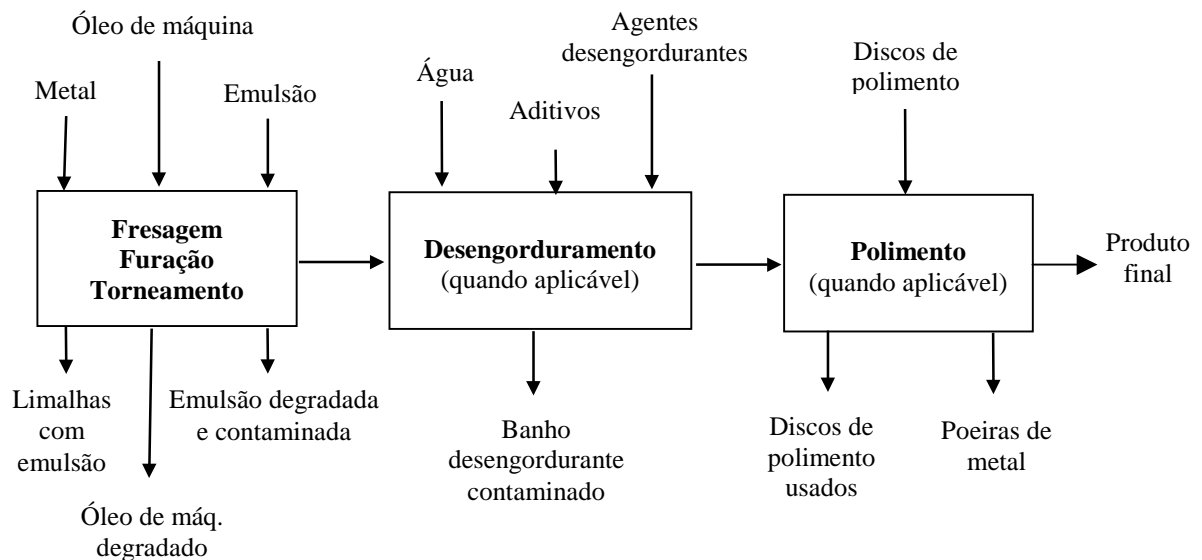
- **Fresagem**

A fresagem permite trabalhar uma peça, fazendo furos ou modificando-lhe a forma, através de fresas em rotação.

- **Torneamento**

Processo em que a peça a trabalhar roda em torno do seu eixo estando a ferramenta cortante fixa e posicionada lateralmente.

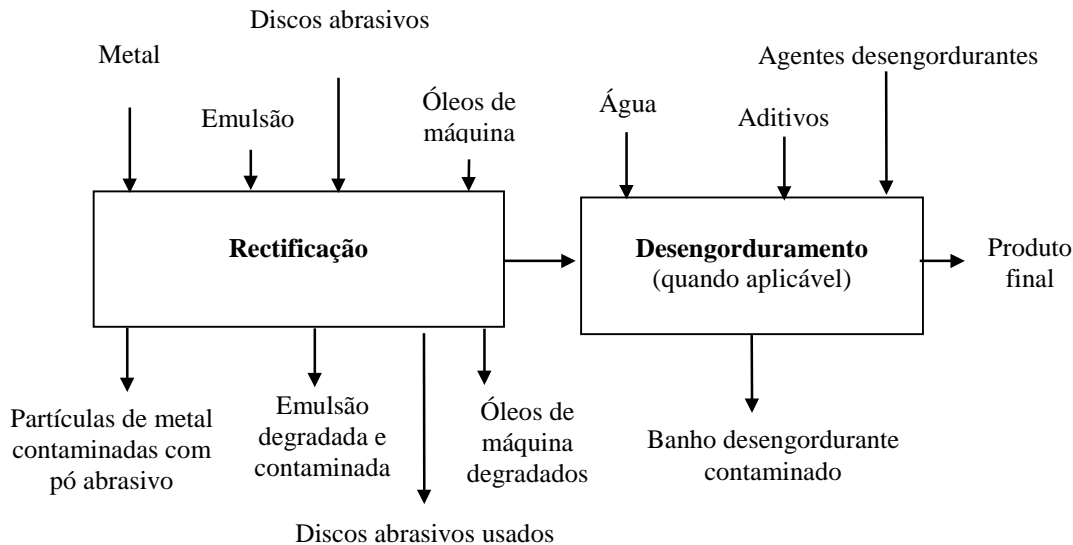
Estes três processos têm a uma sequência de operações idêntica, como tal são identificados no mesmo diagrama de blocos (Figura 21).



**Figura 21** – Diagrama de caracterização das entradas e saídas dos processos de Fresagem, Furação e Torneamento

- **Rectificação**

A rectificação é uma operação usada para conferir o grau de acabamento desejado à superfície metálica da peça e/ou para corrigir tolerâncias dimensionais, após esta ter sido submetida a outras operações de maquinagem. Durante o processo é usada uma emulsão que tem como funções, para além da lubrificação e do arrefecimento, o arrastamento das partículas de metal removidas da peça.



**Figura 22** – Diagrama de caracterização das entradas e saídas do processo de Rectificação

- **Soldadura**

Esta operação destina-se a unir peças, de um modo permanente, através da fusão na zona de contacto do metal das peças ou de um material adicionado (solda). Os diferentes processos de soldadura manual podem distinguir-se de uma maneira muito geral, quer pela fonte de energia utilizada para fundir o metal a soldar e o metal de adição, quer pela técnica como o metal em fusão é protegido da oxidação por acção do ar ambiente. No entanto, pode afirmar-se que todos os processos de soldadura se completam entre si, incluindo os processos de soldadura automática.

**- Soldadura com eléctrodos revestidos**

A soldadura com eléctrodos revestidos é um processo em que a passagem de corrente eléctrica faz saltar um arco eléctrico entre o eléctrodo e as peças que se pretendem soldar. O calor desenvolvido por este arco funde localmente as peças e o eléctrodo simultaneamente, formando assim a soldadura. O revestimento do eléctrodo também funde originando uma escória, o que protege a soldadura contra a oxidação pelo ar.

**- Soldadura MIG-MAG (Metal Inert Gas – Metal Active Gas)**

Este processo utiliza um fio eléctrodo nú, o qual é fundido por um arco eléctrico em atmosfera controlada. A alimentação do fio é contínua e o processo designa-se por semi-automático. Em soldadura com fio nú, os processos podem dividir-se, segundo a natureza da atmosfera, em MIG (Metal Inert Gas), no qual o arco se gera em atmosfera de gás inerte (argon ou hélio, ou ainda mistura argon-hélio) e em MAG (Metal active Gas), cujo gás protector é quimicamente activo.

**- Soldadura Oxiacetilénica**

No processo de soldadura oxiacetilénica, a fusão é provocada pelo calor libertado pela combustão duma mistura de acetileno e de oxigénio. Esta mistura é realizada no maçarico. A chama oxiacetilénica é a mais quente, a mais potente por unidade de superfície, a mais redutora e a mais facilmente regulável. O metal de adição e a peça a soldar são normalmente da mesma natureza.

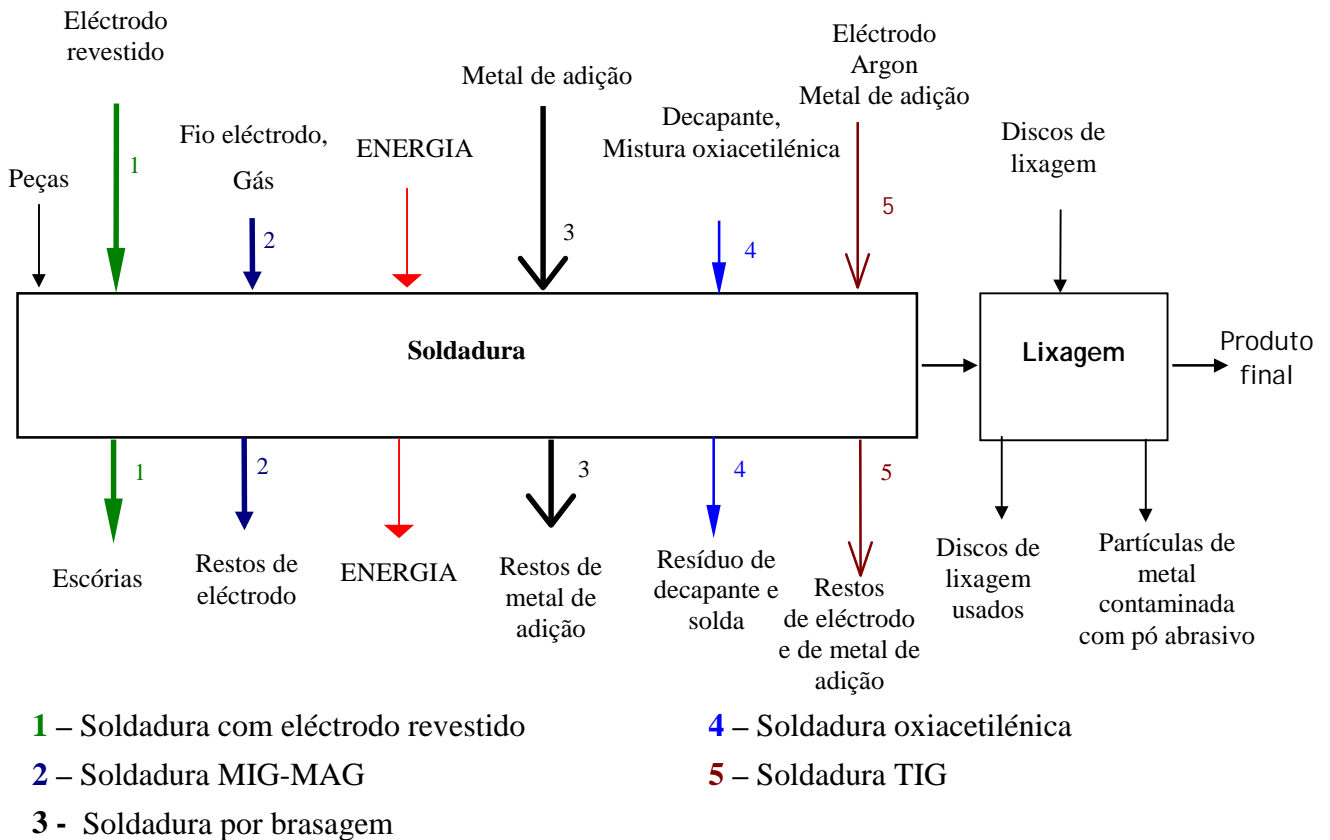
**- Soldadura TIG (Tungsten Inert Gas)**

Neste processo faz-se saltar no seio de um gás inerte (argon) um arco eléctrico entre um eléctrodo de tungsténio e a peça. O calor libertado por este arco funde localmente tanto a peça como o metal de adição, formando-se assim a junta soldada. O gás inerte isola o metal em estado de fusão da oxidação pelo ar.

**- Brasagem**

É uma técnica particular onde só o metal de adição participa na constituição da junta, não havendo nunca fusão do metal de base. A soldadura processa-se por capilaridade ou “difusão molecular” do metal de adição fundido no metal de base, formando a soldadura. O metal de adição possui sempre características químicas diferentes, das das peças a unir sendo a sua temperatura de fusão sempre inferior à do metal base.

Os vários tipos de soldadura são representados conjuntamente no diagrama da Figura 23, em que setas de tipos e cores diferentes (identificadas por números diferentes) ilustram as entradas e saídas de cada tipo de operação, sendo a energia comum a todas elas.



**Figura 23-** Diagrama de caracterização das entradas e saídas dos diferentes processos de Soldadura

### 3.2.1 Importância de fluidos de arrefecimento e de lubrificação nas operações de fabrico da Metalomecânica

Nas operações de corte mecânico e de maquinagem existe sempre um atrito superficial entre a peça e ferramenta, o que origina um aumento da temperatura do material a níveis capazes de influenciar as suas propriedades mecânicas, provoca o desgaste das ferramentas e altera desfavoravelmente o estado de tensão adequado à deformação (no caso da maquinagem sem arranque de avara). Para minimizar estes efeitos é necessário utilizar fluidos que promovam o arrefecimento, lubrifiquem e arrastem as limalhas para fora da zona de trabalho. Esse tipo de fluidos são geralmente emulsões aquosas, óleos minerais, semi-sintéticos ou sintéticos, ceras e sólidos minerais geralmente sob a forma de uma suspensão.

De acordo com o tipo de operação utilizam-se vários tipos de fluidos. Nas operações de corte mecânico e de maquinagem com arranque de avara, a função fundamental dos fluidos é a de

arrefecimento da peça e de arrastamento das aparas; nesses casos, utilizam-se preferencialmente emulsões (geralmente 5% em óleo mineral e 95% em água) em que a água, devido ao seu alto calor específico, dissipa o calor na zona do corte. Além disso, a emulsão funciona também como lubrificante, minimizando o atrito entre a peça a maquinar e a ferramenta.

A presença da água prolonga a vida das ferramentas devido ao seu poder de arrefecimento, mas aumenta a probabilidade da corrosão tanto ao nível da peça a maquinar como da própria ferramenta, pelo que normalmente se utilizam aditivos anti-corrosão na composição das emulsões. A degradação provocada nas emulsões por microorganismos é minimizada pela adição de biocidas.

Na maioria das operações de maquinagem sem arranque de apara (estampagem, dobragem, extiragem, extrusão, etc) é essencial a existência de lubrificação, sendo mais importante esta acção do que a do arrefecimento. Assim, nas operações de deformação dos metais são mais utilizados os óleos semi-sintéticos, os sintéticos, as gorduras e as ceras do que as emulsões. Estes lubrificantes, ao conterem uma maior quantidade em óleo solúvel, são mais viscosos e diminuem o atrito entre a ferramenta e a peça. Deste modo facilita-se a deformação do metal e diminui-se o desgaste da ferramenta.

### 3.3. Resíduos Industriais

#### 3.3.1 Análise global do sector e da sua gestão actual

O sector da Metalurgia e Metalomecânica pode ser considerado um sector poluente não só pela quantidade de resíduos produzidos, mas também pela sua perigosidade.

Globalmente, os resíduos do sector da Metalurgia e Metalomecânica podem dividir-se em dois grande grupos:

- *Resíduos da fundição de aço e ferro, e da fundição de metais não ferrosos*, essencialmente constituídos por:
  - Moldes;
  - Machos vazados e não vazados;
  - Escórias e poeiras do forno;
  - Finos de granalhagem.
  
- *Resíduos da fabricação de produtos metálicos, fabricação de máquinas não eléctricas e da fabricação de material de transporte*, os quais por sua vez se podem dividir em:
  - Aparas, limalhas e retalhos de metal, poeiras de metal e resíduos de soldadura;
  - Emulsões e óleos de maquinagem;
  - Resíduos sólidos gerados na preparação, tratamento e revestimento das superfícies metálicas;
  - Resíduos líquidos gerados na preparação, tratamento e revestimento de superfícies metálicas;
  - Lamas provenientes da maquinagem, polimento, rectificação, lixagem, processos de têmpera, e do tratamento e revestimento de superfícies metálicas.

A maioria dos resíduos da fundição são considerados, segundo o CER (ao abrigo da Portaria nº 818/97), como não perigosos. No entanto, os resíduos provenientes da produção de machos (areias de cura química, machos vazados e não vazados) possuem uma composição muito diversificada, proveniente da mistura de resinas e de catalisadores orgânicos, que nem sempre é conhecida. Se a quantidade de resinas ligantes (fenólicas ou de poliuretano) for significativa, os

resíduos apresentam um nível de toxicidade que os torna perigosos. Além disso, em determinadas circunstâncias e condições ambientais pode ocorrer a oxidação dos compostos sulfónicos a sulfatos, os quais são facilmente lixiviáveis pela água. Em Portugal é rara a ocorrência da implementação do tratamento de areias por via térmica, sendo o seu destino usual a deposição em aterro.

As escórias, desde que não possuam metais ou óxidos metálicos solúveis, não constituem problema para o meio ambiente. O mesmo se passa com a granalha usada que, apesar de possuir uma quantidade elevada de produtos metálicos (e de areia no caso de fundição com moldação em areia) resultantes da decapagem física das peças, não é passível de sofrer lixiviação quando colocada em aterro.

Nos subsectores da Fabricação de Produtos Metálicos, das Máquinas Não Eléctricas e do Material de Transporte, podem ser considerados como perigosos os seguintes tipos de resíduos:

- Emulsões, óleos e lamas de maquinagem, devido principalmente à sua carga orgânica, à presença de halogéneos e aos produtos metálicos dissolvidos;
- Resíduos contendo cianetos e/ou crómio;
- Resíduos contendo solventes halogenados; e,
- Lamas de fosfatação.

A maior parte das empresas não considera as aparas, as limalhas e os retalhos de metal como resíduos (apesar de o serem), visto existir uma grande facilidade de escoamento através da sua venda a sucateiros, ou porque são reaproveitados por fusão no caso das empresas que possuem uma unidade de fundição. Não obstante, este tipo de reaproveitamento só é viável quando estes resíduos metálicos são recolhidos selectivamente na fonte.

Apesar das emulsões e dos óleos serem considerados resíduos perigosos, não tem havido uma grande preocupação na minimização do seu consumo, uma vez que existe um fácil escoamento através de empresas licenciadas. Nos casos em que o teor em água e sedimentos é inferior a 5%, esses resíduos têm valor comercial, sendo utilizados normalmente como combustíveis.

Relativamente aos efluentes líquidos, estes são normalmente encaminhados para as ETAR's, quando existem, gerando-se lamas de difícil escoamento. Este escoamento processa-se

normalmente através de empresas licenciadas, ou então no caso das empresas não cumprirem a legislação, os efluentes são descarregados indevidamente, em linhas de água sem qualquer tipo de tratamento. Em qualquer circunstância, justifica-se que se dê a devida importância à redução da sua quantidade, por exemplo, através da reutilização da água e das emulsões após tratamento, visando minimizar os custos para a empresa e o impacto no meio ambiente.

A estimativa dos resíduos gerados partiu do princípio que existem 7 915 empresas no sector, as quais empregam 135 732 trabalhadores, 831 na fundição de aço e ferro, 1 441 na fundição de metais não ferrosos, 65 190 na fabricação de produtos metálicos, 36 482 na fabricação de máquinas não eléctricas e 31 788 na fabricação de material de transporte.

A estimativa das quantidades dos resíduos para cada um dos subsectores foi baseada nos dados dos mapas de registo de resíduos de 153 empresas, 111 questionários e visita a 22 empresas que abrangeram todos os subsectores. As empresas foram divididas por escalão de trabalhadores do seguinte modo: de 1-9, 10-19, 20-49, 50-99, 200-499 e mais de 500 trabalhadores.

No Quadro 3 comparam-se os valores fornecidos pelo Ministério do Trabalho e da Solidariedade para o número de trabalhadores em cada subsector e o número de trabalhadores das empresas incluídas na amostra.

Com base nestes valores, procedeu-se ao cálculo da percentagem de trabalhadores amostrados, o que permitiu ter uma melhor percepção do erro obtido ao ser feita a extrapolação para a globalidade de cada subsector.

**Quadro 3** – Especificação da amostra de empresas do sector, usada na extrapolação dos quantitativos de resíduos gerados

<b>Subsector</b>	<b>Nº total de trabalhadores do subsector</b>	<b>Nº de trabalhadores da amostra</b>	<b>% de trabalhadores amostrados</b>
Ind. Básica de Ferro e Aço	831	790	95,1 %
Ind. Básica de Não Ferrosos	1 441	825	57,3 %
Fab. de Produtos Metálicos	65 190	18 384	28,2 %
Fab. de Maq. Não Eléctricas	36 482	5 123	14,0 %
Fab. de Material de Transporte	31 788	13 115	41,3 %

Por análise do Quadro, verifica-se que todos os subsectores foram abrangidos, sendo os subsectores com mais trabalhadores, aqueles para os quais se possui relativamente menos informação.

A partir dos dados disponíveis, a quantidade de resíduos foi calculada para cada escalão de pessoal ao serviço considerado, sendo posteriormente extrapolada proporcionalmente para o total dos trabalhadores existentes nesse escalão. Do somatório dos resíduos produzidos pelas empresas de cada escalão resulta a quantidade de resíduos gerada anualmente pelo subsector. Estes valores são apresentados mais adiante.

No Quadro 4 apresentam-se os resultados globais para o sector, divididos por grandes grupos de resíduos, de acordo com os processos de fabrico indicados anteriormente.

