



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Marta Sofia Martins Gonçalves

**Estruturação e Implementação de um  
Sistema de Controlo e Optimização do  
Processo numa Fundição de Latão**

**Novembro de 2013**



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Marta Sofia Martins Gonçalves

**Estruturação e Implementação de um  
Sistema de Controlo e Optimização do  
Processo numa Fundição de Latão**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica  
Área de Especialização Tecnologias de Manufatura

Trabalho realizado sob a orientação de  
**Professor Doutor Delfim Fernandes Soares**  
**Professora Doutora Maria Cândida L. G.**  
**Vilarinho**

**Novembro de 2013**

## **Agradecimentos**

Aproveito este espaço para agradecer a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus orientadores Professor Delfim Soares e Professora Cândida Vilarinho que se mostraram sempre disponíveis para esclarecer todas as dúvidas que surgiram no decurso do trabalho.

À empresa Delabie que possibilitou a execução deste trabalho em ambiente industrial, especialmente aos Engenheiros Frederico Coelho e Gilles Gourguillon que partilharam os seus conhecimentos e apoiaram a elaboração deste trabalho.

À minha família, namorado e amigos pela paciência e apoio prestados não só no decorrer deste projecto mas como em todo o meu percurso académico.

## Resumo

Este projecto foi desenvolvido em colaboração com a empresa Delabie, uma empresa de fundição instalada em Braga que produz componentes metalo-sanitários em latão, com o objectivo de estruturar e implementar um sistema de controlo e optimização do processo de fabrico. Neste relatório apresenta-se o trabalho desenvolvido.

Inicialmente é feita uma descrição do processo implementado na empresa, conhecimento que é necessário para permitir efectuar o melhoramento e o aperfeiçoamento do sistema produtivo, já que um dos objectivos do trabalho consistiu na criação de documentação onde, para cada etapa e referência de peça se possa saber qual o método/parâmetros a utilizar no processamento, bem como garantir a repetibilidade do processo.

Apesar de se terem detectado diversos problemas nas várias etapas do processo produtivo causando a formação de defeitos e a produção de peças rejeitadas, apenas se focou atenção na primeira etapa do processo: produção de machos. Foi possível verificar que as peças obtidas possuíam normalmente defeitos, nomeadamente: rugosidade e aderência de areia à peça, defeitos que à partida serão atribuíveis, aos machos. Por essa razão, estudou-se a influência dos parâmetros de produção dos machos, nomeadamente da composição química da areia e da temperatura de cura, no nível de defeitos detectado. Os resultados obtidos para as diferentes formulações de areia realizadas, com distintas proporções de resina e endurecedor, permitiram seleccionar a melhor composição para aplicação no processo produtivo. E os testes efectuados para diferentes temperaturas de cura permitiram definir qual o valor mínimo para se garantir uma maior qualidade da peça final. Efectivamente, os melhores resultados foram obtidos para um teor de resina de 1,7%, inferior ao teor de 2% normalmente utilizado na empresa, e para temperaturas de cura compreendidas entre 180-220°C, valores superiores aos inicialmente utilizados (150-180 °C).

Adicionalmente ao trabalho desenvolvido na secção de fabrico de machos, foram desenvolvidos e implementados documentos onde se encontram descritos os modos operatórios gerais de cada secção, bem como os modos operatórios específicos para cada referência de peça, por forma a garantir a sistematização do processo e assegurar o cumprimento adequado dos procedimentos.

Finalmente, os *kanbans* utilizados pela empresa foram igualmente melhorados e optimizados tendo-se criado uma base de dados onde a informação recolhida pelas folhas de seguimento é

armazenada. Com esta base de dados é possível acompanhar a evolução do processo de forma a saber a variação da quantidade de peças não conformes, estudar os defeitos típicos para cada referência, criar uma curva ABC onde se verifica quais são as referências críticas, entre outros aspectos.

A realização deste trabalho contribuiu para que a empresa aumentasse significativamente o seu conhecimento relativamente às zonas mais críticas do processo e às melhores técnicas disponíveis a adoptar no fabrico de machos para minimização do número de rejeitados. Paralelamente, foi concretizada a implementação e sistematização de um processo de controlo de qualidade nas distintas secções que integram o processo produtivo e que seguramente contribuirão para elevados níveis de desempenho e melhor posicionamento da empresa no mercado dos fabricantes de produtos metalo-sanitários em latão.