**Quadro 4** – Estimativa de produção anual (1998) de resíduos por grandes grupos

<b>Grupos de resíduos</b>	<b>Quantidade (t/ano)</b>
Resíduos da fundição de peças ferrosas e não ferrosas	300 989
Resíduos de operações corte e maquinagem	858 659
Resíduos de processos de soldadura	720
Resíduos de processos de tratamento mecânico de superfície	132 950
Lamas e sólidos de processos de têmpera	2 303
Resíduos sólidos do tratamento e do revestimento de metais	732
Lamas do tratamento e do revestimento de metais	10 344
<b>Total de resíduos sólidos e semi-sólidos</b>	<b>1 306 697</b>
Resíduos de óleos hidráulicos	7 311 m <sup>3</sup> /ano
Resíduos líquidos do tratamento e do revestimento de metais	6 680 m <sup>3</sup> /ano
<b>Total de resíduos líquidos</b>	<b>13 991 m<sup>3</sup>/ano</b>

Mais adiante, no Capítulo 3.3.2, faz-se a apresentação detalhada dos diferentes tipos de resíduos, da sua classificação CER e das quantidades produzidas.

Os resíduos líquidos do tratamento e do revestimento de metais que se encontram contabilizados no Quadro 4 (e no capítulo 3.3.2) correspondem à estimativa dos banhos concentrados que são descarregados sem tratamento em ETAR. Nos casos em que há tratamento contabilizam-se apenas as lamas geradas.

As águas residuais das operações de lavagem, sejam ou não tratadas, não são aqui contabilizadas, porque se assume que não têm correspondência, como resíduos líquidos, ao abrigo da classificação do CER. Contudo, as lamas geradas no tratamento das águas residuais em ETAR, quando este ocorre, são naturalmente contabilizadas como resíduos.

Nas estimativas realizadas, 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 muito rara, admitiu-se que o volume destes corresponde a apenas 10% do total, sendo os restantes 90% devido a águas de lavagem. Constitui excepção a operação de desengorduramento em meio aquoso, onde se admitiu uma igual partição entre os banhos descarregados e as águas de lavagem.

Por análise dos valores apresentados no Quadro 4, pode concluir-se que as operações de corte e maquinagem são aquelas que geram uma maior quantidade de resíduos (858 659 t/ano), dos quais, cerca de 2,9% (25 068 t/ano) são considerados resíduos perigosos (emulsões, óleos e lamas de maquinagem).

Apesar do número de empresas que se dedicam à fundição não ser muito significativo, o quantitativo de resíduos gerado é bastante elevado, devido principalmente aos resíduos de moldes e machos não vazados com aglutinantes orgânicos.

Convém salientar que dos resíduos perigosos produzidos pelo sector da Metalurgia e Metalomecânica, 15 093 t são resíduos sólidos e 22 140 t são resíduos líquidos, o que representa 2,8% dos resíduos totais.

Foi de igual modo calculada a percentagem dos resíduos gerados por cada subsector, relativamente ao total do sector, identificando-se o resíduo predominante em cada um destes (Quadros 5 e 6)

**Quadro 5** – Distribuição percentual dos resíduos característicos dos processos de fundição de peças ferrosas e não ferrosas por subsector

Resíduos	Ind. Básicas do Ferro e Aço (%)	Ind. Básicas Metais Não Ferrosos (%)	Fabricação Produtos Metálicos (%)	Fabricação Máq. Não Eléctricas (%)	Fabricação Material de Transporte (%)
Machos e moldes de fundição não vazados contendo aglutinantes orgânicos	2,7	-	81,7	15,6	-
Machos e moldes de fundição vazados contendo aglutinantes orgânicos	0,7	-	99,3	-	-
Escórias do forno	2,5	6,4	87,5	3,6	-
Poeiras do forno	6,2	0,1	93,3	0,5	-
Outros resíduos não especificados	35,7	-	52,9	10,9	0,5

Contrariamente ao que seria de esperar, os resíduos típicos da actividade de fundição não surgem preferencialmente nos subsectores das Indústrias Básicas, mas sim no da Fabricação de Produtos Metálicos. Este facto deve-se a que muitas das empresas contabilizadas neste último subsector terem instaladas pequenas unidades de fundição. Como a quantidade de peças produzida é pequena e a diversidade é grande, estas empresas tendem a ter uma geração de resíduos por unidade produzida proporcionalmente maior.

**Quadro 6** – Distribuição percentual dos resíduos característicos dos processos de corte e maquinação, por subsector

Resíduos	Ind. Básicas do Ferro e Aço (%)	Ind. Básicas Metais Não Ferrosos (%)	Fabricação Produtos Metálicos (%)	Fabricação Máq. Não Eléctricas (%)	Fabricação Material de Transporte (%)
Aparas, limalhas e outras partículas ferrosas e não ferrosas	-	0,03	87,4	5,9	6,7
Resíduos de óleos de maquinação com e sem halogéneos não emulsionados e óleos sintéticos	-	-	27,8	3,7	44,2
Resíduos de emulsão de maquinação com e sem halogéneos e emulsões cloradas e não cloradas	-	0,3	34,2	56,1	9,4

No subsector dos Produtos Metálicos, surgem com predominância, dentro dos resíduos mais comuns da maquinação as aparas, as limalhas e as outras partículas de metais (na sua grande maioria retalhos de chapas).

Já os resíduos de óleos prevalecem em maior quantidade no subsector da Fabricação de Material de Transporte e os resíduos de emulsões são mais expressivos quantitativamente no subsector da Fabricação de Máquinas Não Eléctricas. Seria de esperar, devido à sua dimensão, que o subsector da Fabricação de Produtos Metálicos fosse aquele que gerasse maior quantidade de resíduos de óleos e de emulsões. Tal não acontece, no entanto, o que pode ser o resultado deste subsector ser predominantemente constituído por pequenas empresas em que a quantidade declarada desse resíduo é muito baixa.

### **3.3.2 Classificação e quantificação dos resíduos**

No Quadro 7 apresentam-se os quantitativos dos resíduos, segundo a classificação CER para todos os subsectores.

**Quadro 7** – Quantificação dos resíduos gerados anualmente por subsector (1998)

Resíduo	CER	Perigosidade	Quantidade anual gerada					
			Ind. Básicas de Ferro e Aço (t)	Ind. Básicas de Não Ferrosos (t)	Fab. Produtos Metálicos (t)	Fab. de Máquinas Não Eléctricas (t)	Fab. de Material de Transporte (t)	Resíduos Totais (t)
<b>Resíduos da fundição de peças ferrosas e não ferrosas</b>								
Machos e moldes de fundição não vazados contendo aglutinantes orgânicos	10 09 01 10 10 01	Não Perigoso	352		10 778	2 057		13 187
Machos e moldes de fundição vazados contendo aglutinantes orgânicos	10 09 02 10 10 02	Não Perigoso	1 173		172 841			174 014
Escórias do forno	10 09 03 10 10 03	Não Perigoso	1 796	4 631	63 212	2 574		72 213
Poeiras do forno	10 09 04 10 10 04	Não Perigoso	1 316	15	19 898	98		21 327
Outros resíduos não especificados (refractários, colheres de fusão)	10 09 99 10 10 99	Não Perigoso	7 228		10 706	2 209	105	20 248
<b>Resíduo das operações de soldadura</b>								
Resíduos de soldadura	12 01 13	Não Perigoso			598		122	720

**Quadro 7 (cont.) - Quantificação dos resíduos gerados anualmente por subsector (1998)**

Resíduo	CER	Perigosidade	Quantidade anual gerada					
			Ind. Básicas de Ferro e Aço (t)	Ind. Básicas de Não Ferrosos (t)	Fab. Produtos Metálicos (t)	Fab. de Maquinas Não Eléctricas (t)	Fab. de Material de Transporte (t)	Resíduos Totais (t)
<b>Resíduos de operações de corte e maquinagem</b>								
Aparas e limalhas de metais ferrosos	12 01 01	Não Perigoso		51	61 927	22 378	34 109	118 465
Outras partículas de metais ferrosos (retalhos de chapa)	12 01 02	Não Perigoso		165	623 841	24 165	15 993	664 164
Aparas e limalhas de metais não ferrosos	12 01 03	Não Perigoso		41	14 796	1 596	251	16 684
Outras partículas de metais não ferrosos (retalhos de chapa)	12 01 04	Não Perigoso			28 081	1 082	5 121	34 284
Resíduos de óleos de maquinagem (não emulsionados)	12 01 06 12 01 07	Perigoso			55 m <sup>3</sup>	1	637	693 m <sup>3</sup>
Óleos sintéticos de maquinagem	12 01 10	Perigoso			384 m <sup>3</sup>	58	62 m <sup>3</sup>	888 m <sup>3</sup>
Resíduos de emulsões de maquinagem com e sem halogéneos	12 01 08 12 01 09	Perigoso			423 m <sup>3</sup>	123 m <sup>3</sup>	103 m <sup>3</sup>	654 m <sup>3</sup>
Emulsões cloradas e não cloradas	13 01 04 13 01 05	Perigoso		33 m <sup>3</sup>	3 872 m <sup>3</sup>	6 931 m <sup>3</sup>	10 78 m <sup>3</sup>	11 914 m <sup>3</sup>
Lamas de maquinagem	12 01 11	Perigoso			10 919			10 919
Outros resíduos não especificados (Poeiras de óxido de um metal)	12 01 99	Não Perigoso			4 174	1 100	677	5 951

**Quadro 7(cont) - Quantificação dos resíduos gerados anualmente por subsector (1998)**

Resíduo	CER	Perigosidade	Quantidade anual gerada					
			Ind. Básicas de Ferro e Aço (t)	Ind. Básicas de Não Ferrosos (t)	Fab. Produtos Metálicos (t)	Fab. de Máquinas Não Eléctricas (t)	Fab. de Material de Transporte (t)	Resíduos Totais (t)
<b>Resíduos do tratamento mecânico das superfícies</b>								
Granalha usada	12 02 01	Não Perigoso	2 299	7	2 333	149	98 493	103 281
Lamas de rectificação e lixagem	12 02 02	Não Perigoso		38	81	34	21	174
Lamas de polimento	12 02 03	Não Perigoso			1 249	15 257	5	16 511
Outros resíduos não específicos	12 02 99 12 03 01	Não Perigoso		1 689	11 259		36	12 984
<b>Lamas e sólidos de processos de têmpera</b>								
Resíduos contendo cianetos	11 03 01	Perigoso			2 088			2 088
Outros resíduos	11 03 02	Perigoso		76	106	32		214
<b>Resíduos líquidos e lamas do tratamento e do revestimento de metais</b>								
Resíduos alcalinos cianurados contendo metais pesados excepto o crómio	11 01 01	Perigoso			63m <sup>3</sup>			63 m <sup>3</sup>
Resíduos isentos de cianetos e c/ crómio	11 01 03	Perigoso			147 m <sup>3</sup>	1 051 m <sup>3</sup>		1 198 m <sup>3</sup>
Resíduos isentos de cianetos s/ crómio	11 01 04	Não Perigoso			5 289 m <sup>3</sup>			5 289 m <sup>3</sup>
Ácidos não anteriormente especificados	11 01 06	Perigoso			69			69
Lamas de fosfatação	11 01 08	Perigoso			29	1 011	105	1 145
Outros resíd. inorg. c/ metais não especificados	11 04 01	Não Perigoso			633			633
Outros solventes e mistura de solventes halogenados	14 01 02	Perigoso			4			4
Lamas ou resíd. sólíd. com solventes	14 01 06	Não Perigoso				3		3
Resíduos de tinta e verniz c/ e s/ solventes halogenados	08 01 01 08 01 02	Perigoso			64		9	73
Tinta em pó	08 01 04	Não Perigoso			53			53
Tintas endurecidas	08 01 05	Não Perigoso			33	24		57
Lamas aquosas c/ tintas e vernizes	08 01 08	Não Perigoso			11	14		25
Suspensões aquosas c/ tintas ou vernizes	08 01 10	Não Perigoso	61 m <sup>3</sup>					61 m <sup>3</sup>
<b>Resíduos de estações de tratamento de águas residuais</b>								
Lamas de ETAR	19 08 04	Não Perigoso		3 066	2 694	2 359	2 092	9 171

### **3.3.3 Correlação dos resíduos com as operações que os geram**

No Quadro 8 estão classificados e quantificados os resíduos gerados no sector da Metalurgia e Metalomecânica. Identifica igualmente as operações que são a fonte da sua produção.

**Quadro 8** – Classificação e Quantificação dos resíduos e sua correlação com as operações que os geram (1998)

Resíduo	CER	Perigosidade	Operação que o gera	Resíduos Totais (t/ano)
<b>Resíduos da fundição de peças ferrosas e não ferrosas</b>				
Machos e moldes de fundição não vazados contendo aglutinantes orgânicos	10 09 01 10 10 01	Não Perigoso	Moldação	13 187
Machos e moldes de fundição vazados contendo aglutinantes orgânicos	10 09 02 10 10 02	Não Perigoso	Desmoldação	174 014
Escórias do forno	10 09 03 10 10 03	Não Perigoso	Fusão do metal	72 213
Poeiras do forno	10 09 04 10 10 04	Não Perigoso	Despoeiramento do forno	21 327
Outros resíduos não específicos (refractários, colheres de fusão)	10 09 99 10 10 99	Não Perigoso	Fusão do metal	20 248
<b>Resíduo das operações de soldadura</b>				
Resíduos de soldadura	12 01 13	Não Perigoso	Soldadura com eléctrodos revestidos, oxiacetilénica, por pontos, TIG, MIG-MAG	720

**Quadro 8 (cont.)** – Classificação e Quantificação dos resíduos e sua correlação com as operações que os geram (1998)

Resíduo	CER	Perigosidade	Operação que o gera	Resíduos Totais (t/ano)
<b>Resíduos de operações de corte e maquinagem</b>				
Aparas e limalhas de metais ferrosos	12 01 01	Não Perigoso	Corte mecânico e de chapa	118 465
Outras partículas de metais ferrosos	12 01 02	Não Perigoso	Maquinação com arranque de apara:	664 164
Aparas e limalhas de metais não ferrosos	12 01 03	Não Perigoso	Electroerosão, Fresagem, Furação, Rectificação, Torneamento	16 684
Outras partículas de metais não ferrosos	12 01 04	Não Perigoso	Maquinação sem arranque de apara Estampagem	34 284
Resíduos de óleos de maquinagem com e sem halogénios (não emulsionados)	12 01 06 12 01 07	Perigoso	Maquinação sem arranque de apara: Dobragem, Cunhagem, Enrolamento, Estampagem, Estiragem, Extrusão, Forjagem, Laminagem, Prensagem, Quinagem	693 m <sup>3</sup>
Óleos sintéticos de maquinagem	12 01 10	Perigoso	Protecção temporária com óleos	888 m <sup>3</sup>
Resíduos de emulsões de maquinagem com e sem halogéneos	12 01 08 12 01 09	Perigoso	Corte mecânico Maquinação com arranque de apara: Electroerosão, Fresagem, Furação, Rectificação, Torneamento	654 m <sup>3</sup>
Emulsões cloradas e não cloradas	13 01 04 13 01 05	Perigoso	Maquinação sem arranque de apara: Dobragem, Cunhagem, Enrolamento, Estampagem, Estiragem, Extrusão, Forjagem, Laminagem, Prensagem, Quinagem	11 914 m <sup>3</sup>
Lamas de maquinagem contendo	12 01 11	Perigoso		10 919
Resíduos de óleos hidráulicos e fluidos de travões	13 01 00	Perigoso	Óleos de máquinas	7 311 m <sup>3</sup>
Outros resíduos não especificados (Poeiras de óxido de um metal)	12 01 99	Não Perigoso	Corte de chapa por plasma Forjagem	5 951

**Quadro 8 (cont.)** – Classificação e Quantificação dos resíduos e sua correlação com as operações que os geram (1998)

Resíduo	CER	Perigosidade	Operação que o gera	Resíduos totais (t/ano)
<b>Resíduos do Tratamento mecânico das superfícies</b>				
Granalha usada	12 02 01	Não Perigoso	Decapagem física	103 281
Lamas de rectificação e lixagem	12 02 02	Não Perigoso	Rectificação e lixagem	174
Lamas de polimento	12 02 03	Não Perigoso	Polimento mecânico e por vibração	16 511
Outros resíduos não específicos	12 02 99	Não Perigoso	Lixagem e polimento	12 984
<b>Lamas e sólidos de processos de têmpera</b>				
Resíduos contendo cianetos	11 03 01	Perigoso	Têmpera	2 088
Outros resíduos	11 03 02	Perigoso	Têmpera	214
<b>Resíduos líquidos e lamas do tratamento e do revestimento de metais</b>				
Resíduos alcalinos cianurados contendo metais pesados excepto o crómio	11 01 01	Perigoso	Revestimentos metálicos electrolíticos: Crobream, Zincagem	63 m <sup>3</sup>
Resíduos isentos de cianetos e contendo crómio	11 01 03	Perigoso	Stripping Cromagem Cromatação Passivação crómica, Oxidação anódica com ácido crómico	1 198 m <sup>3</sup>
Resíduos isentos de cianetos sem crómio	11 01 04	Não Perigoso	Desengorduramento químico ácido, alcalino ou electrolítico Decapagem química Satinagem Stripping Polimento químico ou electroquímico Galvanização mecânica Revestimentos electroless: Cobreagem, Douragem, Niquelagem, Platinagem, Prateagem Revestimentos metálicos electrolíticos: Zincagem ácida, Cobreagem ácida, Cadmiagem, Douragem, Prateagem, Estanhagem, Latonagem, Niquelagem Conversão por coloração, Anodização, Oxidação anódica Difusão por imersão (Galvanização e Estanhagem a quente, com chumbo, com alumínio) Colmatação	5 289 m <sup>3</sup>
Ácidos não anteriormente especificados	11 01 06	Perigoso	Desengorduramento ácido	69 m <sup>3</sup>
Lamas de fosfatação	11 01 08	Perigoso	Fosfatação	1 145

**Quadro 8 (cont.)** – Classificação e Quantificação dos resíduos e sua correlação com as operações que os geram (1998)

Resíduo	CER	Perigosidade	Operação que o gera	Resíduos totais (t/ano)
Outros resíduos inorgânicos contendo metais não especificados	11 04 01	Não Perigoso	Revestimentos por Metalização e projecção com plasma, chama, por detonação, por arco-eléctrico	633
Outros solventes e mistura de solventes halogenados	14 01 02	Perigoso	Desengorduramento em fase orgânica	4
Lamas ou resíduos sólidos com solventes	14 01 06	Não Perigoso	Protecção temporária com verniz Pintura por imersão Pintura líquida por pulverização	3
Resíduos de tinta e verniz c/ e s/ solventes halogenados	08 01 01 08 01 02	Perigoso	Protecção temporária com verniz Pintura por imersão Pintura líquida por pulverização	73
Tinta em pó	08 01 04	Não Perigoso	Pintura a pó electrostática Lacagem	53
Tintas endurecidas	08 01 05	Não Perigoso	Pintura líquida por pulverização Pintura por imersão	57
Lamas aquosas c/ tintas e vernizes	08 01 08	Não Perigoso	Pintura líquida por pulverização com cortina de água	25
Suspensões aquosas c/ tintas ou vernizes	08 01 10	Não Perigoso	Pintura líquida por pulverização com cortina de água	61 m <sup>3</sup>
<b>Resíduos de estações de tratamento de águas residuais</b>				
Lamas de ETAR	19 08 04	Não Perigoso	Tratamento de resíduos líquidos provenientes das operações de preparação e tratamentos de superfície	9 171

#### **4. POTENCIAL DE PREVENÇÃO DENTRO DO SECTOR**

O sector da Metalurgia e Metalomecânica pode ser considerado um sector poluente, sendo a maior parte dos resíduos gerados inerentes aos processos de fabrico. No entanto, o potencial de prevenção é elevado.

Existem muitas medidas e tecnologias de prevenção aplicáveis que ainda não estão implementadas devido a um conjunto de factores de diferente natureza, que vão desde o desconhecimento da sua existência até á ausência de condições financeiras para investimento.

A implementação de algumas tecnologias de prevenção no tecido produtivo nacional está ligada maioritariamente a questões de melhoria tecnológica e de competitividade e não a preocupações ambientais, o que reforça a convicção do elevado potencial de benefícios que interessa difundir pelas empresas do sector.

##### **4.1 Tecnologias e Medidas de Prevenção Identificadas para o Sector**

Nesta fase do trabalho, apresentam-se de uma forma sistemática as tecnologias e medidas de prevenção com potencialidades de aplicação no sector. A identificação dessas tecnologias teve por base uma alargada pesquisa bibliográfica em vários campos, tais como artigos, livros e base de dados.

Com o objectivo de se conhecer melhor a realidade da actividade industrial e dos processos de fabrico foram efectuadas visitas a várias empresas, tendo-se abrangido todos os subsectores considerados. Deste modo, puderam identificar-se algumas medidas e tecnologias de prevenção já implementadas, bem como recolher a opinião dos industriais relativamente a outras tecnologias.

No Quadro 9 apresentam-se as medidas e tecnologias de prevenção para o sector, as operações em que se aplicam e o resíduo que previnem. É de salientar que as tecnologias de prevenção aplicadas às operações de preparação e tratamento de superfícies são tratadas detalhadamente no Guia Técnico dos Tratamentos de Superfície.

No Capítulo 5 é analisada a viabilidade técnica e económica de algumas tecnologias consideradas mais relevantes para o sector.

**Quadro 9** - Tecnologias e medidas de prevenção identificadas para o sector da Metalurgia e Metalomecânica

Tecnologia / Medida de Prevenção	Operação	Resíduo que Previne
Fusão de metais em forno de indução	Fundição	*
Reaproveitamento de gitos no processo de fabrico	Fundição	Gitos
Redução da perda de gito e aparas de metal por introdução de novos moldes	Fundição	Gitos
Sistema de separação e alimentação automática de gitos da fundição injectada no cadinho de fusão	Fundição	Gitos
Bombas doseadoras de desmoldante utilizado na injeção, reduzindo o seu consumo e o de água	Moldação (Injecção)	Desmoldante
Separação magnética de partículas metálicas das areias de fundição	Desmoldagem	Areias de fundição ferrosas contaminadas
Recuperação de areias com aglomerantes por: - Tratamento térmico - Tratamento por radiação de infravermelhos	Moldagem e desmoldagem	Areias com aglomerantes
Utilização de moldes especiais: - Moldes em poliestireno - Moldes em cera	Moldagem	Areia com aglomerantes
Limpeza de moldes e superfícies metálicas com CO <sub>2</sub>	Limpeza	Soluções de desengorduramento Granalha
Nas máquinas, substituição dos filtros de óleo de fibra sintética por tela de longa duração	Maquinagem	Emulsão
Instalação de um sistema de separação e recolha selectiva de óleos em vez da recolha num depósito central	Maquinagem	Emulsão e óleos
Separação magnética de limalhas das emulsões	Maquinagem	Emulsão
Recuperação de emulsões por: - Decantação - Decantação com dispositivo de coalescência - Centrifugação - Hidrociclonagem - Ultrafiltração	Maquinagem	Emulsão
Recuperação de água da mistura de óleos semi-sintéticos por evaporação em vácuo	Maquinagem	Mistura de óleos semi-sintéticos
Recuperação de óleos sintéticos por microfiltração	Maquinagem	Óleos sintéticos
Reutilização de óleos usados para lubrificar ferramentas	Maquinagem	Óleos de corte
Sistema de exaustão de limalha seca nas máquinas, permitindo a protecção do indivíduo, das máquinas e posterior reciclagem das limalhas	Maquinagem	Limalhas
Emulsão aplicada por micropulverização	Maquinagem	Emulsão
Soldadura: - MIG-MAG - TIG - Por plasma	Soldadura	Escórias e carepas
Corte mecânico com arrefecimento por ar comprimido	Corte	Emulsão
Corte a seco	Corte	Emulsões e óleos
Corte de chapa por: - Oxi-corte com CNC - Corte por plasma - Corte por laser - Corte por jacto de água com abrasivo	Corte	Emulsões e óleos

\* O principal benefício é em termos de poupança de energia.

Não é demais salientar que se pretendem apresentar as tecnologias aplicadas às operações do processo de fabrico e não ao tratamento dos resíduos em fim-de-linha.

Os objectivos destas medidas e tecnologias podem resumir-se, de um modo geral, em:

- Minimização do consumo de água;
- Minimização do consumo de matérias primas através duma melhor gestão e aproveitamento das mesmas;
- Reintegração no processo de fabrico de alguns resíduos;

Para além das medidas e tecnologias, os industriais podem implementar nas suas empresas as denominadas boas praticas, que resultam na:

- Implementação de sistemas de gestão de resíduos eficientes, que possibilitem a recolha e separação selectiva, bem como o melhor escoamento dos mesmos, existindo mesmo a possibilidade da sua valorização ou reutilização após tratamento;
- Manutenção do equipamento em perfeitas condições operacionais;
- Renovação do equipamento que conduza não só à evolução tecnológica das empresas, mas também que permita gerir mais eficazmente o consumo das matérias primas, reduzindo os desperdícios; e,
- Realização periódica de acções de formação e esclarecimento dos trabalhadores relativamente ao processo de fabrico e ao correcto manuseamento e manutenção dos equipamentos.

#### **4.1.1 Tecnologias e Medidas de Prevenção Aplicadas à Fundição**

Dos três processos de fundição, aquele que se pode considerar mais agressivo do ponto de vista ambiental é a fundição por moldação em areia, devido em parte à geração de enormes quantidades de resíduos de areia, em alguns casos, contendo aglomerantes orgânicos.

#### 4.1.1.1 Doseamento correcto dos aglomerantes orgânicos

Na produção de machos não existem metodologias rigorosas para a mistura dos componentes, nem um controlo rigoroso da quantidade de aglomerantes necessários para se efectuar essa operação, sendo estes factores responsáveis pela existência de uma quantidade significativa de resíduos de machos e moldes não vazados com aglomerantes orgânicos.

O doseamento dos aglomerantes depende da granulometria da areia e do tipo de aglomerantes utilizados. A uniformização de metodologias neste campo facilita em grande parte o tratamento dos resíduos e aumenta a possibilidade da sua reintrodução no processo de fabrico.

A existência de uma metodologia e o controlo rigoroso da quantidade de componentes na produção de moldes e machos pode reduzir não só a quantidade de reagentes utilizados, mas também a quantidade de moldes e machos não usados.

#### 4.1.1.2 Controlo da granulometria das areias

A granulometria das areias de fundição é um parâmetro muito importante na fundição por moldação em areia, devido ao grau de compactação necessário na produção dos moldes. A areia cuja granulometria é muito baixa (finos) tem de ser retirada do circuito. Caso isso não aconteça, os moldes ficam com uma compactação tal (muito alta) que impedem o escoamento dos gases durante o vazamento do metal, podendo originar peças com defeito pela formação de “chochos” no produto fundido.

Por outro lado, se a granulometria for muito elevada, a compactação da areia na produção do molde pode não ser suficiente para impedir que o metal fundido escoe por entre as partículas de areia, ou seja, não garante uma suficiente rigidez do molde.

Após a operação de desmoldação, a peça e os gitos ficam com areia aderente, a qual pode ser removida em parte por vibração. Em seguida, toda a areia deve ser peneirada, eliminando-se deste modo os finos e as areias com aglomerantes. A areia que esteja dentro da gama de granulometrias recomendadas pode ser reintroduzida.

Através de todas estas medidas é possível diminuir a quantidade de resíduos de areias e consequentemente reduzir a quantidade de areia nova necessária para o processo.

A aplicação destes procedimentos é relativamente simples, não necessita de um investimento muito elevado, sendo de um modo geral economicamente rentável para qualquer capacidade produtiva.

#### 4.1.1.3 Separação magnética de partículas metálicas das areias

Durante o processo de desmoldação de peças ferrosas vazadas existem normalmente partículas metálicas ferromagnéticas nas areias de moldação. Para que estas areias possam ser reutilizadas no fabrico de novos moldes e machos é necessário efectuar a separação dessas partículas, podendo, para tal, utilizarem-se magnetes permanentes nos tapetes de transporte da areia, que retêm as partículas metálicas.

Consegue-se neste caso, não só a recuperação de areia que pode ser reintroduzida no processo, mas, também, recuperar a fracção metálica que pode ser novamente fundida.

#### 4.1.1.4 Tratamento das areias com aglomerantes

- *Tratamento por via térmica*

Através de tratamento por via térmica é possível destruir os aglomerantes e as ligações entre os grãos de areia. A superfície do grão de areia não é lisa, possuindo inúmeras fendas e recortes que favorecem o estabelecimento de ligações pelos aglomerantes. A aplicação de calor num meio oxidante para além de destruir estas ligações altera igualmente a composição e as características da areia, passando esta, por exemplo, a ter um grau de dilatação muito menor, característica esta vantajosa no processo de moldação.

Por aplicação desta tecnologia consegue-se recuperar 95% da areia, correspondendo os restantes 5% a finos. No entanto, esta areia não pode ser reutilizada ilimitadamente, uma vez que as suas características se alteram de forma a que deixam de obedecer a determinados parâmetros como grau de humidade, granulometria e grau de permeabilidade.

O processo de recuperação das areias por via térmica utiliza fornos rotativos ou de leito fluidizado a temperaturas que rondam os 700-800°C.

- *Tratamento por radiação*

Outras das tecnologias aplicáveis para a recuperação de areias com aglomerantes, não alterando em grande escala as suas características, nem produzindo os produtos de combustão associados ao tratamento térmico, consiste na destruição das ligações por infravermelhos. Neste caso, a areia é tratada num leito fluidizado, em contacto directo com a radiação, que destrói as ligações. Esta tecnologia implica um grande investimento, existindo já implementada fora do nosso País.

#### 4.1.1.5 Utilização de moldes especiais

- *Moldes em poliestireno na fundição por moldação em areia*

Esta tecnologia permite evita a utilização de aglomerantes na fabricação dos moldes, conduzindo à redução ou à eliminação dos resíduos de moldação com aglomerantes.

A tecnologia consiste em utilizar um molde de poliestireno com o formato da peça pretendida, recoberto por uma tinta refractária. A areia é então compactada dentro da caixa de moldação à volta do molde de poliestireno com os canais de alimentação e de ventilação. O metal é vazado no poliestireno que se vai volatilizando (havendo a produção de grande quantidade de vapores do poliestireno) à medida que o metal preenche o espaço. Após o arrefecimento, a crosta refractária é partida e os gitos são cortados.

Neste processo não é necessária a elaboração de machos, nem a mistura de grandes quantidades de areia e aglomerantes. Por esta razão, a areia pode ser reutilizada sem qualquer tratamento, sendo, no entanto, necessário remover uma parte da areia para evitar a acumulação de estireno.

Esta tecnologia pode representar uma alternativa económica aos processos tradicionais de fundição, pois conduz á redução dos custos de mão-de-obra e de material.

- *Moldes em cera*

A produção de peças em molde de cera é conhecida como fundição em molde de cera perdida.

Neste processo, em primeiro lugar é feito um modelo em metal que dará origem ao molde em cera. Assim, a cera líquida é vertida para o interior do modelo, dando origem ao molde após a sua solidificação. O molde em cera, após o seu revestimento com uma mistura de refractário, é posteriormente colocado dentro de uma caixa de moldação juntamente com a areia contendo aglomerantes.

Após o material de moldação (areia) ter endurecido, aquece-se moderadamente a caixa num forno para que a cera seja eliminada, podendo eventualmente ser recuperada uma parte para a elaboração de novos modelos. O molde (areia) é então cozido num forno a alta temperatura obtendo-se superfícies muito lisas que reproduzem com exactidão o primeiro modelo. O metal fundido pode assim ser vazado, sendo a peça retirada após o seu arrefecimento.

Com este processo são produzidas peças de elevada complexidade, com elevada exactidão e com excelente acabamento superficial.

Apesar desta tecnologia gerar menor quantidade de areias com aglomerantes nem sempre se pode considerar como uma alternativa à fundição por moldação em areia, visto que a sua aplicação é específica para a fabricação de peças de pequenas dimensões e de geometria complexa.

#### 4.1.1.6 Seleccção da carga do forno

A seleccção correcta das matérias primas a carregar no forno é a única medida que permite reduzir a quantidade de resíduos provenientes da fusão do metal (ou suas ligas), nomeadamente as escórias e as poeiras do forno.

As escórias são constituídos por fluxos e silicatos provenientes do desgaste dos refractários originados pelo ataque químico a altas temperaturas, sendo maioritariamente por isso, siliciosas ou silico-aluminosas.

A quantidade de escórias geradas durante a operação de fusão do metal ou das suas ligas depende, em grande parte, das características e da qualidade das cargas, nomeadamente da quantidade de óxidos e de calamina presentes e do desgaste dos refractários. Outro dos factores que influencia, em grande parte, a geração de escórias é a areia retida nos gitos e nas peças rejeitadas que retornam ao processo, sendo por isso, aconselhável efectuar granalhagem às peças rejeitadas e aos gitos antes de se proceder a novas cargas para fusão

Sendo impossível eliminar a geração de escórias durante o processo de fundição do metal ou das suas ligas, pode, no entanto, reduzir-se a quantidade gerada. Tal redução, é conveniente não só do ponto de vista ambiental, mas também do ponto de vista operatório, já que para além de aumentarem o consumo energético, as escórias são difíceis de remover e de escoar.

Tal como as escórias, não é possível eliminar a geração de poeiras dos fornos, podendo no entanto, diminuir-se a sua quantidade através de uma criteriosa selecção da carga do forno. O factor que predominantemente origina o aumento da quantidade das poeiras é a introdução na carga do forno de sucatas, nomeadamente, aços inox, peças soldadas ou revestidas com metais pesados. A quantidade e o tipo de metais presentes nas poeiras condicionam o grau de perigosidade das mesmas.

O reaproveitamento de gitos e de peças rejeitadas com areia contribui, também, para o aumento das poeiras do forno.

#### 4.1.1.7 Reaproveitamento dos gitos

A quantidade de metal fundido necessário para produzir uma peça por fundição é muito superior ao metal que constitui a peça propriamente dita. O excesso depende da forma do molde e da espessura dos canais de alimentação e ventilação.

Após a desmoldação é necessário separar os gitos da peça, os quais podem representar entre 40% a 60% do peso da peça.

Estes gitos podem ser reintroduzidos no processo de fusão do metal. No entanto, não é conveniente, em certos casos, que a sua quantidade ultrapasse 40% da carga do forno, pois a partir deste valor podem ocorrer alterações na composição química da liga nocivas para o processo.

Esta medida encontra-se largamente implementada nas empresas nacionais, reduzindo-se os resíduos de metal em cerca de 80-100%.

#### 4.1.1.8 Utilização de resíduos da fundição nas indústrias de material de construção

Dependendo das características físico-químicas dos resíduos de areia provenientes das fundições com moldação em areia, estes podem ser incorporadas como matéria-prima na indústria cimenteira, indústria dos betões asfálticos, indústria cerâmica e de blocos para a construção civil.

Outra das possíveis utilizações é a sua incorporação em coberturas de aterros, após uma verificação da adequação da composição granulométrica para esse efeito.

Em todas estas indústrias, a areia é uma matéria prima fundamental, podendo incorporar-se areia sem aglomerantes (areia verde) proveniente das fundições sem pôr em risco a qualidade dos produtos. As areias com aglomerantes orgânicos podem ser utilizadas na fabricação de cimento e blocos para a construção civil desde que os gases libertados durante a combustão sejam sujeitos a tratamento adequado.

Desde que previamente moídos as escórias e os refractários dos fornos podem também, ser integrados na carga para a fabricação de cimento e blocos.

### **4.1.2 Tecnologias e Medidas de Prevenção Aplicadas aos Processos de Maquinagem**

#### 4.1.2.1 Regeneração de fluidos de corte

Como já foi referido anteriormente, existem um conjunto importante de operações que necessitam de fluidos para se processarem adequadamente. Estes fluidos são, na sua maioria, à base de água (emulsão, óleos semi-sintéticos e sintéticos).

Neste Capítulo identificam-se medidas e tecnologias que permitem, regenerar e reciclar os fluidos, prolongando a sua vida útil.

Os fluidos são considerados pelos industriais, em geral, como tradicionais consumíveis. Muitos destes fluidos, quando degradados, são ainda descarregados directamente nas condutas, ou encaminhados para empresas licenciadas de recolha de óleos.

No entanto, os industriais, face à necessidade de garantir o aumento da produtividade e da competitividade, estão cada vez mais sensibilizados para a aplicação de medidas que permitam prolongar a vida dos fluidos. A finalidade é otimizar a sua *performance*, reduzir a quantidade de resíduos e os custos inerentes ao seu escoamento. Para tal, os parâmetros que têm de ser avaliados são:

- A qualidade da água utilizada
- A selecção do fluido adequado
- O controlo da composição do fluido
- O sistema de remoção de contaminantes do fluido

#### - *Qualidade da água utilizada*

A qualidade da água utilizada para preparar as emulsões (fluidos) é muito importante para a sua *performance*. O tempo de vida útil da emulsão, da ferramenta, e o grau de corrosão da máquina é grandemente afectado pelas características da água.

É importante que as empresas analisem completamente a água que utilizam. As especificações do fluido recomendam o tratamento da água, se os sólidos dissolvidos, dureza da água, quantidade de minerais e metais ultrapassarem os valores recomendados. Pode ser necessário utilizar simplesmente água desmineralizada, ou efectuar o seu tratamento por permuta iónica ou osmose inversa.

A presença de cloretos e de sulfatos provocam a corrosão nas ferramenta e nas máquinas, quando presentes acima de 100 mg/L. Além deste facto, os sulfatos promovem o desenvolvimento de bactérias, o que origina a formação de sulfureto de hidrogénio.

- *Seleção do fluido de corte*

Devido à larga variedade de fluidos disponíveis, nem sempre se torna fácil escolher o fluido ideal para uma dada aplicação. Sob o ponto de vista da viabilidade económica das tecnologias aplicáveis para a sua regeneração e reutilização, é importante que, tanto quanto possível, se utilize o mesmo fluido com a mesma concentração no maior número de operações, pois os benefícios de escala daí resultantes permitem maximizar o retorno do investimento efectuado. Neste campo são indispensáveis as informações e recomendações dos fornecedores deste tipo de produtos.

Existem no mercado quatro classes de fluidos: óleos inteiros, óleos solúveis, semi-sintéticos e sintéticos, cuja composição é basicamente a seguinte:

**Óleos inteiros:** óleo mineral - 90%

derivados de parafina - 6%

óleo sulfuretado - 4%

**Óleos solúveis:** óleo à base de naftaleno - 68%

emulsionantes - 17%

lubrificantes - 10%

inibidor de oxidação - 3%

biocida - 2%

**Óleos semi-sintéticos:** óleo à base de naftaleno - 15%

emulsionantes - 20%

inibidor de oxidação - 6%

aditivos - 1,5%

biocida - 2%

diluyente (água) - 55,5%

**Óleos sintéticos:** diluyente (água) - 70%

inibidor da corrosão - 10%

tampão de pH - 5%

lubrificantes - 14%

fungicida - 2%

As emulsões, são misturas à base de água e óleo, que podem variar nas razões de 1:5 a 1:50 (constituente orgânico:aquoso) dependendo da aplicação, e do tipo de fluido.

*- Controlo das características do fluido*

À medida que os fluidos são utilizados há necessidade de se proceder ao seu controlo analítico, o que nem sempre é possível com os meios existentes nas empresas. De facto, devido a perdas por arrastamento e por evaporação, além de outros tipos de contaminações, é necessário repor a composição da emulsão, ou então as suas propriedades ficam de tal forma alteradas que o fluido terá que ser substituído.

O controlo analítico mais simples pode consistir na verificação periódica da sua concentração e do pH. Na realidade, as bactérias que por vezes contaminam os fluidos geram ácidos como subprodutos, fazendo baixar o pH e degradando o fluido. Quando esta situação acontece é necessário controlar o nível de bactérias através da adição de biocidas e reajustar o pH. Ao mesmo tempo, o fluido vai ficando contaminado com óleos livres, resultantes da quebra da emulsão ou de óleos das máquinas, e com lamas, com aparas e limalhas de metal. Para além de diversos tipos de contaminação a composição do fluido altera-se sendo necessário proceder às devidas correcções como a remoção de óleos livres, dos sólidos e do controlo das bactérias, ou então à que proceder à sua substituição.

*- Remoção de contaminantes do fluido*

A remoção de contaminantes tem como objectivo manter o fluido em condições adequadas à função e minimizar, portanto, a frequência da sua substituição. Qualquer sistema para regeneração do fluido pode ser aplicado individualmente a uma máquina ou pode consistir num sistema centralizado que trata os fluidos de um conjunto de máquinas, tudo dependendo da variedade de composições utilizadas.

Geralmente todas as máquinas incorporam já um sistema de filtração com uma rede para separação das aparas, das limalhas e de outros materiais sólidos. No entanto, com este mesmo objectivo podem aplicar-se outras tecnologias.

- *Remoção de partículas metálicas por separação magnética*

Na actividade metalomecânica trabalha-se com diferentes tipos de metais, muitos dos quais interagem com um campo magnético. Nestes casos, pode efectuar-se uma limpeza primária ao fluido, fazendo-o passar por um campo magnético em que as partículas metálicas são magnetizadas ficando retidas num magnete. As outras partículas não magnéticas podem também ficar retidas parcialmente por arrastamento. Este tipo de separação primária é efectuada geralmente para caudais pequenos, inferiores a 900 l/min, e o investimento ronda os 700 – 800 contos (3 500 – 4 000 ).

No mercado, existem igualmente filtros de saco para reter as limalhas com uma porosidade de 10-20 µm, cujo preço ronda os 80 contos (400 ).

- *Controlo do nível de bactérias*

A adição periódica de agentes biocidas possibilita o controlo do crescimento bacteriano, retardando a velocidade de biodegração dos fluidos de corte.

A pasteurização aplicada aos fluidos de corte permite matar as bactérias sensíveis ao calor desde que submetidas a uma temperatura da ordem dos 79 °C durante 15 segundos. Esta operação pode ser evitada, quando a temperatura dos fluidos é mantida em valores que inibam o desenvolvimento de bactérias.