## ***Abstract***

This project has been developed in collaborations with Delabie, a foundry situated in Braga that produces sanitary products in brass. The project aims to control and optimize the production process. This report presents the developed work.

The first part describes the actual process implemented in the company, which knowledge is necessary to perform the improvement and enhancement of the productive system, since one of the objectives of the present work aims the development of documentation to register, for each step and reference, which method / parameters should be used in the production process, ensuring that they will be produced every time in the same controlled way.

In the initial phase of the project it was possible to detect some problems in the process that results in the formation of defects and in the production of rejected pieces. However the attention was only focused in the first part of the process: production of the cores. It was possible to verify that the parts obtained in this section usually exhibited defects, including: surface roughness and adhesion of sand to the piece, defects which appear to be attributable to the cores. Therefore, the influence of the production parameters of the cores, namely the chemical composition of the sand and of the curing temperature on the level of defects detected has been studied. The results obtained for the different formulations made of sand with different proportions of resin and hardener allowed to select the best composition to use in the production process and the tests performed for different cure temperatures allowed to set the minimum value to ensure a higher quality of the final part. In fact, the best results were obtained for a resin content of 1,7%, lower than the 2% normally used in the company, and for temperatures ranging from 180 to 220°C, higher than the normally used in the company (150 to 180 °C) .

In addition to the work done in the optimization of core production, some documents were developed and implemented to describe the general operational procedures for each section and to specify the operating data for each reference, to ensure a process systematisation and the correct compliance with the company procedures.

Finally, the kanban used by the company have also been improved and optimized creating a database where information collected by the monitoring sheet is stored. With this database it is possible to monitor the process evolution in order to identify the variation of the amount of non-conforming parts,

study the typical defects for each reference and create a curve ABC with the critical references, among others.

This project has contributed to increase the company knowledge of the most critical areas of the process and identify the best available practices techniques to be adopted in the manufacture of cores to minimize the number of rejects. In parallel the implementation and systematization of a process of quality control in the different sections that make up the production process of the production process will certainly contribute to high levels of performance and better position the company in the market of manufacturers of metal-sanitary brass.

# Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
<i>Abstract</i> .....	iv
Índice.....	vi
Lista Figuras .....	viii
Lista Tabelas.....	xii
1. Objectivos.....	1
2. Introdução.....	2
3. Estado da Arte .....	5
3.1. Ligas Cobre-Zinco .....	6
3.2. Fundição em Moldação Permanente .....	10
3.3. Machos .....	14
4. Processo de Fabrico Utilizado pela Empresa .....	18
4.1. Fabrico de Machos .....	19
4.1.1. Preparação da areia.....	19
4.1.2. Processamento dos Machos.....	21
4.1.3. Acabamento dos Machos .....	25
4.2. Vazamento .....	27
4.3. Extracção dos Machos .....	32
4.4. Corte dos Gitos .....	33
4.5. Grenalhagem .....	35
4.6. Controlo e Embalamento.....	36
5. Avaliação da Alteração de Parâmetros no Fabrico dos Machos .....	37
5.1. Resina .....	38
5.2. Granulometria da Areia .....	49
5.3. Adição de Conservador .....	51
5.4. Temperaturas e Tempo de Cura.....	52

6.	Procedimento de Optimização por Tipo de Peça .....	57
6.1.	Estudo de um caso: Referência RU479B .....	57
7.	Metodologia de Especificação do Processo .....	66
7.1.	Modo operativo geral .....	68
7.2.	Modo operativo específico .....	73
8.	Implementação e Validação do Processo de Controlo Desenvolvido .....	78
8.1.	Recolha de dados .....	78
8.2.	Exemplo de aplicação: Avaliação de cada posto de trabalho.....	81
8.3.	Exemplo de aplicação: Avaliação de uma referência .....	82
8.4.	Exemplo de aplicação: Avaliação do operador.....	84
9.	Rastreabilidade .....	86
10.	Conclusões.....	87
11.	Propostas de Trabalho Futuro .....	88
12.	Bibliografia .....	89
	ANEXOS.....	91
	A. Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2 % de resina .....	92
	B. Documentação Geral .....	104
	C. Documentação Peça a Peça.....	108

## Lista Figuras

Figura 1 - Aspectos importantes para garantir a qualidade .....	3
Figura 2 - Produção de Fundidos em Portugal em 2011.....	5
Figura 3 - Produção de Fundidos no Mundo em 2011.....	5
Figura 4 - Diagrama de fases Cu-Zn [7].....	7
Figura 5 - Representação de uma coquilha com um macho posicionado e peça final [24] .....	11
Figura 6 - Exemplo de aplicação de machos: a) pode usar-se um macho metálico; b) não é possível a utilização de um macho metálico [18].....	14
Figura 7 - Layout da empresa .....	18
Figura 8 - Distribuição Granulométrica da areia SP55 .....	19
Figura 9 - Máquina de machos BIANCHI .....	21
Figura 10 - Pormenor do macho gerado pelos extractores verticais.....	22
Figura 11 - Espessura de cura do macho .....	23
Figura 12 - Defeito causado por mau fecho da caixa .....	24
Figura 13 - Montagem na coquilha de dois tipos diferentes de machos.....	24
Figura 14 - Macho antes de rebarbar .....	25
Figura 15 - Macho depois de rebarbar .....	25
Figura 16 - Conjunto de limas.....	26
Figura 17 – Arame .....	26
Figura 18 - Macho por pintar .....	27
Figura 19 - Rechupe na peça.....	27
Figura 20 - Macho pintado.....	27
Figura 21 - Peça sem defeito .....	27
Figura 22 - Representação esquemática do forno.....	28
Figura 23 - Limites de controlo impostos pela DELABIE para as ligas utilizadas .....	29
Figura 24 - Vista frente da coquilhadora .....	30
Figura 25 - Vista lateral da coquilhadora .....	30
Figura 26 - Representação esquemática da coquilhadora utilizada nas instalações .....	30
Figura 27 – Peça na máquina vibratória .....	32
Figura 28 - Máquina vibratória .....	32

Figura 29 - Instrumentos de apoio .....	33
Figura 30 – Máquina de serra 1 .....	33
Figura 31 – Máquina de Serra 2.....	33
Figura 32 - Fita 8 .....	34
Figura 33 - Fita 6 .....	34
Figura 34 - Fita 4 .....	34
Figura 35 - Velocidade de corte utilizada .....	34
Figura 36 – Gabarito .....	35
Figura 37 - Corte com gabarito .....	35
Figura 38 – Grenelhadora.....	35
Figura 39 - Peças na grenelhadora .....	35
Figura 40 - Exemplo de peça mal grenalhada.....	36
Figura 41 - Exemplo de peça bem grenalhada.....	36
Figura 42 – Condições experimentais dos testes elaborados para estudo dos parâmetros dos machos que influenciam a qualidade do fundido .....	38
Figura 43 - Referência R745200B (peça com gitos) .....	38
Figura 44 - Resultados obtidos com a alteração da percentagem de resina.....	39
Figura 45 - Referência RP749B (peça com gitos) .....	40
Figura 46 - Referência RPE761B (peça com gitos) .....	40
Figura 47 - Secções de Corte.....	41
Figura 48 - Pontos onde foram recolhidas imagens da parede interna da secção A.....	41
Figura 49 - Fotografias do ponto 1: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	42
Figura 50 - Fotografias do ponto 2: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	42
Figura 51 - Fotografias do ponto 6: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	42
Figura 52 - Fotografias do ponto 10: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	42
Figura 53 - Pontos onde foram recolhidas imagens da parede interna da secção B .....	43
Figura 54 - Fotografias do ponto 15: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	44
Figura 55 - Fotografias do ponto 18: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	44
Figura 56 - Fotografias do ponto 21: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	44
Figura 57 - Fotografias do ponto 23: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	45
Figura 58 - Fotografias do ponto 38: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	45