- *Remoção de óleos livres*

Existem várias técnicas que permitem a remoção de óleos livres, com diferentes graus de eficiência, tais como: utilização de *skimmers*, decantação, decantação com coalescência, centrifugação, hidrociclonagem, ultrafiltração, microfiltração e evaporação em vácuo.

A escolha de uma ou outra técnica depende do grau de eficiência pretendido, da quantidade de fluido a ser tratada e da capacidade de investimento das empresas.

A separação dos óleos, ou a velocidade de ascensão das gotas de óleo em processos de separação gravítica, depende de muitos factores, incluindo o tamanho das partículas, a massa específica e a temperatura. A relação entre esses factores é expressa pela seguinte expressão:

$$V_r = \left( \frac{g}{18\mu} \right) (S_w - S_o) D^2$$

Em que:

$V_r$  - velocidade de ascensão das gotas de óleo

$g$  - força da gravidade

$S_w$  e  $S_o$  - massa específica da água e do óleo respectivamente

$D$  – diâmetro das gotículas de óleo

$\mu$  - viscosidade da água a uma determinada temperatura

Os fluidos emulsionados definem-se como tendo três estados de óleo. Existem os óleos emulsionados quimicamente ( $d < 20 \mu\text{m}$ ), óleos emulsionados mecanicamente ( $20 \mu\text{m} < d < 150 \mu\text{m}$ ) e óleos livres ( $d > 150 \mu\text{m}$ ).

Para compreender a eficiência dos processos de separação dos óleos é necessário ter em conta que uma emulsão inicialmente estável ao longo do tempo, vai sofrendo modificações do seu estado, transformando-se em emulsão mecânica e acabando com o aparecimento de óleos livres.

De seguida são descritas, de uma forma resumida, as tecnologias aplicáveis aos fluidos de corte.

- Decantação

A decantação é uma tecnologia muito usada tanto em regime contínuo como descontínuo, quando se pretende separar sólidos de líquidos ou dois líquidos imiscíveis, sendo que essa separação de fases só se torna efectiva num período de tempo variável, mas normalmente longo.

A decantação no sector da Metalurgia e Metalomecânica, pode ser aplicada às emulsões das operações de maquinagem, aos resíduos líquidos das operações de polimento por via húmida e ao corte por jacto de água com abrasivo.

A decantação aplicada a emulsões, permite separar 3 fases, uma fase sólida constituída por limalhas e lammas de maquinagem, que fica depositada no fundo do decantador, uma fase intermédia, que é a emulsão propriamente dita e uma outra fase sobrenadante ,constituída pelos óleos livres.

A emulsão após, suficiente tempo de permanência no decantador pode ser novamente utilizada após ajuste da sua concentração. Esta tecnologia permite triplicar ou quadruplicar o tempo de vida da emulsão, dependendo do estado de degradação da mesma e da quantidade de bactérias presentes antes do início do tratamento. A frequência com que se deve submeter a emulsão a uma operação de decantação é muito superior aquela que é necessária no caso da ultrafiltração (analisada mais adiante), porque no primeiro caso a parte do óleo que está emulsionado mecanicamente não é separada, passando rapidamente para o estado de óleo livre quando a emulsão volta a ser utilizada.

- Decantação com dispositivo de coalescência

Para aumentar a eficiência da separação de fases (reduzindo o tempo de permanência necessário) pode utilizar-se um decantador com um dispositivo de polipropileno que graças às suas propriedades oleofílicas, acelera a aglomeração das partículas de óleo mais pequenas que se separam mais facilmente da fase aquosa.

- Centrifugação

A centrifugação, tal como a decantação, é uma técnica que permite separar fases sólidas e líquidas ou líquidos imiscíveis, tendo a vantagem da separação se efectuar muito mais rapidamente, devido à força centrífuga.

De acordo com o mecanismo que usam para a separação dos sólidos, as centrifugas podem classificar-se da forma seguinte:

- Centrífugas de sedimentação, em que a separação se baseia na diferença de massa específica entre as fases sólida e líquida (sólido mais denso);
- Centrífugas de filtração, em que as fases se separam por filtração. As paredes do cesto da centrífuga são porosas e o líquido filtra através do bolo de sólidos depositado e é removido.

A centrifugação pode ser aplicada aos resíduos líquidos das operações de maquinagem que utilizem emulsões, ao polimento por via húmida e ao corte por jacto de água com abrasivos, permitindo a reutilização da emulsão (nas operações de maquinagem) e da água no caso do polimento e no corte por jacto de água com abrasivo.

A centrifugação aplicada às emulsões separa a “mistura” em três fases: limalhas e partículas metálicas, emulsão e óleos livres. Esta tecnologia consegue prolongar a vida das emulsões 4 a 6 vezes, dependendo do grau de degradação e da quantidade de bactérias existentes na emulsão.

- Hidrociclonagem

Na hidrociclonagem, as emulsões contaminadas com sólidos alimentam, tangencialmente e a grande velocidade, um hidrociclone, sendo os sólidos separados na parte cónica e a emulsão separada através da saída lateral existente. A emulsão, após passagem pelo hidrociclone, pode ser novamente utilizada, sendo necessário corrigir a sua concentração.

Com a aplicação desta tecnologia consegue-se uma eficiência semelhante à obtida por centrifugação.

- Ultrafiltração

É um processo de filtração através de membranas com porosidade de dimensão variável que permitem, com base no tamanho das moléculas, fazer a separação de emulsões e de macromoléculas. Esta tecnologia tem sido aplicada, por exemplo, na separação de óleos de águas residuais. As membranas de ultrafiltração não conseguem reter compostos orgânicos e inorgânicos solúveis de baixo peso molecular. No tratamento de emulsões contaminadas com óleos livres, o fluxo através da superfície da membrana (permeado) é influenciado pelos seguintes factores: concentração de óleo na alimentação, sólidos em suspensão, velocidade superficial membrana, pressão transmembrana, temperatura, sujidade superficial e concentração da polaridade. A concentração da polaridade resulta da acumulação de solutos na superfície membrana. Os solutos chegam à superfície membrana através do solvente por transporte convectivo. Os solutos rejeitados geralmente formam um gel viscoso que fica

depositado na membrana. Este gel actua como uma membrana secundária, reduzindo o fluxo e a passagem de solutos de baixo peso molecular. A sujidade superficial é resultante da deposição de partículas micrométricas na superfície, assim como da acumulação de pequenos solutos na superfície devido à sua cristalização e/ou precipitação. Por isso, é necessário efectuar limpezas periódicas das membranas para repor o caudal de permeado.

Nesta tecnologia, a emulsão aquosa atravessa a membrana, obtendo-se um permeado que pode representar 95% do caudal de alimentação. Os óleos livres e os óleos emulsionados mecanicamente ficam retidos na forma de um concentrado. A emulsão descontaminada é reencaminhada para a operação.

Por aplicação desta tecnologia é possível multiplicar por 10 vezes o tempo de vida das emulsões permitindo poupanças significativas em termos de água e óleo, além da diminuição substancial do volume de resíduos líquidos.

No Quadro 10 comparam-se as várias tecnologias aplicáveis às emulsões de corte.

**Quadro 10** – Comparação das características técnicas associadas às tecnologias de tratamento de emulsões

	Investimento	Custos operatórios	Manutenção	Contaminantes retirados		
				Partículas metálicas, óxidos e outros	Óleos livres	Bactérias
Filtração	Baixo	Baixos	Baixa	Sim	-	-
Filtro de cinta contínua para retirar partículas	Baixo	Baixos	Baixa	Sim	-	-
Decantação	Médio	Baixos	Baixa	Sim	Sim	-
Decantação c/ coalescência	Mais elevado do que sem coalescência	Baixos	Baixa	Sim	Sim	-
Centrifugação	Elevado	Médios	Média	Sim	Sim	-
Hidrociclonação	Muito elevado	Médios	Média	Sim	Sim	-
Ultrafiltração	Elevado	Altos	Alta	Sim	Sim	Parcialmente
Pasteurização	Baixo	Baixos	-	-	-	Sim

- Evaporação em vácuo

A evaporação é uma técnica de separação de constituintes com diferentes pontos de ebulição, permitindo, consoante os componentes da mistura, separá-los ou simplesmente concentrar um deles.

Esta tecnologia pode ser aplicada no sector da Metalurgia e Metalomecânica para separar a água, de uma mistura de óleos de corte semi-sintéticos. No entanto, convém salientar que esta separação não pode ser efectuada a temperatura demasiado elevada, devido ao perigo de decomposição dos óleos. Em vácuo, consegue evaporar-se a água a temperaturas mais baixas do que em atmosfera normal, pelo que nestas circunstâncias, o perigo de decomposição dos óleos é reduzido, podendo ser eliminado.

A ultrafiltração não se aplica ao caso dos óleos semi-sintéticos, porque estes formam com a água misturas que são parcialmente emulsões e parcialmente soluções verdadeiras, não se conseguindo uma separação efectiva entre a água e o óleo.

- Microfiltração

A microfiltração à semelhança da ultrafiltração é uma técnica que utiliza membranas, diferenciando essencialmente no tamanho do poro das membranas. A microfiltração possui um tamanho de poro maior na ordem de 0.05  $\mu\text{m}$ , permitindo a passagem de partículas maiores.

Esta técnica pode ser utilizada na regeneração de soluções de óleos sintéticos. Os óleos de corte sintéticos são verdadeiramente solúveis na água, pelo que a microfiltração tangencial regenera as soluções de corte, ao reter os óleos estranhos (óleos hidráulicos, óleos das máquinas) e pequenas partículas.

A aplicação desta tecnologia permite prolongar a vida dos óleos sintéticos durante muito tempo, não sendo, em geral, necessário utilizar esta operação muito frequentemente.

Apesar da poupança no consumo de óleos sintéticos e da redução substancial destes resíduos, as empresas continuam com uma certa relutância na sua implementação, alegando que a quantidade

de óleo contaminado que geram não é suficiente para a tornar viável economicamente. O investimento previsível é relativamente elevado face a algumas outras técnicas referidas, além de que é necessária uma manutenção periódica eficaz e proceder à substituição das membranas em períodos mais ou menos curtos, dependendo do tipo de membranas seleccionado e da aplicação específica.

#### 4.1.2.2 Controlo do uso de fluidos de corte nos equipamentos de maquinagem

A utilização de fluidos de corte nas operações de maquinagem efectua-se normalmente por inundação da zona de corte. Desta forma, tanto a ferramenta como a peça a ser trabalhada são protegidas mais eficazmente. No entanto, em condições de trabalho não muito severas e utilizando ferramentas de elevada resistência ao desgaste é possível reduzir a quantidade de fluido necessário sem prejuízo da operação.

A redução do consumo do fluido pode conseguir-se através da designada **micropulverização**, que não é mais do que o doseamento correcto do fluido misturado com ar e injectado directamente na zona de corte em jacto fino.

Outra das alternativas é a substituição do fluido de corte por ar comprimido, quando se criam condições que tornam a lubrificação dispensável, podendo esta medida ser aplicada às operações de torneamento, frezagem e furação.

Existem inúmeros exemplos práticos, onde as empresas já optaram pela maquinagem sem fluido

Na realidade, com o crescente desenvolvimento tecnológico de novos materiais, cada vez mais se evolui no sentido de desenvolver e utilizar ferramentas de elevada resistência ao desgaste, que, suportando cargas térmicas elevadas, tornam a utilização dos fluidos de corte desnecessária.

É evidente que o corte a seco pressupõe a maquinagem de materiais cujas propriedades estruturais não sejam facilmente alteradas por cargas térmicas inevitavelmente mais elevadas.

#### 4.1.2.3 Utilização de tecnologias mais avançadas nas operações de corte de chapa

As operações de corte de chapa são aplicadas essencialmente nos subsectores da Fabricação de Máquinas Não Eléctricas e da Fabricação de Material de Transporte. As empresas com menos recursos utilizam geralmente os tradicionais maçaricos de corte. Actualmente, existem tecnologias de corte mais avançadas, tais como o oxi-corte com controlo numérico, o corte por plasma, o corte por laser e o corte por jacto de água com abrasivo. Este último é uma alternativa aos processos de corte térmico. No entanto, quase todos os materiais metálicos e não metálicos podem ser cortados por via térmica.

- Oxi-corte

Este é o melhor processo de corte térmico para chapas de aço ligado e de não ligado na gama de espessuras de 3 a 30 mm. O consumo de energia é pequeno. A maior parte do calor é produzido por meio da reacção exotérmica do oxigénio com o aço a cortar. O equipamento é de fácil instalação.

Como fonte de calor para o pré-aquecimento do material e para se atingir a temperatura de fusão usa-se, predominantemente, a chama oxi-acetilénica.

- Corte por plasma

O corte por plasma é um processo de fusão, no qual o material metálico é fundido pelo jacto de plasma, sendo a junta de corte removida por jacto de ar. Também são utilizados gases de corte de efeito oxidante e gases com injeção suplementar de água. O consumo de energia é relativamente elevado, porque o material tem de ser fundido numa junta larga. Os gases utilizados nas aplicações de corte por plasma são o argon, o hidrogénio e o azoto

O corte por plasma com injeção de água é indicado para o corte de aços de construção e de Cr-Ni. O bom arrefecimento e a elevada velocidade de corte reduzem o empeno por acção do calor desenvolvido. Assim, as superfícies do corte são de aspecto metálico, mostram boa qualidade e regularidade. O uso de água reduz o impacto ambiental, cheiros, poeiras, ruído, sendo a emissão de radiações UV absorvida.

Todos os materiais condutores podem ser cortados por plasma. A qualidade do corte depende do tipo de material e do sistema de corte por plasma utilizado.

- Corte por laser

O laser é uma fonte de radiação visível que emite luz coerente monocromática. Para o corte de materiais é preferido o laser de CO<sub>2</sub>. A radiação laser é obtida por intermédio de uma mistura de dióxido de carbono, azoto e hélio que é excitada electricamente, sendo o gás de corte o oxigénio. Com uma lente na cabeça de corte, o feixe é focado sobre a superfície do material a cortar.

O raio laser é ideal para cortar materiais metálicos e não metálicos de pequena espessura. É o processo de corte térmico com maior qualidade e precisão. Apenas com máquinas que operam com controlo numérico é possível alcançar uma elevada velocidade e precisão de corte, sem defeitos e com pouca rugosidade. Com esta tecnologia é igualmente possível cortar chapas de grandes dimensões, de formas complexas e constituídas por materiais de alta resistência, dificilmente estampáveis.

- Corte por jacto de água

Existe uma grande variedade de materiais onde os processos de corte térmico não são aplicáveis por razões de ordem técnica e/ou económica. Tipicamente, o corte por jacto de água permite cortar uma grande variedade de metais e suas ligas como bronze, cobre, alumínio, aço macio e aço inoxidável. O material é cortado pela acção de um jacto de água de alta pressão, podendo também conter um abrasivo para facilitar a operação. Esta tecnologia permite uma grande exactidão de corte e uma boa qualidade superficial. Outras características vantajosas resultantes da sua aplicação são o material não ser afectado pelo calor e não serem necessárias operações de acabamento, sendo mantida a integridade estrutural do material.

No Quadro 11 é feita uma comparação entre os processos de corte térmico tecnologicamente mais avançados e o processo tradicional de oxi-corte (maçarico manual).

**Quadro 11** – Comparação das características técnico-económicas associadas às tecnologias de corte de chapa

	Plasma				Laser
	Oxi-corte manual	Tradicional	Longa vida	Alta definição	
<b>Investimento</b>	Baixo	Baixo-médio	Médio	Médio	Elevado
<b>Custos operacionais</b>	Relativamente baixos  Utiliza grande volume de gases	Baixos-elevados  Depende muito do tipo de gás seleccionado	Baixos-elevados  Depende muito do tipo de gás seleccionado	Baixos-elevados  Depende muito do tipo de gás seleccionado	Elevados  Consumos de gás e energia elevados  Componentes como espelhos e ópticas aumentam os custos
<b>Manutenção</b>	Simples  Pode ser feita pela empresa	Moderada  Geralmente pode ser feita pela empresa	Moderada  Geralmente pode ser feita pela empresa	Moderada  Geralmente pode ser feita pela empresa	Complexa  Requer técnicos especializados
<b>Espessuras</b> Aço aço inoxidável Alumínio	4.8 mm-30 mm Não Não	1.3 mm-76 mm 0.8 mm-12.7 mm 0.8 mm-15.2 mm	1.3 mm-76 mm 0.8 mm-76 mm 0.8 mm-76 mm	0.5 mm-12.7 mm 0.4 mm-12.7 mm 1.3 mm-12.7 mm	0.076 mm-19 mm 1 mm-16 mm 1 mm-16 mm
<b>Velocidade de corte</b>	Baixa para espessuras inferiores a 25.4 mm Aumenta para espessuras superiores a 51 mm	Altas velocidades de corte para todas as espessuras	Altas velocidades de corte para todas as espessuras  Melhor escolha para grandes espessuras	Maior velocidade com a melhor qualidade de corte na maior gama de espessuras  Ligeiramente mais lento que os processos tradicional e de longa vida	Mais rápido que o plasma em materiais muito finos (menos de 3.2 mm)
<b>Materiais</b>	Aço e titânio	Todos os materiais electricamente condutores	Todos os materiais electricamente condutores	Todos os materiais electricamente condutores	Metais
<b>Flexibilidade</b>	Limitada	Corta uma gama maior de espessuras para mais tipos de metais	Alta velocidade e precisão para cortar todos os materiais condutores	Maior que o laser Tolera oxidação, óleo e outras condições de superfície	Muito bom Pode ter dificuldade em superfícies altamente reflectoras
<b>Precisão</b>	0.8 mm	0.8 mm	0.8 mm	0.23 mm	0.076 mm
<b>Qualidade</b>	Média	Semelhante ao oxi-corte com controlo numérico	Semelhante ao oxi-corte com controlo numérico	Aproximada à do laser em material fino e semelhante ao oxi-corte à medida que a espessura aumenta	Melhor para chapas de espessura inferior a 6.4 mm

#### 4.1.2.4 Limpeza de superfícies com dióxido de carbono sólido

O sistema de limpeza com dióxido de carbono consiste na projecção de partículas de CO<sub>2</sub> sólido (-78°C) prensadas contra o objecto a limpar.

Durante o impacto com a superfície o CO<sub>2</sub>, em forma de *pellets*, passa ao estado gasoso, fragilizando as camadas de sujidade e separando-as do substrato por arrefecimento rápido, o que permite obter uma superfície completamente limpa.

Este processo provoca três efeitos físicos que permitem a limpeza das superfícies:

- Os *pellets* de CO<sub>2</sub> provocam o arrefecimento instantâneo da superfície do substrato, as impurezas aderentes fragilizam-se e perdem em parte aderência;
- Em virtude dos diferentes coeficientes de dilatação térmica do material do substrato e das impurezas a eliminar formam-se tensões mecânicas entre as duas partes;
- A velocidade de projecção do CO<sub>2</sub> provoca, durante o impacto, a passagem do CO<sub>2</sub> sólido a gasoso sem deixar resíduos. Aliada a esta transformação de fase, ocorre uma expansão imediata do volume ocupado pelo CO<sub>2</sub>. Em consequência desta transformação e do próprio impacto, as impurezas com uma aderência à superfície enfraquecida em função das tensões térmicas desprendem-se e são varridas pelo fluxo de gás.

Quanto menor for a espessura da camada de impurezas mais rápido será o arrefecimento, resultando daí maior capacidade de limpeza (os rendimentos óptimos obtêm-se para espessuras inferiores a 5 mm).

Esta tecnologia pode ser utilizada na limpeza de moldes e caixas de machos, limpeza de peças fundidas em substituição da granalha e peças soldadas, diminuindo em grande medida os resíduos de limpeza gerados por uma limpeza convencional. Outra das vantagens é a eliminação dos custos referentes à deposição, tratamento ou reciclagem do produto de limpeza (granalha, água, etc), visto que, com a aplicação desta tecnologia, somente as impurezas constituem o resíduo final. As partículas de CO<sub>2</sub> passam directamente do estado sólido para o gasoso sem se liquefazem.

## 5. ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÓMICA E DOS BENEFÍCIOS AMBIENTAIS

### 5.1 Estado Actual da Implementação das Tecnologias e Medidas de Prevenção no País

Apesar de muitas empresas cumprirem a legislação ambiental, existe muito a fazer no que diz respeito à Prevenção da Poluição dentro deste sector, sendo extremamente importante que exista um melhor conhecimento da realidade nacional, por forma a que se tomem as decisões fundamentais sobre as melhores vias de apoio às empresas. Este apoio deve abranger aspectos técnicos indispensáveis à avaliação correcta da escolha das tecnologias que melhor satisfaçam as suas necessidades e também dos aspectos ligados a incentivos financeiros ou a políticos de estímulo.

No Quadro 12 são resumidas as principais tecnologias ou medidas de Prevenção da Poluição existentes no País, identificando-se a sua importância e os principais constrangimentos de natureza técnica e económica à sua implementação.

**Quadro 12-** Identificação das características de algumas tecnologias e medidas de prevenção da poluição para o sector no País e respectivos constrangimentos para a sua implementação.

Tecnologia ou Medida	Importância Relativa	Difusão e Aplicação no Sector	Bloqueios e Constrangimentos
Aproveitamento de gitos como matéria prima para nova fusão	Elevada	Amplamente divulgada e aplicada na generalidade das empresas do sector .	Inadequado, quando a superfície das peças produzidas exige uma porosidade muito baixa. Nem sempre é possível aproveitar os gitos de material refundido.
Redução da perda de gito e aparas de metal por introdução de novos moldes	Elevada	Pouco divulgada e implementada no sector. Boas potencialidades de difusão no sector.	Com canais de alimentação mais estreitos, aumenta o risco de deficiente enchimento do molde, eventualmente
Bombas doseadoras de desmoldante utilizado na injeção, para reduzir o seu consumo e o de água	Pequena	Pouco comum. Conhecimento numa empresa do sector.	Aquisição de um número elevado de bombas, uma para cada máquina de fundição injectada.
Molde em poliestireno, recoberto com tinta refractária para moldação em areia, a qual pode ser reutilizada sem qualquer tratamento	Moderada	Pouco divulgada. Raramente aplicada em empresas deste sector no país. Potencialidade de difusão média.	Esta tecnologia está condicionada pelo tipo de metal a fundir. Utilizada na fundição de alumínio e ferro cinzento, existindo muitas limitações na sua utilização em ligas de ferro com baixo teor em carbono.
Fusão de metais em forno de indução	Elevada	Muito divulgada e bastante implementada no sector.	Custos de investimento em equipamento.
Limpeza de areias de fundição ferrosa contaminadas, por separação magnética	Moderada	Conhecida e aplicada em algumas pequenas empresas.	-

**Quadro 12 (cont.)** - Identificação das características de algumas tecnologias e medidas de prevenção da poluição para o sector e respectivos constrangimentos para a sua implementação.

<b>Tecnologia ou Medida</b>	<b>Importância Relativa</b>	<b>Difusão e Aplicação no Sector</b>	<b>Bloqueios e Constrangimentos</b>
Tratamento térmico de areias de fundição	Elevada	Pouco divulgada e muito pouco implementada (uma empresa)	Investimento muito elevado
Aspiração de poeiras com separação por “ciclone” a seco	Moderada	Muito divulgada e implementada nas empresas do sector.	Custos de aquisição e manutenção do equipamento.
Maquinagem com emulsão aplicada por micropulverização	Moderada	Divulgada e já aplicada em algumas empresas. Possibilidade de difusão no sector.	A aplicação desta tecnologia depende do tipo de material a maquinar e da exigência do acabamento.
Reutilização de óleos usados para lubrificar ferramentas	Pequena	Divulgada e aplicada em algumas empresas.	-
Sistema de separação e recolha selectiva de óleos	Elevada	Divulgada. Algumas empresas já possuem nas suas instalações, tanques de recolha selectiva.	-
Recuperação de emulsões por decantação	Elevada	Conhecida e implementada em algumas empresas.	Custos referentes à aquisição do equipamento.
Recuperação de emulsões por centrifugação	Elevada	Conhecida e implementada. Existe em algumas empresas do país.	Investimento elevado. Necessidade de manutenção.
Recuperação de emulsões por hidrociclonagem	Elevada	Pouco divulgada e pouco implementada em empresas do sector.	Investimento muito elevado.
Recuperação de emulsões por ultrafiltração	Elevada	Conhecida, mas pouco implementada em empresas do sector no país. Grande potencialidade de difusão.	Custos de investimento na aquisição do equipamento relativamente elevados. Exige manutenção das membranas de ultrafiltração.
Recuperação de óleos sintéticos por microfiltração	Elevada	Conhecida mas pouco implementada em empresas do sector no país. Possibilidade de difusão no sector.	Custos de investimento na aquisição do equipamento relativamente elevados. Exige manutenção das membranas de microfiltração.
Soldadura MIG-MAG	Moderada	Muito divulgada e amplamente aplicada nas empresas do sector.	Custos na aquisição do equipamento.
Soldadura TIG	Moderada	Muito divulgada e aplicada nas empresas do sector.	Custos associados ao investimento no equipamento e na aquisição dos gases. Não é aconselhável para espessuras muito finas.
Soldadura por plasma	Elevada	Pouco divulgada e pouco implementada nas empresas do sector. Possibilidade de difusão.	Elevado custo de investimento na aquisição do equipamento. Implica custos de manutenção.
Sistema de filtração nas máquinas, para separação das limalhas	Pequena	Muito divulgada. Implementada em praticamente todas as empresas do sector.	-
Corte por guilhotina	Pequena	Largamente divulgada e implementada no sector.	Não é aplicável a cortes com contornos de maior complexidade.
Oxicorte com CNC	Moderada	Largamente divulgada e implementada no sector	Menor melhoramento da rentabilidade da chapa. Necessidade de posterior rectificação.
Corte por plasma	Elevada	Divulgada e aplicada em algumas empresas. Possibilidade de difusão no sector.	Elevado investimento. Implica custos de manutenção. Não compensa quando são cortes rectos e formas convexas em relação à guilhotina.
Corte por laser	Elevada	Divulgada e aplicada em algumas empresas. Boas potencialidades de difusão dentro do sector.	Elevado investimento. Implica manutenção especializada. Não compensa quando são cortes rectos e formas convexas em relação à guilhotina.
Corte por jacto de água com abrasivo	Elevada	Pouco aplicada no país. Com potencialidades de difusão.	Elevado investimento. Exige custos de manutenção. Não compensa quando são cortes rectos e formas convexas em relação à guilhotina.

## **5.2 Tecnologias e Medidas de Potencial Aplicação: Descrição Técnica e Análise da Viabilidade.**

Das tecnologias de prevenção apresentadas, algumas vão ser descritas com maior detalhe, procurando evidenciar os benefícios e as condicionantes técnicas e económicas relativas à sua implementação.

As tecnologias avaliadas neste Guia são:

### Fundição de metais ferrosos e não ferrosos:

- Recuperação das areias de fundição por via térmica
- Introdução de novos moldes na fundição injectada

### Recuperação de fluidos de corte (emulsões) por aplicação de:

- Decantação com dispositivo de coalescência
- Centrifugação
- Hidrociclonagem
- Ultrafiltração

### Prolongamento do tempo de vida e recuperação de óleos semi-sintéticos por aplicação de:

- Evaporação por vácuo de óleos semi-sintéticos

### Rentabilização de chapa através de corte:

- Por oxicorte com controlo numérico
- Por plasma
- Por plasma de alta definição
- Por laser
- Por jacto de água com abrasivos

Os benefícios em termos ambientais e em termos económicos das tecnologias descritas neste Guia são apresentados comparativamente às tecnologias convencionais. Consideram-se, nos vários casos o investimento necessário para a aplicação da tecnologia, os custos inerentes à sua

implementação (incluindo a variação dos custos energéticos e de matérias primas) e os custos comparativos relativamente à deposição de resíduos e tratamento de efluentes.

Os dados de natureza técnica, assim como os preços e custos unitários, foram obtidos, tanto quanto possível, com base em dados dos fornecedores nacionais das tecnologias e das matérias primas para o sector. Contudo, em situações em que estes dados não estavam disponíveis no País, ou quando foi impossível obtê-los em tempo útil, utilizaram-se valores disponíveis de estudos efectuados em outros Países.

Relativamente aos custos de água e electricidade, foram considerados os preços médios praticados para a indústria, o mesmo se passando em relação aos custos de transporte e deposição de resíduos efectuado por empresas licenciadas. Nos casos em que os resíduos representam mais valias para as empresas, foram contabilizados os ganhos decorrentes da sua venda.

Salienta-se que a informação aqui contida deve ser interpretada com carácter indicativo (2000), devendo o industrial contactar os fornecedores para a obtenção de informações de maior detalhe e aplicadas à sua situação particular.

Refira-se ainda que nos dados económicos apresentados em cada uma das tecnologias são apenas comparados os custos que de alguma forma são relevantes para o caso em estudo.

### **5.2.1 Recuperação de areias de fundição por via térmica**

#### Identificação da tecnologia e objectivos da sua aplicação

A calcinação oxidante das areias utilizadas na fabricação de machos e moldes tem como objectivo a destruição das resinas e dos aglomerantes orgânicos, possibilitando a sua posterior reutilização no fabrico de machos e de moldes. Consegue-se deste modo, reduzir a quantidade de resíduo gerado na operação de desmoldação.

### Descrição técnica e avaliação dos benefícios

A recuperação de areias por via térmica processa-se geralmente por calcinação oxidante, em que a areia, em contacto com o oxigénio a temperaturas elevadas (700-800°C) permite a oxidação dos ligantes orgânicos (geralmente resinas fenólicas ou de poliuretano), com libertação de dióxido de carbono e água.

A aplicação desta tecnologia de recuperação da areia representa grandes benefícios ambientais já que, para além de possibilitar a diminuição de quantidades significativas de resíduos depositados em aterros, reduz também o ritmo de exploração de jazigos de areia. Ao não se efectuar este tipo de tratamento, grande parte da areia é considerada como resíduo, tendo como destino final a deposição em aterro.

No processo convencional de fabricação de moldes e machos, só a areia verde, que constitui uma pequena parte da areia após a desmoldação, poderá ser reutilizada sem tratamento. No entanto, nem toda a areia verde pode ser reutilizada no processo, uma vez que parte têm uma granulometria fora do intervalo admissível (da ordem de 100 a 220 µm), considerando-se portanto inadequada para o processo. A selecção desta fracção da areia faz-se geralmente por peneiração.

A percentagem de recuperação da areia com ligantes por via térmica pode atingir 95%. No entanto, é necessário a adição de areia nova, de modo a manter os níveis de permeabilidade adequados à libertação de gases.

### Avaliação económica

#### Investimento:

- Compra e instalação de um forno de leito fluidizado

#### Custos adicionais de produção:

- Custos adicionais devidos ao funcionamento do forno
- Custos adicionais de manutenção
- Custos adicionais de mão de obra

Benefícios:

- Poupança no consumo de areia nova
- Poupança nos custos inerentes à deposição das areias de machos e moldes com aglomerantes

No estudo aqui referido não se discriminam os custos operacionais, que incluem os custos relativos ao consumo dos combustíveis, e à operação, e à manutenção do forno. Esses valores estão incluídos nos custos totais, juntamente com o investimento. Devido à dificuldade de recolha de dados no País foi necessário transpô-los da literatura internacional (Profile of Metal Casting Industry,. EPA/310-R-97-004). No entanto, os custos da areia nova e da deposição dos resíduos em aterro foram obtidos de acordo com a realidade nacional.

No Quadro 13, apresenta-se a estimativa dos custos e benefícios para a implementação do forno de tratamento térmico referente ao tratamento de 2 350 t/ano de areias com ligantes orgânicos.

**Quadro 13** – Avaliação económica comparativa entre o processo convencional e o processo incluindo a recuperação de areia por via térmica. Base: 2 350 t/ano.

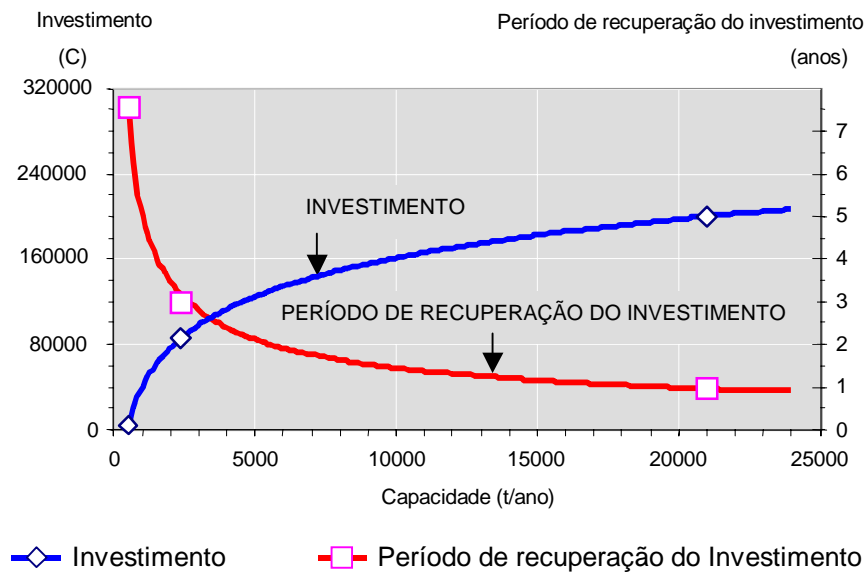
<b>Factor económico comparativo</b>	<b>Processo convencional</b>	<b>Recuperação de areia por via térmica</b>
Areia nova necessária (6 800\$/t)	15 980	799
Deposição de resíduos (6 000\$/t)	14 100	705
Total dos custos (contos/ano)	30 080	1 504
<b>Benefícios anuais</b> para 2 350 t (contos/ano) (Convencional – Processos avançado)		28 576
<b>Custos totais</b> (investimento, combustível e manutenção) (contos)		85 700
<b>Período de recuperação do Investimento</b>		<b>3 anos</b>

Um dos obstáculos à implementação desta tecnologia é o investimento elevado, apesar deste ser recuperável num período relativamente curto para determinadas capacidades de tratamento.

No Quadro 14 apresenta-se a avaliação económica do investimento para diferentes capacidades de tratamento. Verifica-se que há nítidos benefícios de escala, uma vez que para uma capacidade de tratamento de 26 000 t/ano, o investimento pode ser recuperado em cerca de 1 ano. Pelo contrário, quando esta capacidade se aproxima das 500 t/ano, este período alarga-se para cerca de 7 anos, tornando o investimento menos atractivo na óptica de curto/médio prazo.

**Quadro 14** – Avaliação económica comparativa para o processo, considerando várias capacidades de produção.

Factor económico comparativo	Quantidade de areia usada (t/ano)	Recuperação de areia por via térmica
<b>Benefícios anuais</b> (contos/ano)	500	5 930
	2 350	28 576
	21 000	200 000
<b>Custos totais</b> (Investimento e operação) (contos)	500	46 076
	2 350	85 700
	21 000	200 000
<b>Período de recuperação do Investimento</b>	500	7,6 anos
	2 350	3 anos
	21 000	1 ano



**Figura 24** - Análise do Investimento na recuperação de areias de fundição em leito fluidizado

Apresentou-se o caso em que a quantidade de areia tratada anualmente é muito elevada, na tentativa de demonstrar que o tratamento numa única instalação para várias empresas resultaria numa redução considerável do período de retorno do investimento.

## 5.2.2 Utilização de novos moldes na fundição injectada

### Identificação da medida e objectivos da sua aplicação

Utilização na fundição injectada de alumínio em moldes, em que os canais de alimentação e de ventilação possuem dimensões inferiores às dos moldes convencionais, conseguindo-se não só reduzir a quantidade de metal que é necessário para executar uma peça, mas também diminuir a quantidade de gito obtido no final da operação.

### Descrição técnica e avaliação dos benefícios

Na fundição injectada do alumínio, a liga metálica é geralmente fundida num forno independente da máquina de injeção. O metal fundido é posteriormente introduzido numa câmara de pressão e comprimido para o interior do molde por um pistão movido hidraulicamente.

A temperatura e a pressão exercida no pistão são variáveis extremamente importantes no processo de fundição. Assim, se a temperatura de trabalho for muito próxima da temperatura de fusão do metal ou se a pressão de injeção for baixa, este pode começar a solidificar no canal de alimentação e o enchimento do molde não é completo. Pelo contrário, se a temperatura for muito elevada, o tempo de arrefecimento é maior, diminuindo-se a produtividade da máquina de injeção. Existe uma temperatura óptima de trabalho.

Nesta alternativa, a concepção do molde permite que os canais de alimentação e de ventilação sejam mais estreitos que os convencionais, sendo necessária aplicar uma pressão mais elevada, da ordem dos 500-700 bar, para que o metal não solidifique no canal de alimentação antes de encher o molde.

A quantidade de gito na fabricação de uma peça varia muito com a forma da mesma, podendo estimar-se que ronda os 40-60% do peso total da peça bruta. Por aplicação destes novos moldes, pode-se conseguir uma redução da quantidade de gito na ordem dos 30-35%. Diminuindo o gito de 40-60% para 25-40% do peso total da peça.

O facto mencionado anteriormente para além da economia da matéria-prima e do consumo energético, traduz-se na redução da quantidade de escórias e dos custos referentes à eliminação dos resíduos.

No Quadro 15 são apresentados os valores referentes à quantidade de metal necessário para produzir 1 t de peças.

**Quadro 15** – Comparação do consumo de metal para produzir 1 t de peças no processo convencional e utilizando os novos moldes

Tecnologia	Convencional	Novos moldes	
	Quantidade (t)	Quantidade (t)	Redução (%) <sup>1</sup>
Metal necessário	1,5	1,35	10
Gito	0,5	0,35	30

<sup>1</sup> Relativo aos moldes convencionais

### Avaliação económica

#### Investimento:

- Compra de novos moldes

#### Custos adicionais de produção:

- Inexistentes, desde que o compressor existente na máquina de injeção atinja a pressão necessária.

#### Benefícios ou ganhos:

- Poupança no consumo da liga metálica
- Poupança nos custos energéticos
- Poupança nos custos de deposição dos resíduos

O investimento a considerar será a diferença de preços entre os moldes convencionais e os novos moldes. A poupança referente à deposição das escórias não é tida em conta nos cálculos apresentados.

No Quadro 16 são apresentados os benefícios e o investimento para a aplicação desta tecnologia.

As vantagens económicas tornam-se notórias pela análise dos dados apresentados no Quadro 16. No entanto, convém salientar a possibilidade destes valores oscilarem significativamente com o peso de cada peça, com a quantidade de peças produzidas por molde, e principalmente, com a quantidade de gito por peça.

**Quadro 16** – Avaliação económica comparativa entre o processo convencional e o processo de fundição com novos moldes. Base: 50 t/ano de peças produzidas.

Factor económico comparativo	Processo convencional	Novos moldes
Liga de metal (320\$/Kg)	24 000	21 600
Custos energéticos	105	95
Total dos custos (contos)	24 105	21 695
<b>Benefícios anuais</b> (contos/ano) (Convencional – Processos avançado)		2 410
Investimento (contos)	8 000	11 000
<b>Investimento adicional</b> <sup>1</sup> (contos)		3 000
<b>Período de recuperação do Investimento</b>		<b>1,3 anos</b>

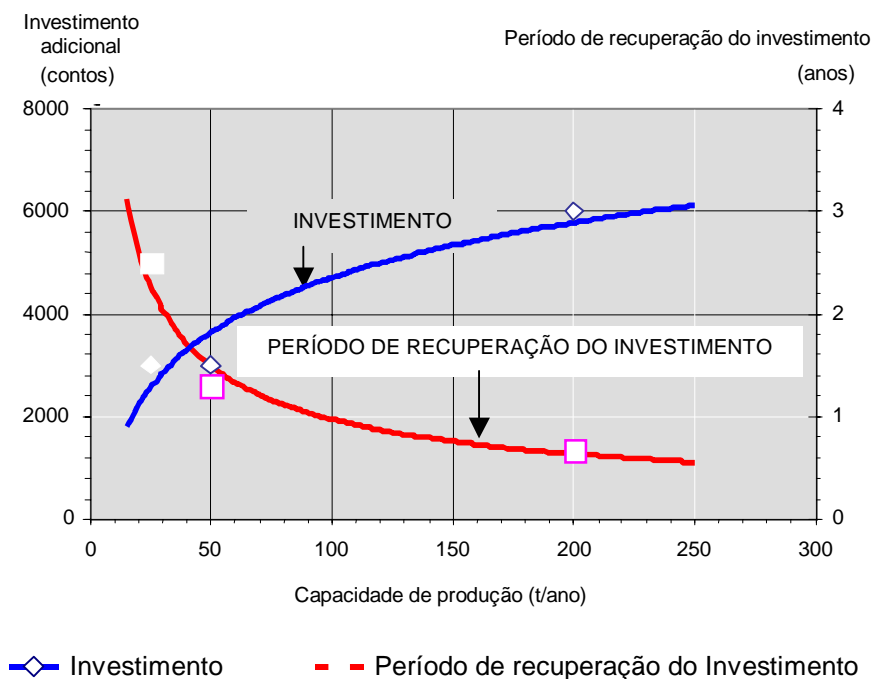
<sup>1</sup> Diferença entre o custo dos moldes novos e os convencionais

Efectuou-se um estudo semelhante para outras capacidades de produção, cujos resultados se apresentam no Quadro 17.

**Quadro 17** – Avaliação económica comparativa entre o processo convencional e o processo de fundição com novos moldes, para várias capacidades de produção.