Figura 59 - Fotografias do ponto 40: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	45
Figura 60 - Fotografias do ponto 25: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	46
Figura 61 - Fotografias do ponto 28: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	47
Figura 62 - Fotografias do ponto 33: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	47
Figura 63 - Fotografias do ponto 36: a) 2%resina e b) 1,7%resina .....	47
Figura 64 - Resultados obtidos com a alteração da granulometria da areia .....	50
Figura 65 - Exemplo de peça obtida com a utilização de machos com e sem conservador .....	52
Figura 66 - Variação da cor do macho com a temperatura de cura .....	53
Figura 67 - Variação do aspecto interior do fundido com o aumento da temperatura de cura do macho.....	54
Figura 68 - Variação da temperatura nas caixas de machos (representação de cada meia caixa: esquerda e direita).....	55
Figura 69 - Peça da referência RU479B.....	58
Figura 70 - Zona de suporte do macho que quebra antes e durante o vazamento .....	58
Figura 71 - Zona do defeito Tipo 1 .....	60
Figura 72 - Rebarba no furo.....	62
Figura 73 - Falta de material.....	62
Figura 74 - Diferentes espessuras.....	62
Figura 75 - Alteração do <i>kanban</i> utilizado na macharia: a) versão inicial; b) proposta de alteração .....	79
Figura 76 - Alteração do <i>kanban</i> utilizado nos carrinhos após vazamento: a) versão inicial; b) proposta de alteração .....	79
Figura 77 - Quadro fase de controlo 1 (Extracção de Areia) .....	80
Figura 78 - Quadro fase de controlo 2 (Controlo Final) .....	80
Figura 79 - Representação das Zonas ABC [1] .....	81
Figura 80 - <i>Layout</i> do programa de registo dos dados obtidos pelos <i>kanbans</i> .....	81
Figura 81 - Comparação dos defeitos produzidos em cada posto de trabalho .....	82
Figura 82 - Representação das referências críticas e a correspondente percentagem de defeitos .....	83
Figura 83 - Comparação da quantidade e tipos de defeitos obtidos numa dada referência com a temperatura do metal vazado .....	84

Figura 84 - Representação da variação da percentagem de defeitos consoante a referência e o operador ..... 85

## Lista Tabelas

Tabela 1 - Valores de contracção linear para alguns metais [17] .....	9
Tabela 2 - Material da coquilha tendo em conta o metal a vazar e o número de vazamentos sem reparação [18].....	12
Tabela 3 - Características físicas da areia SP55 .....	19
Tabela 4 - Composição química da areia SP55 .....	20
Tabela 5 – Características do endurecedor AT20 .....	20
Tabela 6 - Características resina SANSET 031 (Dados do Fornecedor).....	20
Tabela 7 - Parâmetros Programáveis nas máquinas Bianchi.....	22
Tabela 8 - Dados técnicos coquilhadora .....	30
Tabela 9 - Composição da liga AMPCOLOY 940 .....	31
Tabela 10 - Composição de uma coquilha .....	31
Tabela 11 - Programação utilizada para o fabrico dos machos RP745200B.....	39
Tabela 12 - Resumo dos valores das amplitudes das irregularidades ( $\mu\text{m}$ ) obtidos na secção A .....	43
Tabela 13 - Resumo dos valores das amplitudes das irregularidades ( $\mu\text{m}$ ) obtidos na secção B .....	46
Tabela 14 - Resumo dos valores das amplitudes das irregularidades ( $\mu\text{m}$ ) obtidos na secção C .....	48
Tabela 15 - Quantidades de resina utilizadas para cada areia.....	49
Tabela 16 - Comparação das temperaturas lidas em cada meia caixa de machos .....	55
Tabela 17 - Composição real da areia para os testes com 2 a 2,5% de resina.....	59
Tabela 18 - Quantidade de machos produzidos para cada teste (1 a 6) .....	59
Tabela 19 - Percentagem de machos partidos para cada tipo de areia (1 a 6) .....	60
Tabela 20 - Composição real da areia para os testes com 25 a 35% de endurecedor.....	61
Tabela 21 - Quantidade de machos produzidos para cada teste (7 a 9) .....	61
Tabela 22 - Percentagem de machos partidos para cada tipo de areia (7 a 9) .....	62
Tabela 23 - Quantidade de peças produzidas tendo em conta a utilização de machos com e sem defeito tipo 1.....	63
Tabela 24 - Total de machos utilizados e peças boas produzidas.....	63

Tabela 25 - Total de machos produzidos e peças boas obtidas.....	64
Tabela 26 - Secções para as quais foram criados os documentos de controlo gerais .....	66
Tabela 27 - Secções e referências de peças para as quais foram criados os documentos específicos .....	67
Tabela 28 - Dados do ponto 1 (operador) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos .....	69
Tabela 29 - Dados do ponto 2 (posto de trabalho/máquina) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos.....	69
Tabela 30 - Dados do ponto 3 (ferramentas) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos .....	69
Tabela 31 - Dados do ponto 4 (matéria-prima) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos .....	69
Tabela 32 - Dados do ponto 5 (planos e procedimento de trabalho) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos.....	70
Tabela 33 - Dados do ponto 6 (manutenção preventiva) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos .....	71
Tabela 34 - Dados do ponto 7 (higiene e segurança) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos .....	72
Tabela 35 - Dados do ponto 8 (limpeza do posto de trabalho) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos.....	72
Tabela 36 - Dados do ponto 9 (reciclagem/tratamento dos resíduos) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos.....	72
Tabela 37 - Dados do ponto 10 (manuseamento e armazenamento e condições especiais) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos .....	73
Tabela 38 - Exemplo de Modo Operatório Especifico da secção Fabrico de Machos .....	74
Tabela 39 - Exemplo de Modo Operatório Especifico da secção Retoque de Machos.....	75
Tabela 40 - Exemplo de Modo Operatório Especifico da secção Remoção dos Machos .....	75
Tabela 41 - Exemplo de Modo Operatório Especifico da secção Corte dos Gitos.....	76
Tabela 42 - Exemplo de Modo Operatório Especifico da secção Grenalhagem.....	76
Tabela 43 - Exemplo de Modo Operatório Especifico da secção Controlo e Embalamento .....	77

## 1. Objectivos

Este trabalho foi desenvolvido em colaboração com a empresa DELABIE situada em Braga, que produz artigos metalo-sanitários em latão. A sede da empresa é em França, mas em 2012 instalou a sua primeira unidade produtiva em Portugal. Esta unidade iniciou a sua actividade com 5 operadores e 2 engenheiros: um em permanência, outro a tempo parcial, mantendo a ligação com a sede em França. Aquando do início deste projecto a empresa estava ainda em fase de arranque e formação de pessoal.

Nessa fase inicial “do percurso da empresa” proporcionou-se o estabelecimento de relações de cooperação com a Universidade do Minho, motivando a criação de projectos de dissertação, que têm como objectivo apoiar a empresa em relação aos aspectos técnicos e no aumento dos níveis de qualidade do produto e crescente inserção do mesmo no mercado.

Nesse sentido pretende-se com o presente trabalho desenvolver e otimizar o processo produtivo criando uma estrutura de controlo do processo, implicando a definição dos parâmetros de produção assim como a elaboração de todos os documentos onde estão definidos os procedimentos de trabalho que irão contribuir para um aumento da qualidade do sistema produtivo existente.

Para além da documentação geral para cada etapa do processo, propõe-se uma maior atenção numa das fases produtivas: fabrico de machos. Para esta etapa foram identificadas e estudadas as distintas variáveis com influência no processo, tendo sido seleccionadas as condições operatórias que garantem uma maior qualidade e menor rejeição de peças vazadas.

## 2. Introdução

A fundição é uma das tecnologias de fabrico mais versáteis, pois permite o fabrico de peças de variados tamanhos e complexidades. Consiste no aquecimento de um material sólido a uma temperatura 50° a 100°C acima da sua temperatura de fusão, com consequente liquefacção e posterior escoamento ou vazamento para moldações com a forma adequada, onde solidifica.

As moldações, fabricadas num material refractário ou numa liga metálica, são constituídas por cavidades correspondentes à peça que se pretende obter. Essas cavidades podem ser geradas por maquinagem ou por recurso a moldes. De uma forma simplista, pode dizer-se que os moldes são, portanto, um modelo da peça que se pretende fundir, podendo ser fabricados em diferentes tipos de materiais: madeira, cera, poliestireno expandido, resina, ligas metálicas, entre outros.

Uma das tecnologias de fundição utiliza moldações permanentes metálicas, vulgarmente designadas por coquilhas, técnica utilizada pela Delabie, empresa com a qual este projecto foi desenvolvido.

A empresa DELABIE é uma empresa francesa que se dedica à produção de torneiras e artigos sanitários para estabelecimentos públicos (aeroportos, hospitais, estádios, etc.). Foi fundada em França no ano 1928 pelo senhor Georges Delabie. Inicialmente possuíam fundições próprias, mas acabaram por deixá-las e subcontratar essa tarefa. No entanto, no ano 2012 voltou a iniciar a sua própria produção em Celeirós, Braga. Actualmente a Delabie produz cerca de 5 milhões de peças por ano que são distribuídas por 60 países. Tudo isto faz da empresa DELABIE líder neste ramo [1].

Com este projecto pretende-se apoiar a empresa na elaboração e implementação de um sistema de qualidade na unidade recentemente instalada sustentado nos parâmetros esquematizados na Figura 1.