Factor económico comparativo	Capacidade de produção	Novos moldes
<b>Benefícios anuais</b> (contos/ano)	25 t/ano	1 205
	50 t/ano	2 410
	200 t/ano	9 640
<b>Investimento adicional</b> (contos)	25 t/ano	3 000
	50 t/ano	3 000
	200 t/ano	6 000
<b>Período de recuperação do investimento</b>	25 t/ano	2,5 anos
	50 t/ano	1,3 anos
	200 t/ano	8 meses

Esta tecnologia, mesmo para empresas com uma capacidade produtiva baixa, revela-se bastante atractiva, apresentando um período de retorno do investimento relativamente pequeno.



**Figura 25** - Análise do Investimento na utilização de novos moldes em fundição injectada

### 5.2.3. Tecnologias de regeneração de emulsões de corte

Neste capítulo procede-se a avaliação técnica e económica das várias tecnologias para o tratamento e regeneração de emulsões de corte, apresentando-se os custos operatórios, os benefícios e os períodos de recuperação do investimento para várias capacidades de tratamento.

Existem vários cenários possíveis para a aplicação das tecnologias de regeneração de emulsões, ficando a cargo dos industriais escolher o cenário que lhes proporciona maiores vantagens, quer processuais, quer económicas. Algumas das opções são:

- Juntar a emulsão degradada de todas as máquinas, desde que possuam composições idênticas e efectuar o seu tratamento conjunto, podendo a regeneração ser efectuada durante o horário laboral ou pós-laboral. A escolha deste método de tratamento da emulsão requer, em determinadas situações, que a empresa possua em *stock* uma quantidade de emulsão nova correspondente à necessária para o funcionamento das máquinas durante o período de tratamento.

- Tratar a emulsão de uma forma faseada, ou seja dividir as máquinas em grupos, tratando separada e sequencialmente a emulsão no intervalo de tempo que medeia entre cada dois tratamentos. Dentro deste cenário existem ainda duas opções:

- Efectuar o tratamento durante o horário laboral. Neste caso, durante o tempo que demora a efectuar a regeneração, as máquinas cuja emulsão está a ser tratada têm de estar paradas, ou então a empresa tem de possuir emulsão em *stock* para substituição;
- Efectuar o tratamento no período pós-laboral (ex: fim de semana). Neste caso, não é necessário possuir uma reserva de emulsão. No caso de não existir a possibilidade de regenerar toda a emulsão no intervalo de tempo que medeia entre dois tratamentos é necessário que a empresa possua alguma emulsão nova (em menor quantidade do que no caso anterior).

O estudo económico apresentado para todas as tecnologias de regeneração de emulsões vai basear-se no tratamento da emulsão de forma faseada num período pós-laboral (fim de semana).

Em todos os casos, considerou-se uma emulsão constituída por 5% de óleo solúvel e 95% de água, a qual, ao deixar de poder ser utilizada, contém 20% do óleo livre e 30% do óleo emulsionado mecanicamente. Admitiu-se que 10% da emulsão era perdida por arrastamento nas peças e por evaporação.

As quantidades de emulsão consideradas referem-se não a valores anuais, mas à quantidade necessária para o processo de maquinagem. Considerou-se que sem a aplicação de tecnologia a emulsão necessitaria de ser substituída três vezes por ano.

### **5.2.3.1 Decantação com dispositivo de coalescência**

#### Identificação da tecnologia e objectivos da sua aplicação

A decantação aplicada às emulsões contaminadas e degradadas promove a separação dos componentes da mistura em três fases: (1) limalhas, partículas metálicas e óxidos(fase inferior); (2) óleos livres (fase sobrenadante); e, (3) emulsão (fase intermédia). Assim, a emulsão é recuperada e reencaminhada para o processo, após ajuste da composição. Deste modo, diminuiu-se o consumo de matérias primas e a quantidade de resíduo gerado.

### Descrição técnica e avaliação dos benefícios

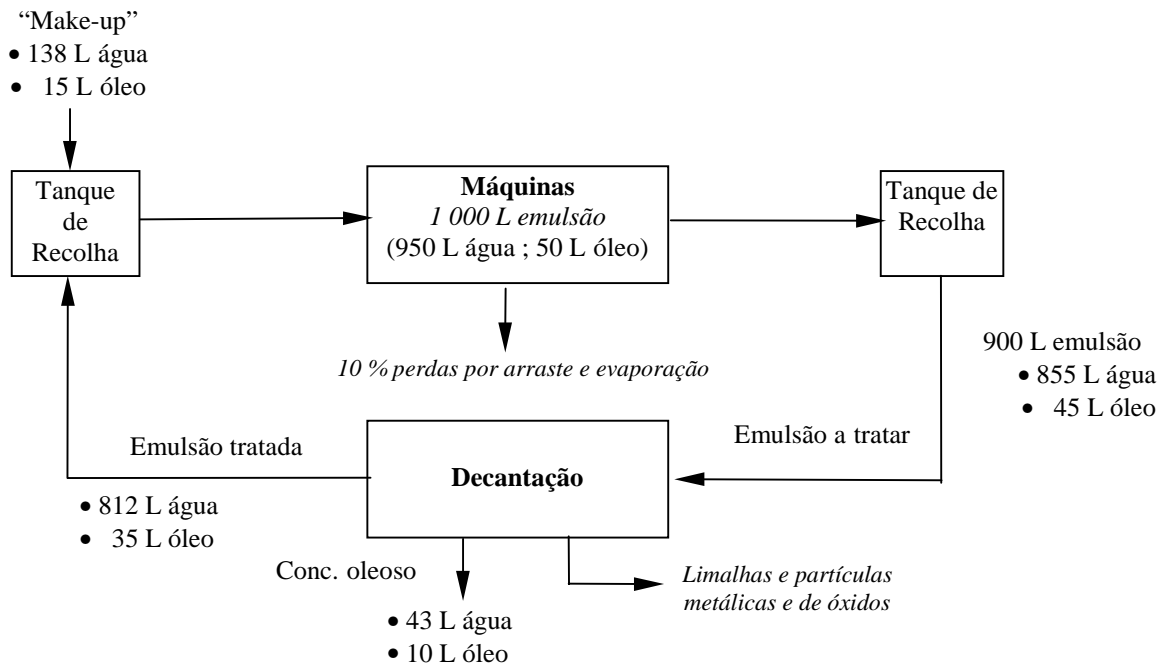
As emulsões, após a sua utilização nos processos de maquinagem, são introduzidas no decantador, onde após um tempo de permanência suficiente, se obtêm 3 fracções separadas graviticamente. A fracção inferior é rica em sólidos (ex: limalhas), a superior contém os óleos livres e a intermédia é constituída pela emulsão descontaminada que pode ser reciclada para a operação, com eventuais ajustes de composição. Esta operação pode ser conduzida contínua ou descontinuamente.

A utilização de um decantador com coalescência aumenta a eficiência da separação das gotículas de óleo dispersas na emulsão. Neste caso, a emulsão é obrigada a passar através de um meio coalescedor, cuja função é reter as gotículas de óleo durante o tempo necessário para que se formem gotas com dimensão suficiente para que ascendam à superfície, após passagem pelo meio. As gotas de óleo livre por serem menos densas que a emulsão, formam uma camada sobrenadante, a qual pode ser separadas por gravidade. O meio coalescedor é escolhido de forma a que seja preferencialmente molhado pela fase dispersa (neste caso polipropileno).

Da aplicação desta tecnologia resulta, para além dos benefícios ambientais devidos à redução da quantidade de resíduo, vantagens económicas, permitindo poupanças em termos de consumo de óleo e de água através da recuperação da emulsão, a qual só necessita de um reajuste na composição.

Na Figura 26 está esquematizado o processo de decantação com coalescência aplicado à recuperação de emulsões.

No Quadro 18 apresentam-se os quantitativos e a percentagem de redução do consumo de óleo e de água para preparar as emulsões no processo convencional (substituída três vezes por ano) e aplicando a decantação na recuperação das mesmas. Salienta-se que esta tecnologia pode remover até 95% do óleo livre, estimando-se que seja necessário efectuar o seu tratamento cinco vezes por ano.



**Figura 26** - Processo de Decantação para recuperação de emulsões. Base: 1 m<sup>3</sup> de emulsão.

**Quadro 18** – Comparação dos consumos entre o processo convencional e o processo que incorpora a aplicação da decantação à regeneração das emulsões.

Tecnologia	Convencional	Decantação	
	Quantidade (m <sup>3</sup> /ano)	Quantidade (m <sup>3</sup> /ano)	Redução (%) <sup>1</sup>
Água	2,85	0,69	76
Óleo	0,15	0,075	50
Resíduo	2,7	0,27	90

<sup>1</sup> Relativo ao convencional (não efectuar nenhum tratamento)

### Avaliação económica

#### Investimento:

- Compra da unidade de decantação
- Custo do inventário de emulsão

#### Custos adicionais:

- Custos de energia associados à bomba de alimentação do decantador
- Custos de aditivos (biocidas e controladores de pH)
- Custos de mão de obra adicional
- Custos de manutenção do equipamento (não considerados)

Benefícios:

- Poupança nos constituintes da emulsão (água e óleo)
- Poupança nos custos de escoamento e/ou tratamento do resíduo em ETAR

Os custos referentes à mão de obra adicional correspondem ao trabalho efectuado por um operário durante os fins de semana necessários para o tratamento da emulsão. E os custos referentes aos resíduos correspondem ao seu escoamento por empresas licenciadas.

No Quadro 19 apresenta-se a estimativa dos custos e benefícios da aplicação da decantação com coalescência para o tratamento de 5 m<sup>3</sup> de emulsão, efectuado 5 vezes ao ano. Considerou-se que, sem a tecnologia implementada, a emulsão é substituída obrigatoriamente 3 vezes por ano.

**Quadro 19** - Avaliação económica comparativa entre o processo convencional e o processo com aplicação da decantação. Base: 5 m<sup>3</sup> de emulsão, com um caudal de 150l/h.

Factor económico comparativo	Processo convencional	Decantação
Constituintes da emulsão <sup>1</sup>	620	320
Custos de aditivos (1700\$/l) <sup>2</sup>		9
Mão de obra adicional (852\$/h)	-	128
Custos energéticos (15\$/Kwh)	-	0,7
Escoamento de resíduos (30\$/Kg)	414	37
Total dos custos (contos/ano)	1 034	495
<b>Benefícios expectáveis</b> (contos/ano) (Convencional – Processos avançados)		539
<b>Investimento</b> (equip. e emulsão) (contos)		608
<b>Período de recuperação do Investimento</b>		<b>1,1 anos</b>

<sup>1</sup> Custo baseado nos preços da água (100\$/m<sup>3</sup>) e do óleo (823\$/l)

<sup>2</sup> Biocidas e controladores de pH

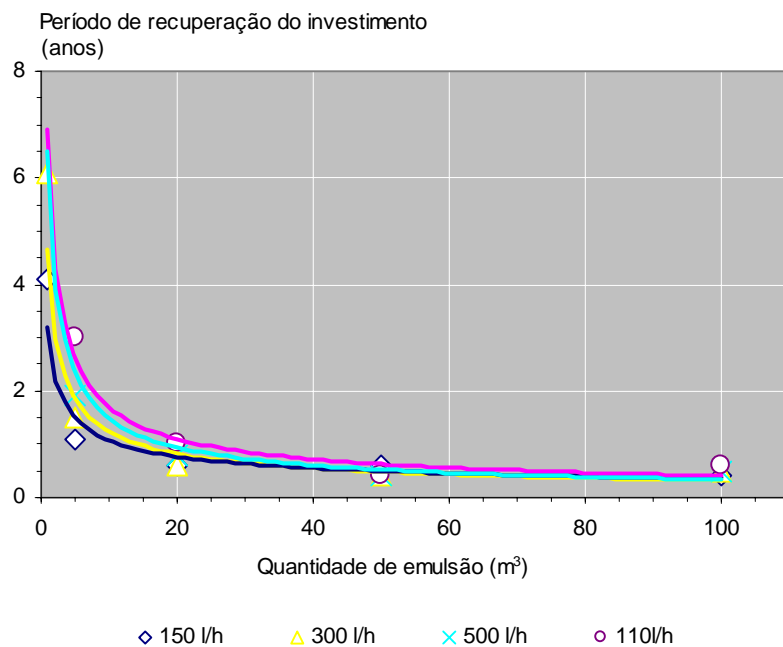
Por análise dos dados económicos apresentados, pode verificar-se que o investimento necessário para a implementação desta tecnologia é rapidamente recuperado, sendo a poupança em termos de custos relativos ao escoamento dos resíduos por empresas licenciadas a que mais contribui para este facto.

No Quadro 20 apresenta-se a avaliação económica do investimento para várias quantidades de emulsão, utilizando para o seu tratamento decantadores com diferentes caudais.

**Quadro 20** - Avaliação económica comparativa entre o processo convencional e o processo com implementação da decantação para várias quantidades de emulsão e para vários caudais.

Factor económico comparativo	Quantidade de emulsão <sup>1</sup>	Caudal de emulsão tratada			
		150 l/h	300 l/h	550 l/h	1 100 l/h
<b>Benefícios anuais</b> (contos/ano)	1 m <sup>3</sup>	108	124	128	-
	5 m <sup>3</sup>	539	619	642	656
	20 m <sup>3</sup>	2 170	2 476	2 570	2 625
	50 m <sup>3</sup>	5 423	6 190	6 423	6 562
	100 m <sup>3</sup>	10 845	12 380	12 845	13 125
<b>Investimento</b> (contos)	1 m <sup>3</sup>	441	752	1 046	-
	5 m <sup>3</sup>	608	918	1 212	1 944
	20 m <sup>3</sup>	1 230	1 540	1 834	2 566
	50 m <sup>3</sup>	3 304	2 785	3 080	3 810
	100 m <sup>3</sup>	4 591	5 897	5 154	5 885
<b>Período de recuperação de Investimento</b>	1 m <sup>3</sup>	4,1 anos	6,1 anos	8,1 anos	-
	5 m <sup>3</sup>	1,1 anos	1,5 anos	1,9 anos	3 anos
	20 m <sup>3</sup>	7 meses	7 meses	9 meses	1 ano
	50 m <sup>3</sup>	7 meses	5 meses	5 meses	5 meses
	100 m <sup>3</sup>	5 meses	5 meses	6 meses	5 meses

<sup>1</sup>É necessário salientar que esta quantidade de emulsão no processo convencional é substituída 3 vezes por ano. No caso de aplicação da tecnologia (decantação), essa substituição não é efectuada integralmente, sendo necessário no entanto, fazer o seu tratamento 5 vezes por ano.



**Figura 27** – Evolução do período de recuperação do investimento na decantação em função do volume de emulsão a tratar para as várias opções de caudais de emulsão tratada.

Verifica-se pela análise dos dados económicos apresentados no Quadro 20 e na Figura 27 que, para pequenas quantidades de emulsão, é muito mais vantajoso a empresa adquirir um decantador com um caudal baixo, sendo o período de recuperação do investimento relativamente curto. Para quantidades de emulsão elevadas não se verificam diferenças significativas em termos do período de recuperação do investimento para os diferentes caudais. No entanto, o tratamento de grandes quantidades de emulsão num decantador com um baixo caudal implica que a empresa possua uma quantidade de emulsão nova para substituir a emulsão em tratamento.

### **5.2.3.2 Centrifugação de emulsões**

#### Identificação da tecnologia e objectivos da sua aplicação

O processo de centrifugação separa os óleos livres e as partículas metálicas/sólidos das emulsões de corte, tornando possível a sua reutilização, após ter sido adicionada a quantidade de produtos necessária para repor a concentração inicial

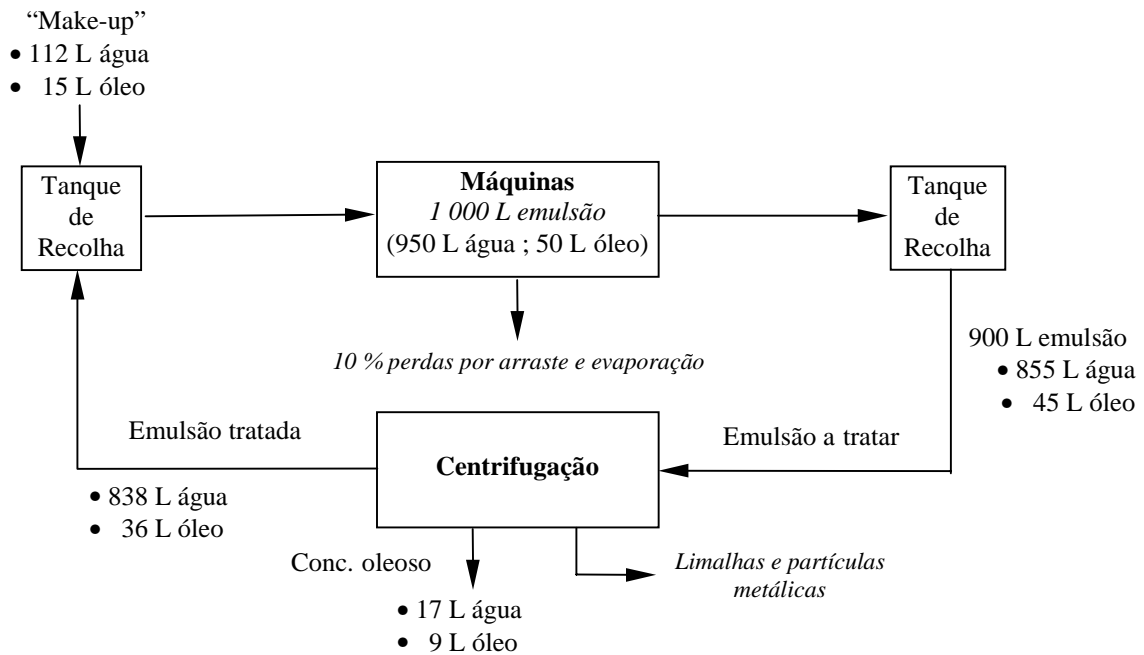
#### Descrição técnica e avaliação dos benefícios

As emulsões ao degradarem-se pela existência de óleos livres e sólidos em suspensão, são levadas a uma centrifuga, na qual se separa a emulsão propriamente dita dos sólidos e dos óleos livres. Esta separação consegue-se devido às diferenças de densidade existentes entre os constituintes da mistura. A emulsão após separação pode ser novamente utilizada no processo de maquinagem após a acerto da composição.

Por isso, a quantidade de resíduo (emulsão degradada) é reduzida drasticamente e conseqüentemente os custos associados à sua eliminação.

A centrifugação pode prolongar de 4 a 6 vezes a vida da emulsão, sendo mais eficiente do que a decantação. Com este processo, consegue-se remover praticamente 98% do óleo livre presente.

Na Figura 28 representa-se o diagrama do processo de tratamento das emulsões por aplicação de centrifugação, bem como o balanço de materiais para uma situação específica em que existe um inventário de emulsão de 1000 l.



**Figura 28** - Processo de Centrifugação para recuperação de emulsões. Base: 1 m<sup>3</sup> de emulsão tratada.

No Quadro 21 apresentam-se as percentagens de redução de consumo dos constituintes da emulsão e da redução dos resíduos por aplicação desta tecnologia para 1 m<sup>3</sup> de emulsão inicial. Considera-se que a emulsão é substituída 3 vezes ao ano no processo convencional, e é tratada 4 vezes por ano por aplicação da centrifugação.

**Quadro 21** - Comparação dos consumos entre o processo convencional e o processo que incorpora a aplicação da centrifugação à regeneração das emulsões degradadas.

Tecnologia	Convencional	Centrifugação	
	Quantidade (m <sup>3</sup> /ano)	Quantidade (m <sup>3</sup> /ano)	Redução (%) <sup>1</sup>
Água	2,85	0,45	84
Óleo	0,15	0,06	60
Resíduo	2,7	0,11	96

<sup>1</sup> Relativo ao convencional (não efectuar nenhum tratamento)

## Avaliação económica

### Investimento:

- Compra do equipamento
- Custo do inventário de emulsão

### Custos adicionais:

- Custos de energia associados ao funcionamento do equipamento
- Custos de aditivos (biocidas e controladores de pH)
- Custos de manutenção do equipamento
- Custos de mão de obra adicional

### Benefícios ou ganhos:

- Poupança nos constituintes da emulsão (água e óleo)
- Poupança nos custos de tratamento ou deposição do resíduo

Os custos referentes à mão de obra adicional correspondem ao trabalho efectuado por um operário durante os fins de semana necessários para o tratamento da emulsão. E os custos referentes aos resíduos correspondem ao seu escoamento por empresas licenciadas.

No Quadro 22 apresentam-se as estimativas dos custos e dos benefícios para a aplicação da centrifugação à regeneração de 5 m<sup>3</sup> de emulsão.

**Quadro 22-** Avaliação económica comparativa entre o processo convencional, e os processos que incorporam uma centrífuga. Base: 5 m<sup>3</sup> de emulsão e caudal de emulsão tratada de 250l/h.

<b>Factor económico comparativo</b>	<b>Processo convencional</b>	<b>Centrifugação</b>
Constituintes da emulsão <sup>1</sup>	619	240
Custos dos aditivos (1700\$/l) <sup>2</sup>		16.6
Custos energéticos (15\$/Kwh)	-	2.4
Escoamento de resíduos (30\$/Kg)	373	14.6
Mão de obra adicional (852\$/h)	-	61.4
Total dos custos (contos /ano)	992	335
<b>Benefícios expectáveis</b> (contos /ano) (Convencional – Processos avançados)		657
<b>Investimento</b> (equip. e emulsão) (contos)		2 207
<b>Período de recuperação do Investimento</b>		3,4 anos

<sup>1</sup> Custo baseado nos preços da água (100\$/m<sup>3</sup>) e do óleo (823\$/l)

<sup>2</sup> Biocidas e controladores de pH

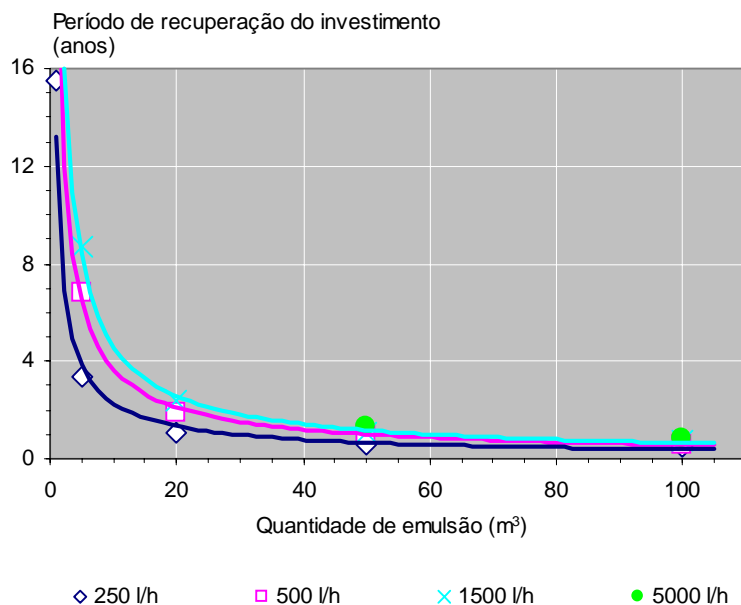
Por análise dos dados económicos apresentados no Quadro 22, pode verificar-se que o investimento necessário para a implementação de uma unidade de centrifugação é recuperável em pouco mais de 3 anos, tendo esta tecnologia não só benefícios ambientais como um prazo de retorno do investimento que ainda se pode considerar atractivo. Os principais factores de poupança são a redução do consumo de óleo integrante da emulsão e dos custos relativos ao escoamento dos resíduos.

No Quadro 23 apresenta-se a avaliação económica do investimento para várias quantidades de emulsão, utilizando para o seu tratamento centrifugas com diferentes caudais de emulsão tratada.

**Quadro 23** - Avaliação económica comparativa entre o processo convencional, sem aplicação da tecnologia e com implementação da centrifugação para várias quantidades e para vários caudais de emulsão tratada.

Factor económico comparativo	Quantidade de emulsão <sup>1</sup>	Caudal de emulsão tratada			
		250 l/h	500 l/h	1 500 l/h	5 000 l/h
<b>Benefícios anuais</b> (contos/ano)	1 m <sup>3</sup>	131	138	-	-
	5 m <sup>3</sup>	657	688	710	-
	20 m <sup>3</sup>	2 628	2 753	2 840	-
	50 m <sup>3</sup>	6 569	6 883	7 100	7 170
	100 m <sup>3</sup>	13 138	13 766	14 197	14 340
<b>Investimento</b> (contos)	1 m <sup>3</sup>	2 041	4 512	-	-
	5 m <sup>3</sup>	2 208	4 708	6 208	-
	20 m <sup>3</sup>	2 830	5 330	6 830	-
	50 m <sup>3</sup>	4 075	6 575	8 075	9 575
	100 m <sup>3</sup>	6 190	8 650	10 150	11 650
<b>Período de recuperação de Investimento</b>	1 m <sup>3</sup>	15,5 anos	-	-	-
	5 m <sup>3</sup>	3,4 anos	6,8 anos	8,7 anos	-
	20 m <sup>3</sup>	1,1 anos	1,9 ano	2,4 anos	-
	50 m <sup>3</sup>	7 meses	1 ano	1,1 anos	1,3 anos
	100 m <sup>3</sup>	6 meses	7 meses	9 meses	10 meses

<sup>1</sup>É necessário salientar que esta quantidade de emulsão no processo convencional é substituída 3 vezes por ano. . No caso de aplicação da tecnologia, essa substituição não é efectuada integralmente, sendo necessário no entanto, fazer o seu tratamento 4 vezes por ano na centrifugação.



**Figura 29** – Evolução do período de recuperação do investimento na centrifugação em função do volume de emulsão para vários caudais de emulsão tratada

Por análise do Quadro 23 e Figura 29 verifica-se que para pequenas empresas, que utilizam quantidades pequenas de emulsão ( $\leq 1\text{m}^3$ ) a centrifugação não se revela uma tecnologia muito atractiva do ponto de vista económico (pelo menos para os caudais apresentados), devido não só ao investimento necessário, mas, principalmente, pelo seu longo período de recuperação. Para empresas que necessitem de utilizar quantidades superiores a  $5\text{m}^3$  a utilização desta tecnologia como via de regeneração de emulsões já apresenta algum atractivos.

A hidrociclonagem é uma tecnologia que pode ser aplicada à regeneração de emulsões de corte. Esta tecnologia apresenta sensivelmente as mesmas vantagens e eficiências da separação por centrifugação. No entanto, do ponto de vista económico, a hidrociclonagem não apresenta os mesmos atractivos que a centrifugação, devido fundamentalmente ao investimento necessário para a sua implementação. Por exemplo, para um caudal de 1 500 l/h um hidrociclone custa 34 mil contos.

### 5.2.3.3 Ultrafiltração de emulsões

#### Identificação da tecnologia e objectivos da sua aplicação

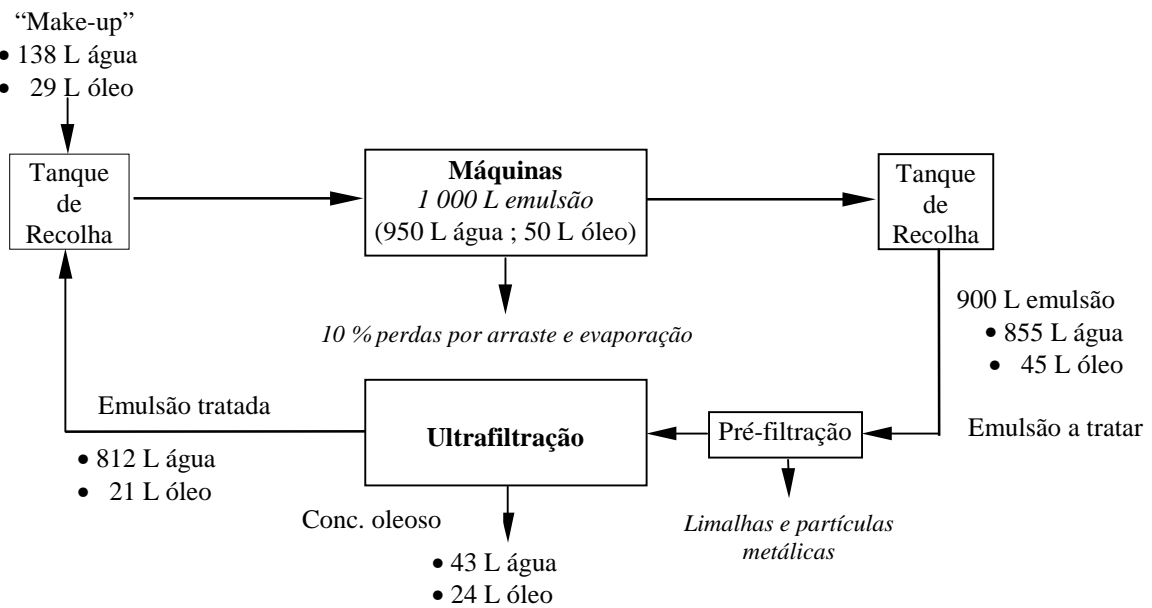
A ultrafiltração é um processo que permite a separação de moléculas consoante a sua dimensão, através do uso de membranas. Esta tecnologia permite reter praticamente todos os óleos livres e emulsionados mecanicamente, separando-se a emulsão química num fluxo distinto (permeado).

#### Descrição técnica e avaliação dos benefícios

A ultrafiltração aplicada à regeneração das emulsões de corte permite reter gotículas de pequena dimensão de óleos e gorduras, e mesmo algumas bactérias, ao mesmo tempo que a emulsão química, ao atravessar a superfície das membranas, se separa num fluxo reciclável para o processo. Esta técnica permite igualmente a reutilização de águas de lavagem de desengorduramento contaminadas com óleos e gorduras. No caso das emulsões, o permeado é constituído por 95% da emulsão, sendo a parte restante retida na forma de um concentrado. O permeado após o reajuste da sua composição, constitui a emulsão que retorna ao processo. O concentrado oleoso, resultante dos óleos livres e dos emulsionados mecanicamente, constitui o resíduo propriamente dito.

É de salientar que a emulsão contaminada deve passar previamente através de um filtro antes da sua alimentação ao sistema de ultrafiltração para que as limalhas e outras partículas sólidas fiquem retidas, minimizando-se deste modo a degradação das membranas e/ou a sua colmatação prematura.

Na Figura 30 apresenta-se esquematicamente o diagrama e o balanço de materiais correspondentes ao processo de ultrafiltração aplicado a 1000 l de emulsão.



**Figura 30** - Processo de Ultrafiltração para recuperação de emulsões. Base: 1 m<sup>3</sup> de emulsão.

No Quadro 24 comparam-se os consumos e a percentagem de redução em termos de água, óleo e resíduos correspondentes à situação convencional e à resultante da aplicação da ultrafiltração.

**Quadro 24** - Comparação entre o processo convencional e o processo com a aplicação da ultrafiltração à regeneração das emulsões. Base: 1m<sup>3</sup>; substituição da emulsão 3 vezes/ano na situação convencional; tratamento por ultrafiltração 3 vezes/ano

Tecnologia	Convencional	Ultrafiltração	
	Quantidade (m <sup>3</sup> /ano)	Quantidade (m <sup>3</sup> /ano)	Redução (%) <sup>1</sup>
Água	2,85	0,41	86
Óleo	0,15	0,09	40
Resíduo	2,7	0,20	93

<sup>1</sup> Relativo ao convencional (não efectuando nenhum tratamento)

### Avaliação económica

#### Investimento:

- Compra do equipamento de ultrafiltração, incluindo filtro de sólidos e bombas
- Custo do inventário de emulsão

#### Custos adicionais:

- Custos de energia associados ao funcionamento do equipamento de ultrafiltração
- Custos de aditivos (biocidas e controladores de pH)
- Custos de manutenção do equipamento
- Custos de mão de obra adicional

Benefícios:

- Poupança nos constituintes da emulsão (água e óleo)
- Poupança nos custos de tratamento ou deposição do resíduo

Os custos referentes à mão de obra adicional correspondem ao trabalho efectuado por um operário durante os fins de semana necessários para o tratamento da emulsão. E os custos referentes aos resíduos correspondem ao seu escoamento por empresas licenciadas.

A aquisição de um equipamento de ultrafiltração implica um investimento relativamente elevado. Esta tecnologia revela-se mais vantajosa para empresas que tenham uma grande capacidade produtiva e, conseqüentemente, origem grandes quantidades de emulsão para tratamento. Obtêm-se assim poupanças nos custos da emulsão e nos custos associados ao escoamento do resíduo.

No Quadro 25 apresenta-se a estimativa dos custos e dos benefícios resultantes da aplicação da ultrafiltração ao processamento de 5 m<sup>3</sup> de emulsão. O cálculo assenta no pressuposto de que a emulsão é tratada 3 vezes por ano, ou substituída com a mesma frequência na situação convencional.

**Quadro 25** - Avaliação económica comparativa entre a situação convencional (sem regeneração da emulsão) e a situação resultante da implementação da ultrafiltração. Base: 5 m<sup>3</sup> de emulsão, caudal de permeado 50l/h.

<b>Factor económico comparativo</b>	<b>Processo convencional</b>	<b>Ultrafiltração</b>
Constituintes da emulsão <sup>1</sup>	619	354
Custo dos aditivos (1700\$/l) <sup>2</sup>	-	25
Custos energéticos (15\$/Kwh)	-	9
Escoamento de resíduos (30\$/Kg)	414	27
Mão de obra adicional (852\$/h)	-	230
<b>Total dos custos (contos/ano)</b>	<b>1 033</b>	<b>645</b>
<b>Benefícios expectáveis (contos/ano)</b> (Convencional – Processos avançados)		388
<b>Investimento (contos)</b>		2 707
<b>Período de recuperação do Investimento</b>		<b>7 anos</b>

<sup>1</sup> Custo baseado nos preços da água (100\$/m<sup>3</sup>) e do óleo (823\$/l)

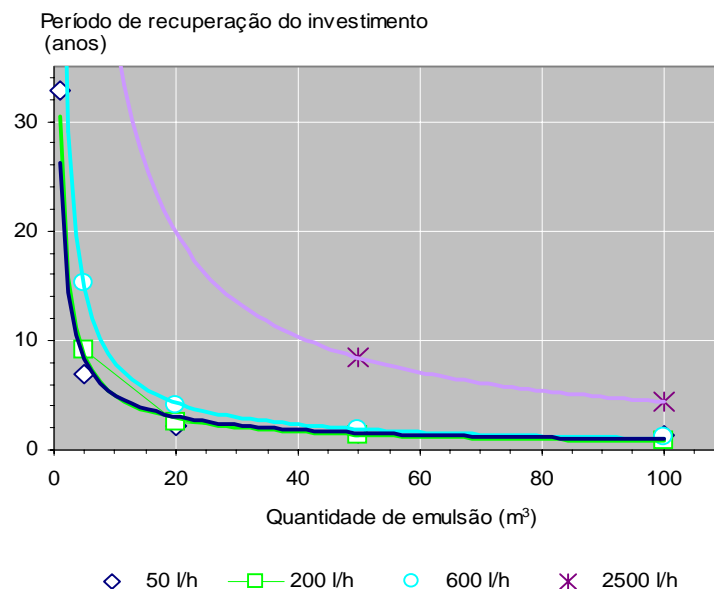
<sup>2</sup> Biocidas e controladores de pH

No Quadro 26 apresenta-se a comparação dos benefícios anuais, para além do valor do investimento e do respectivo período de retorno para os casos da aplicação da ultrafiltração com base em diferentes capacidades de tratamento.

**Quadro 26** - Avaliação económica comparativa entre o processo convencional, sem aplicação da tecnologia e com implementação da ultrafiltração para várias quantidades de emulsão e vários caudais de permeado.

Factor económico comparativo	Quantidade de emulsão	Caudal de permeado			
		50 l/h	200 l/h	600 l/h	2 500 l/h
<b>Benefícios anuais</b> (contos/ano)	1 m <sup>3</sup>	78	113	-	-
	5 m <sup>3</sup>	388	565	604	-
	20 m <sup>3</sup>	1 552	2 262	2 415	-
	50 m <sup>3</sup>	3 880	5 655	6 040	6 200
	100 m <sup>3</sup>	7 758	11 310	12 078	12 400
<b>Investimento</b> (contos)	1 m <sup>3</sup>	2 541	5 042	-	-
	5 m <sup>3</sup>	2 707	5 208	9 207	-
	20 m <sup>3</sup>	3 413	5 830	9 830	-
	50 m <sup>3</sup>	5 985	7 075	11 075	52 075
	100 m <sup>3</sup>	9 720	10 643	13 150	54 150
<b>Período de recuperação do Investimento</b>	1 m <sup>3</sup>	32,8 anos	-	-	-
	5 m <sup>3</sup>	7 anos	9,2 anos	15,2 anos	-
	20 m <sup>3</sup>	2,2 anos	2,6 anos	4,1 anos	-
	50 m <sup>3</sup>	1,5 anos	1,3 anos	1,8 anos	8,4 anos
	100 m <sup>3</sup>	1,3 anos	11 meses	1,1 anos	4,4 anos

No caso de grandes empresas que utilizam quantidades elevadas de emulsão, a ultrafiltração revela-se a tecnologia mais adequada, dada a qualidade da emulsão regenerada, ao mesmo tempo que os indicadores económicos reflectem situações atractivas de investimento.



**Figura 31** – Evolução do período de recuperação do investimento na tecnologia da ultrafiltração em função do volume de emulsão para vários caudais de permeado

Apesar do período de retorno do investimento ser bastante atractivo para o tratamento de quantidades elevadas de emulsão para qualquer dos caudais apresentados, tem de se salientar que do ponto de vista operativo, para além do tempo necessário para a regeneração das emulsões, existem muito mais problemas no tratamento de quantidades elevadas de emulsão numa ultrafiltração com um caudal de permeado baixo, devido à fácil colmatção das membranas. Deste modo, é conveniente a aquisição de uma ultrafiltração com um caudal de permeado mais elevado para as empresas que utilizam grandes volumes emulsão.

#### **5.2.4. Evaporação em vácuo de óleos semi-sintéticos**

##### Identificação da tecnologia e objectivos da sua aplicação

A evaporação em vácuo é uma técnica aplicada aos óleos semi-sintéticos que, por excessiva contaminação; perderam as características necessárias para uma boa maquinagem. Dado que os óleos degradados já não são capazes de desempenhar a sua função, a evaporação da água permite reutiliza-la e simultaneamente reduzir a quantidade de resíduo oleoso.

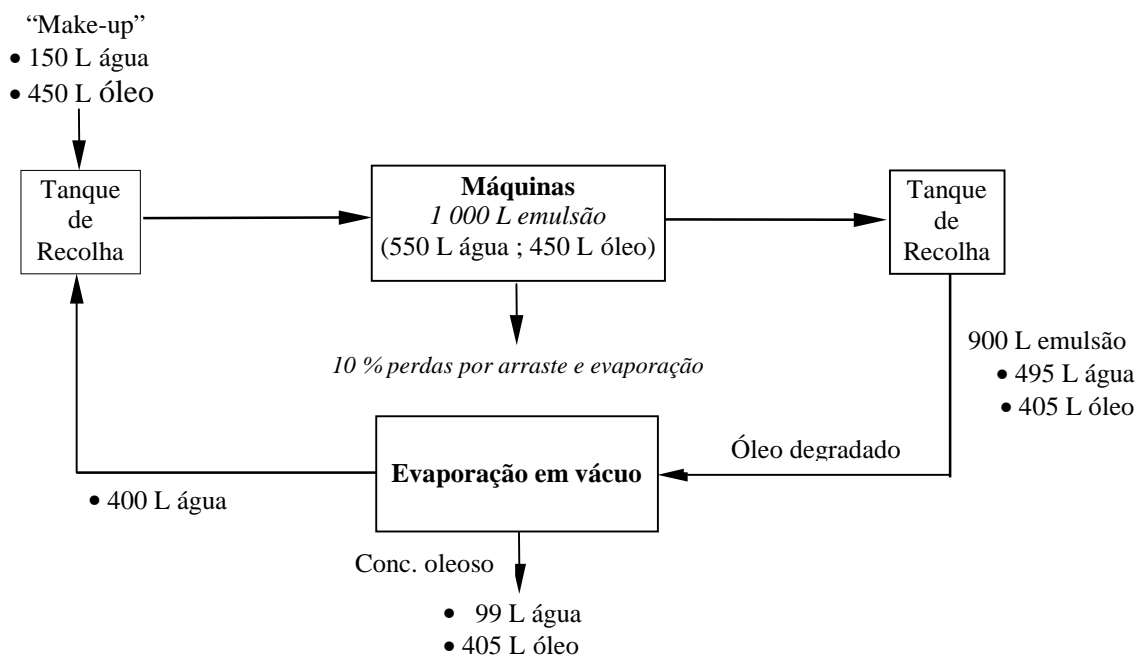
##### Descrição técnica e avaliação dos benefícios

Os óleos de corte semi-sintéticos que inicialmente formam misturas com a água que são parcialmente soluções verdadeiras e parcialmente emulsões vão-se degradando ao longo das operações de maquinagem até perderem as características necessárias a uma bom desempenho, sendo necessário proceder à sua substituição ou tratamento.

A aplicação da evaporação em vácuo permite obter um concentrado oleoso, que constitui o resíduo propriamente dito, enquanto que a água evaporada é reaproveitada, entrando novamente no processo como constituinte de uma nova mistura com os óleos semi-sintéticos.

Com a aplicação desta tecnologia consegue-se uma recuperação da água de cerca de 80%, e uma redução de resíduo de aproximadamente 44%, reduzindo-se desta forma substancialmente o seu volume e custos inerentes ao seu escoamento ou tratamento em ETAR.

Na Figura 32, apresenta-se esquematizado o processo de Evaporação em vácuo de óleos semi-sintéticos.



**Figura 32** - Processo de Evaporação em vácuo, para recuperação de água de misturas de óleos semi-sintéticos. Base: 1 m<sup>3</sup> de mistura de óleos semi-sintéticos tratada.