**Figura 1 - Aspectos importantes para garantir a qualidade**

- Conhecimento: é necessário conhecer todo o processo produtivo bem como todos os parâmetros que o influenciam para seleccionar correctamente o melhor método de fabrico;
- Uniformização: para cada posto deve ser definido um modo operativo geral e modos operatórios específicos para cada referência (tipo de peça), de modo a se garantir a repetibilidade do processo;
- Avaliação: é necessário acompanhar o processo de modo a verificar as referências críticas (curvas ABC), avaliar o desempenho dos operários, detectar a evolução negativa da produção antecipadamente, conhecer os tipos de defeitos mais frequentes para cada referência, etc.;
- Rastreabilidade: em caso de detecção de não conformidades é necessário conhecer as condições de fabrico dessa peça: equipamentos, operadores, parâmetros de fabrico, etc.

A tese desenvolvida integra as seguintes secções:

- Estado da arte – neste capítulo encontra-se toda a informação teórica relativamente à tipologia das ligas em estudo (latão), bem como o processo de fabrico em questão – fundição em coquilha;

- Estudo e Optimização do Processo Produtivo, que contempla:
  - Processo de fabrico – descrição de todas as etapas do processo de fabrico;
  - Avaliação da alteração de parâmetros no fabrico dos machos – mostra-se a relação de alguns parâmetros de fabrico dos machos com a qualidade da peça final, são definidas as melhores condições de fabrico;
  - Procedimento de Optimização de Referências – explicação do procedimento de optimização dos machos de modo a garantir um produto final de maior qualidade, e onde se apresenta um exemplo de aplicação desse procedimento;
- Implementação e Validação do Sistema de Qualidade
  - Metodologia de Especificação do Processo – são mostrados os documentos elaborados de modo a garantir o correcto funcionamento do processo produtivo, estes documentos foram criados para todas as secções: macharia, vazamento, extracção dos machos, corte de gitos e controlo;
  - Avaliação do ciclo produtivo – apresenta-se um sistema de controlo e avaliação criado para acompanhar a cadeia produtiva e os benefícios que se pode retirar deste sistema;
  - Rastreabilidade – neste capítulo final mostra-se a importância da rastreabilidade e o que foi feito neste âmbito;
- Conclusões e Propostas para aplicar num futuro próximo.

Neste trabalho os testes experimentais foram desenvolvidos no ambiente produtivo normal da empresa e realizados nos equipamentos de produção da mesma. Com base na avaliação do ciclo produtivo dos machos foram detectadas as inconformidades principais. Para algumas destas inconformidades foram estabelecidos e testados procedimentos para a sua redução/eliminação.

### 3. Estado da Arte

A tecnologia de fundição é bastante versátil, sendo por isso amplamente utilizada. Esta tecnologia é composta por vários processos diferentes para produtos/especificações diferentes, podendo por isso produzir-se peças de variadíssimos tamanhos, grau de complexidade e acabamento superficial em bruto.

De acordo com o 45º Censos de produção de fundidos mundialmente, pode-se verificar que em 2011 eram produzidas 91,4 milhões de toneladas de fundidos. Apesar da produção ter diminuído desde 2007, causado pela crise mundial, entre o ano 2009 e 2010 deu-se um aumento de 13.7%. As Figura 2 e Figura 3 representam os materiais utilizados em fundição em Portugal e no Mundo em 2011 [2].

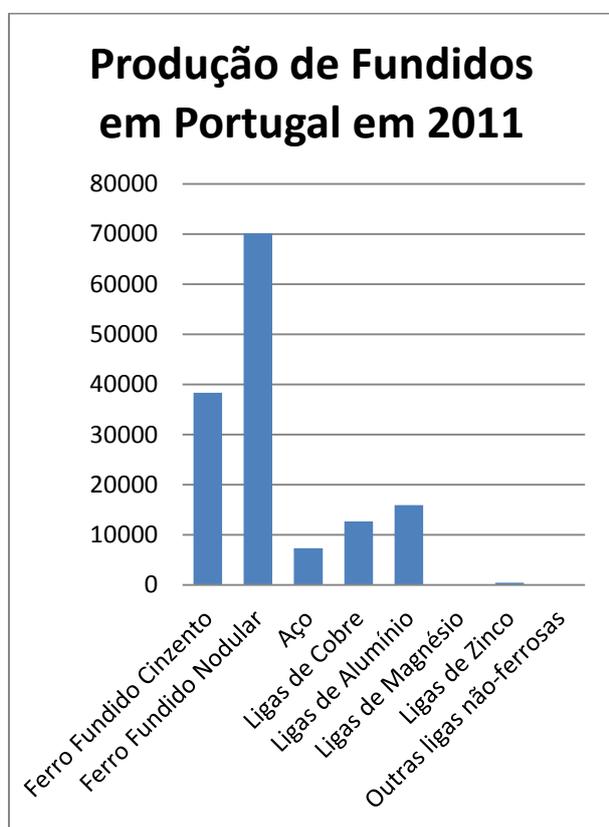


Figura 2 - Produção de Fundidos em Portugal em 2011

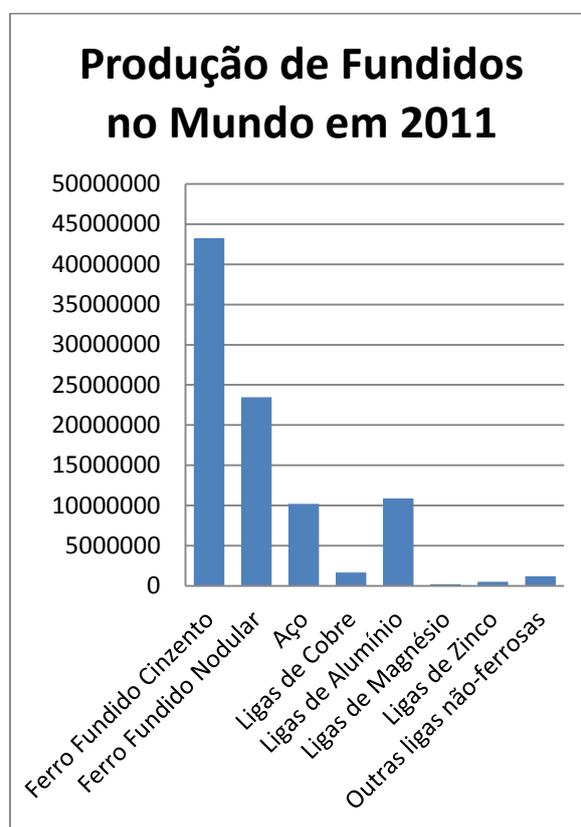


Figura 3 - Produção de Fundidos no Mundo em 2011

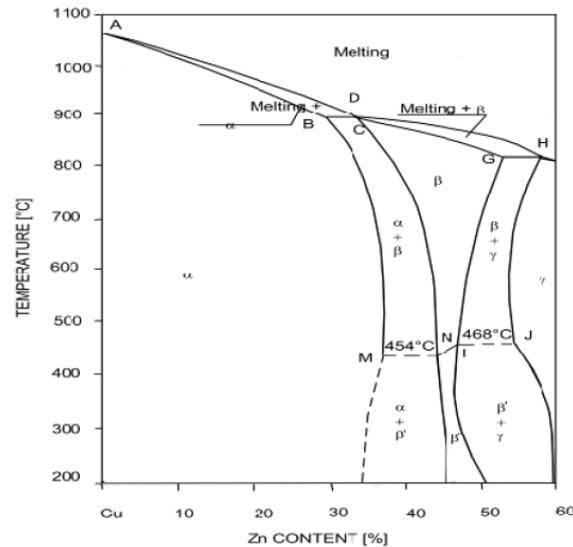
Como se pode ver pelas figuras acima, as fundições de ligas de cobre (onde se engloba o latão) têm um peso maior em Portugal (4ª mais utilizada) que no resto do Mundo (5ª), este tipo de fundições têm também uma maior predominância na região do Minho.

Não é possível fazer uma análise mais concreta visto que os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) faz levantamento de dados por grupos de acordo com os CAE (Classificação Portuguesa de Actividades Económicas). Como estes grupos estão divididos por tipo de produtos (ferragens, torneiras, etc.) e cada produto pode ser obtido a partir de diferentes matérias ou processos, os dados divulgados pelo INE não permitem saber qual a quantidade e dimensão das fundições de latão existentes actualmente em Portugal.

### **3.1. Ligas Cobre-Zinco**

Os latões são ligas de cobre-zinco, normalmente associados a outros elementos de liga (Al, Fe, Pb, Sn). Devido à sua versatilidade, os latões são utilizados na produção de diversos componentes, tais como: artigos sanitários, artigos decorativos, bijuterias, instrumentos musicais, parafusos, ferragens, entre outros. Esta vasta gama de aplicações deve-se ao facto destas ligas possuírem boas propriedades no que toca à resistência mecânica, resistência à corrosão e condutibilidade térmica. Estas propriedades aliadas à sua vertente estética e à possibilidade de tratamento de superfícies tornam os latões numa liga bastante utilizada [3-6].