Para o estudo que se segue considerou-se um volume de emulsão de 1 m<sup>3</sup>, substituído (sem aplicação de tecnologia) ou tratado (com tecnologia) 2 vezes por ano. Os quantitativos apresentam-se no Quadro 27

**Quadro 27** - Comparação entre os consumos anuais do processo convencional e do processo resultante da aplicação da evaporação em vácuo aos resíduos de maquinaria.

Tecnologia	Convencional	Evaporação	
	Quantidade (m <sup>3</sup> /ano)	Quantidade (m <sup>3</sup> /ano)	Redução (%) <sup>1</sup>
Água	1,1	0,3	73
Óleo	0,9	0,9	0
Resíduo	1,8	1,0	44

<sup>1</sup> Relativo ao convencional (não efectuar nenhum tratamento)

Avaliação económicaInvestimento:

- Compra do equipamento

Custos adicionais:

- Custos de energia associados ao funcionamento do equipamento
- Custos da mistura de óleos semi-sintéticos

Benefícios ou ganhos:

- Poupança nos custos de escoamento ou tratamento do resíduo em ETAR
- Poupança no consumo de água

Considerou-se que a mistura de óleos semi-sintéticos continha 45% de óleo e que através do processo de evaporação era possível recuperar 80% de água. Toda a água recuperada é reutilizada na preparação de uma nova mistura. Durante as operações de maquinagem admitiu-se haver uma perda de 10% da mistura devido ao arrastamento nas peças.

No Quadro 28 apresenta-se a estimativa dos custos e benefícios para a implementação da tecnologia em causa, válidos para o processamento de 10 m<sup>3</sup> de mistura de óleos semi-sintéticos.

**Quadro 28** - Avaliação económica comparativa entre o processo convencional, sem aplicação da tecnologia e com implementação do evaporador.

Base: 10 m<sup>3</sup> de óleos semi-sintéticos substituídos ou tratado 2 vezes ao ano.

<b>Factor económico comparativo</b>	<b>Processo convencional</b>	<b>Evaporação</b>
Constituintes do óleo (1000\$/l) <sup>1</sup>	9 000	9 000
Custos energéticos (15\$/kwh)	-	37
Escoamento de resíduos (30\$/Kg)	497	276
Total dos custos (contos /ano)	9 497	9 313
<b>Benefícios expectáveis</b> (contos /ano) (Convencional – Processos avançados)		184
<b>Investimento</b> (contos)		5 500
<b>Período de recuperação do Investimento</b>		30 anos

<sup>1</sup> Correspondente ao óleo semi-sintético e água

Por análise dos dados apresentados no Quadro 28, pode-se concluir que a implementação desta tecnologia não é atractiva para esta quantidade de óleo, sendo o período de retorno de 30 anos e o tempo de vida do evaporador de 20 anos.

Para outras quantidades de óleo, nomeadamente 50 e 200 m<sup>3</sup>, realizou-se o mesmo tipo de estudo, cujos resultados se encontram resumidos no Quadro 29.

**Quadro 29** – Avaliação económica comparativa entre o processo convencional e o processo de evaporação por vácuo, para várias quantidades de óleo (mudados 2 vezes ao ano)

Factor económico comparativo	Quantidade de óleo	Evaporação
<b>Benefícios anuais</b> (contos /ano)	10 m <sup>3</sup>	184
	50 m <sup>3</sup>	1 070
	200 m <sup>3</sup>	4 385
<b>Investimento</b> (contos)	10 m <sup>3</sup>	5 500 <sup>1</sup>
	50 m <sup>3</sup>	7 750 <sup>2</sup>
	200 m <sup>3</sup>	10 500 <sup>3</sup>
<b>Período de recuperação do investimento</b>	10 m <sup>3</sup>	30 anos
	50 m <sup>3</sup>	7,2 anos
	200 m <sup>3</sup>	2,4 anos

<sup>1</sup> Investimento correspondente a um evaporador com caudal de 700 l/d

<sup>2</sup> Investimento correspondente a um evaporador com caudal de 1400 l/d

<sup>3</sup> Investimento correspondente a um evaporador com caudal de 2400 l/d

Torna-se notório que a aplicação desta tecnologia só é atractiva para empresas que processem grandes quantidades de óleo nas operações de maquinagem, devido não só ao elevado investimento, mas sobretudo porque os benefícios resultam quase exclusivamente da poupança feita no encaminhamento do resíduo para empresas licenciadas.

### 5.2.5 Tecnologias avançadas de maquinagem de chapa

#### Identificação da tecnologia e objectivos da sua aplicação

Nas tecnologias avançadas de maquinagem de chapa objectiva-se efectuar a operação de corte de chapa com o máximo aproveitamento da mesma através da utilização de equipamentos de controlo numérico, normalmente de alta precisão de corte. As tecnologias que podem ser utilizadas para este tipo de operação são oxi-corte com controlo numérico, corte por plasma, corte por laser e corte por jacto de água.

Descrição técnica e avaliação dos benefícios

O oxi-corte, corte por plasma e corte por laser são três tecnologias de corte térmico, que utilizam jactos de gases para arrastar o material cortado (fundido ou oxidado). O corte por jacto de água com abrasivos é uma alternativa aos cortes térmicos.

Cada um destes processos tem aplicações em áreas específicas, determinadas por:

- Tipo de metal constituinte da chapa;
- Espessura da chapa;
- Qualidade do corte pretendida; e,
- Rigor dimensional da peça.

Estas tecnologias e campos de aplicação, já foram referidas no Capítulo 4, pelo que se apresentam somente, de uma forma resumida, as suas características técnicas e a sua avaliação económica em relação ao processo convencional de oxi-corte manual.

No Quadro 30 são apresentados os valores referentes à quantidade de chapa necessária para obter uma tonelada de peças, o caudal de gases e a velocidade de corte para as diversas tecnologias.

**Quadro 30** - Comparação das características técnicas das diferentes tecnologias de corte de chapa e percentagens de redução de resíduo conseguido com cada uma delas, relativamente ao processo convencional. Base: 1 t de peças

Tecnologia		Convencional (maçarico manual)	Oxi-corte	Plasma (100A)	Plasma de alta definição (100A)	Laser	Jacto de água
Quantidade de chapa necessária (t)		1,3	1,11	1,03	1,03	1,03	1,03
Desperdícios de chapa (t)		0,3	0,11	0,03	0,03	0,03	0,03
Redução de resíduos <sup>1</sup> (%)			63	90	90	90	90
Caudal de gases (l/h)	N <sub>2</sub>	-	-	100	170	6	-
	O <sub>2</sub>	4 500	4 500	-	-	2 000	-
	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	1,5	-
	He	-	-	-	-	18	-
	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	400	400	-	-	-	-
Água com abrasivo (l/min)		-	-	-	-	-	10,9
Velocidade de corte (mm/min)		720	720	890	1630	1700	50

<sup>1</sup> Relativamente ao processo convencional- utilização de maçarico manual

Os valores referentes à quantidade de chapa necessária para produzir 1 t de peças correspondem a um exemplo concreto. No entanto, estes valores são variáveis de caso para caso, dependendo do tamanho e da forma das peças.

### Avaliação económica

#### Investimento:

- Compra de equipamento
- Compra de software

#### Custos adicionais de produção:

Dependem essencialmente do consumo de gases e de energia, o qual apesar de ser menor nas tecnologias que no processo tradicional, pode em alguns casos tornar-se mais dispendioso devido à diferença de preços entre os gases utilizados em cada tipo de corte.

#### Benefícios ou ganhos:

- Poupança no consumo de chapa de metal

A avaliação económica destas tecnologias de corte baseou-se na experiência vivida por uma das empresas visitadas, em que o corte de chapa, anteriormente efectuado por maçarico manual, é hoje em dia feito por plasma. Desta substituição, o rendimento de utilização da chapa aumentou de 77.5% para 97%, em grande parte devido à eliminação dos erros de traçagem.

O preço apresentado para as tecnologias é referente a um equipamento médio que já incorpora o software. Os custos dos gases podem variar significativamente de caso para caso, dependendo da quantidade comprada aos fornecedores. Por exemplo o oxigénio pode custar desde 30\$/m<sup>3</sup> a 600\$/m<sup>3</sup>, consoante se trate do fornecimento em tanque ou em garrafa.

O consumo de gases depende da área de corte, da velocidade de corte, a qual, por si só, está dependente do tipo de equipamento e da espessura da chapa a cortar. Deste modo, é natural que este valor varie significativamente de caso para caso.

No Quadro 31 são apresentados os custos e benefícios da aplicação destas tecnologias, tendo por base a poupança em termos de matéria prima (chapa) para produzir a mesma quantidade de peças (291 t). Estimou-se de igual modo o valor resultante da venda dos desperdícios de chapa a um sucateiro.

**Quadro 31** - Comparação dos custos inerentes ao processo convencional e aos processos de corte avançados, referentes a 291 t de peças produzidas. Base: 291 t de peças aproveitáveis.

Factor económico comparativo	Processo convencional	Processos avançados				
		Oxi-corte	Corte por plasma (100A)	Corte por plasma de alta definição (100A)	Corte por laser	Corte por jacto de água
Chapa de aço (90\$/Kg)	34 047	29 100	26 976	26 976	26 976	26 976
Gases <sup>1</sup>	175	175	3	2.5	35	-
Água com abrasivo (200\$/m <sup>3</sup> )	-	-	-	-	-	634
Venda dos retalhos (10\$/Kg)	-873	-320	-87	-87	-87	-87
Total dos custos operacionais (contos/ano)	33 349	28 955	26 892	26 892	26 924	27 523
<b>Benefícios expectáveis</b> (contos/ano) (Convencional – Processos avançados)		4 394	6 457	6 457	6 425	5 826
<b>Investimento</b> (contos)		10 000	10 000	17 000	100 000	50 000
<b>Período de recuperação do Investimento</b>		2,3 anos	1,6 anos	2,6 anos	15,6 anos	8,6 anos

<sup>1</sup>Custo calculado baseado no custo dos gases: gases para o oxi-corte 105\$/m<sup>3</sup>; plasma 200\$/m<sup>3</sup>; mistura de gases para laser 120\$/m<sup>3</sup>

Pela análise dos dados económicos representados no Quadro 31, pode concluir-se que para a capacidade estudada não é economicamente viável a compra de um equipamento de corte por laser, visto o investimento ser demasiado elevado para os benefícios líquidos que gera. Além disso, a manutenção do equipamento (não contabilizada neste estudo) necessita de mão de obra especializada nem sempre existente nas empresas, o que torna este custo especialmente significativo para a tecnologia de corte por laser.

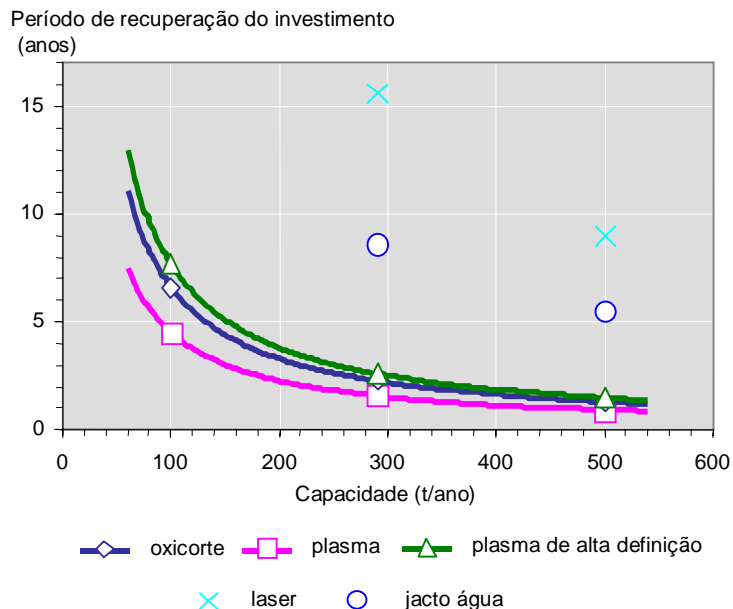
Os custos operatórios da tecnologia com corte por jacto de água com abrasivo são superiores aos das outras tecnologias, exceptuando o oxi-corte. Como o investimento é muito elevado, considera-se que, para a capacidade do exemplo, esta tecnologia também não é atractiva para os industriais.

Em termos de custos operatórios, o oxi-corte é a tecnologia mais dispendiosa, devido ao elevado consumo de gases. No entanto, como o investimento necessário não é muito elevado esta tecnologia tem um período de retorno relativamente baixo. O corte por plasma de 100A é a tecnologia com um período de retorno do investimento mais baixo.

Efectuou-se um estudo semelhante para outras capacidades de produção, cujos resultados se apresentam no Quadro 32.

**Quadro 32** - Comparação dos dados económicos, das diferentes tecnologias avançadas de corte de chapa.

Factor económico comparativo	Capacidade de produção	Processos avançados				
		Oxi-corte	Corte por plasma (100 <sup>A</sup> )	Corte por plasma de alta definição	Corte por laser	Corte por jacto de água
<b>Benefícios anuais</b> (contos/ano)	100 t/ano	1 520	2 218	2 220	2 208	2 000
	291 t/ano	4 394	6 455	6 460	6 425	5 826
	500 t/ano	7 600	11 090	11 100	11 040	9 030
<b>Investimento</b> (contos)	100 t/ano	10 000	10 000	17 000	100 000	50 000
	291 t/ano	10 000	10 000	17 000	100 000	50 000
	500 t/ano	10 000	10 000	17 000	100 000	50 000
<b>Período de recuperação do Investimento</b>	100 t/ano	6,6 anos	4,5 anos	7,7 anos	-	-
	291 t/ano	2,3 anos	1,6 anos	2,6 anos	15,6 anos	8,6 anos
	500 t/ano	1,3 anos	11 meses	1,5 anos	9 anos	5,5 anos



**Figura 33** - Evolução do período de recuperação do investimento para diversas tecnologias avançadas de corte de chapa para várias capacidades de produção.

Como se pode constatar por análise do Quadro 32 e da Figura 33, estas tecnologias não são muito atractiva do ponto de vista económico para empresas de pequena dimensão. No entanto para empresas de média e grande dimensão o período de retorno do investimento é relativamente curto.

A escolha de uma ou outra tecnologia por parte das empresas, não deve basear-se somente nos resultados económicos, mas principalmente nos benefícios que estas tecnologias possam trazer em termos de qualidade do produto final, do tipo de metal e das espessuras das chapas a maquinar, bem como a qualidade do acabamento, o que pode reduzir significativamente o custo de operação a jusante no processo.

## BIBLIOGRAFIA

- APF – Associação Portuguesa de Fundição, “Valorização dos Resíduos Industriais do Sector de Fundição”, DGI, Lisboa, Novembro 1999
- Edoardo Capello, “Tecnología de la Fundición”, 3ª tirada, Editorial Gustavo Gill, S.A., Barcelona, 1974
- EPA, Office of enforcement and Compliance Assurance, “Profile of Metal Casting Industry”, Washington, February 1998. (EPA/310-R-97-004)
- EPA, Office of enforcement and Compliance Assurance, “Profile of Motor Vehicle Assembly Industry”, Washington, September 1995. (EPA/310-R-95-009)
- EPA, Office of enforcement and Compliance Assurance, “Profile of the Iron and Steel Industry”, Washington, September 1995. (EPA/310-R-95-005)
- EPA, Office of enforcement and Compliance Assurance, “Profile of the Nonferrous Metals Industry”, Washington, September 1995. (EPA/310-R-95-010)
- EPA, Office of enforcement and Compliance Assurance, “Profile of the Fabricated Metal Products Industry”, Washington, September 1995. (EPA/310-R-95-007)
- Federación Empresarial Metalúrgica Valenciana, “Diagnóstico Medioambiental Del Sector Metal-Mecánico”,
- Fundación Privada Institut Ildefons Cerdà, “Manual de Minimización de Residuos y Emisiones Industriales”, 1 ed. , Barcelona,1992
- Jerry P. Byers, “Metalworking Fluids”, Marcel Dekker, Inc., New York, 1994
- J. M. Coulson, J. F. Richardson,, “Tecnologia Química – Operações unitárias”, Fundação Caloute Gulvenkian, volume II, 2ª edição, 1968

- Ludwig Hartinger, “Handbook of Effluent Treatment and Recycling for the Metal Finishing Industry”, 2<sup>nd</sup> Edition, 1994
- Milton C. Shaw, “Metal Cutting Principles”, Clarendon Press, Oxford, 1984
- Sociedade Portuguesa de Ar Líquido (Arliquido), “Guia do Utilizador de Soldadura Manual”, 1<sup>a</sup> edição, 1981
- Stuart C. Salmon, “Modern Grinding Process”, McGraw-Hill, Inc., New York, 1992
- Tecnivest, Estudo nº 1527, “Estudos Complementares Relacionados com o Sistema Centralizado de Gestão de Resíduos”, Actualização dos quantitativos de Resíduos, 1994
- Tecnivest, Estudo nº 1788, 1997
- Federación Empresarial Metalúrgica Valenciana, “Diagnóstico Medioambiental Del Sector Metal-Mecánico”,
- Fundación Privada Institut Ildelfons Cerdà, “Manual de Minimización de Residuos y Emisiones Industriales”, 1 ed. , Barcelona,1992

### Sites da Internet Relacionados com o Sector da Metalurgia e Metalomecânica

- Associação Industrial da Metalurgia e Metalomecânica  
<http://www.anemm.pt>
- Environet Australia  
<http://www.environment.gov.au/portfolio/epg/environet>
- Environment Canada  
<http://www.ec.gc.ca/pp/english/stories/listing.html>
- Environmental Research Brieff  
<http://es.epa.gov/oeca>
- Enviro\$en\$e  
<http://es.epa.gov/techinfo/>
- EPA Office of Compliance Sector Notebook Project  
<http://www.epa.gov/oeca/sector/index.html#fab>
- Iron Foundry Industry  
<http://www.unido.org/ssites/env>
- National Centre for Clean Industrial and Treatment Technologies  
<http://cpas.mtu.edu/cencitt/>
- United Nations Environmental Programme Industrial and Environment  
<http://www.unepie.org/cp>
- US Environment Protection Agency - EPA  
<http://www.epa.gov>
- <http://www.hazard.iuiuc.edu/wmrc/packets>
- <http://www.ma-kon.com.tr/en/default.htm>

**LISTA GERAL DE ENTIDADES, INSTITUIÇÕES E  
ASSOCIAÇÕES NACIONAIS E SECTORIAIS**

**Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território**

<http://ambiente.gov.pt>

**Direcção-Geral do Ambiente**

<http://www.dga.min-amb.pt>

**Instituto dos Resíduos**

<http://www.inresiduos.pt>

**Direcção-Geral da Indústria**

<http://www.dgi.min-economia.pt>

**POE – Programa Operacional da Economia**

<http://www.poe.min-economia.pt>

**INETI – Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial**

<http://www.ineti.pt>

**Associação Industrial Portuguesa**

<http://www.aip.pt>

**Associação de Empresários de Portugal**

<http://www.aeportugal.pt>

**Confederação da Indústria Portuguesa**

Avenida 5 Outubro 35,1º - Lisboa

1069-193 LISBOA

Telef. 213 164 700

**ANEMM - Associação Nacional das Empresas Metalúrgicas Metalomecânicas**

Estr. do Paço do Lumiar (Polo Tecnológico de Lisboa) Lote 13

1600 - 485 Lisboa

Tel.: 21 715 21 72 Fax: 21 715 04 03

**AIMMAP - Associação dos Industriais Metalúrgicos, Metalomecânicos e Afins de Portugal**

Rua dos Plátanos, 197

4100 - 414 Porto

Tel.: 22 610 71 47 Fax: 22 610 74 73

**CATIM - Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica**

Rua dos Plátanos, 197

4100 - 414 Porto

Tel.: 22 615 90 00 Fax: 22 615 90 35

### **NOTA SOBRE LEGISLAÇÃO**

A classificação CER usada neste trabalho, é a actualmente em vigor, que foi adoptada pela Legislação Portuguesa através da Portaria 818/97 de 5 de Setembro, por transposição da Decisão 94/3/CE do Comissão da Comunidade Europeia de 20 de Dezembro de 1993.

Convém notar que, a nível da Comunidade Europeia, esta Decisão está a ser alvo de revisão, prevendo-se a entrada em vigor da nova Decisão em final de 2001.

È ainda de notar que existem vários diplomas que concedem benefícios fiscais, de que se destacam, para as empresas que realizem despesas em I&D (Decreto-Lei nº 292/97 de 22 de Outubro), e para as que invistam em equipamentos destinados a reduzir as suas emissões poluentes, tanto gasosas como líquidas ou sólidas (Decreto-Lei nº 477/99 de 9 de Novembro, rectificado através da Declaração de Rectificação 4-B/2000 de 31 de Janeiro, e regulamentado através do Despacho 2531/2000 de 1 de Fevereiro e pela Portaria nº 271-A/2000 de 18 de Maio).