Estas ligas são bastante utilizadas em fundição por possuírem boa vazabilidade e baixo ponto de fusão, sendo utilizadas em artigos metal-sanitários devido à sua resistência à corrosão, possuindo geralmente boa resistência mecânica, e possibilidade de tratamento superficial.



**Figura 4 - Diagrama de fases Cu-Zn [7]**

Os latões binários são compostos apenas por cobre e zinco (Cu-Zn). Pelo diagrama de fases da Figura 4 verifica-se que os latões podem ter as seguintes fases na sua microestrutura, dependendo do teor de Zn presente na liga [4,8,9].

- $\alpha$  – Os latões com percentagens de Zn entre 0 e 33% são considerados latões monofásicos  $\alpha$ , a que corresponde uma estrutura macia e dúctil;
- $\alpha+\beta$  – Latões com 33 a 46% de Zn obtêm-se estruturas bifásicas  $\alpha+\beta$  em que a fase  $\alpha$  é macia e dúctil e a fase  $\beta$  mais dura. A presença desta fase inviabiliza a deformação a frio deste tipo de matéria, no entanto podem ser conformados a quente. Os latões bifásicos apresentam elevada potencialidade para o processo de fundição;
- $\beta'$  – Nesta fase, devido à ausência da fase  $\alpha$  os latões tornam-se mais duros e frágeis, deixando de ter interesse industrial.

Aos latões binários monofásicos ( $\alpha$ ) ou bifásicos ( $\alpha+\beta$ ) são por vezes adicionados alguns elementos de liga com o objectivo de melhorar determinadas propriedades. Existem, no entanto, alguns latões especiais nos quais determinados elementos de liga (Sb, Mn, Fe, Ni, Al) existem em teor superior ao normalmente presente nas ligas comuns para conferir propriedades adequadas para determinadas aplicações, por exemplo, aplicações navais [8].

Os latões estão sujeitos a um tipo de corrosão que ocorre quando a peça final tem aplicações onde está sujeita a águas agressivas, esta corrosão ocorre devido à remoção do zinco na superfície de

contacto com o meio agressivo, e é designado por dezincificação. Este problema provoca abertura de fissuras e cavitação [8]. A adição de alguns elementos de liga pode dificultar este tipo de corrosão, tornando um latão vulgarmente designado por DZR. A distinção entre um latão normal e um latão DZR é feita a partir de um teste de dezincificação onde no final se irá poder medir a espessura superficial da amostra em que ocorreu corrosão [10-12].

Como os latões possuem vários elementos de liga, importa saber qual o efeito de cada um desses elementos. O alumínio é adicionado em baixas percentagens (0.15 a 0.35 %) para impedir a perda do zinco durante a fusão do metal, percentagens maiores do que as indicadas podem causar rechupes no fundido [13]. Para minimizar a dezincificação adiciona-se fósforo, antimónio ou arsénio à liga base [3]. O chumbo, adicionado em pequenas quantidades, melhora a maquinabilidade dos latões, exercendo a função de um lubrificante sólido. As propriedades dos fundidos são melhoradas com a afinação de grão, isto é, um fundido é tão melhor quanto menor for o tamanho de grão que possui. Para fazer afinamento de grão podem adicionar-se os seguintes elementos: ferro, estanho, chumbo, alumínio, bismuto e selénio [8,14]. A adição de manganês promove uma boa desoxidação durante a fusão do metal e quando solidificado aumenta a resistência mecânica do fundido. Outro elemento importante é o silício, já que em fundição se utiliza fortemente latões bifásico, a adição deste elemento facilita a estabilização da fase beta ( $\beta$ ), melhorando também a vazabilidade dos latões [8].

Visto que os latões podem compostos por vários elementos de liga, todos eles irão influenciar o equilíbrio das fases e conseqüentemente a qualidade do fundido final. Assim, utiliza-se o título fictício de cobre (TF(Cu)) que relaciona as percentagens dos elementos de liga e nos permite determinar se a composição utilizada é a que gera melhores resultados finais. Este TF deve estar compreendido entre 58 e 61%, sendo o valor óptimo 60%. A equação (1) mostra a forma de cálculo deste TF [8]:

$$TF(Cu) = \frac{100 \times \%Cu}{\%Cu + \%Zn + 10 \times \%Si + 6 \times \%Al + 2 \times \%Sn + \%Pb + 0,9 \times \%Fe + 0,5 \times \%Mn - 1,2 \times \%Ni + 2 \times \%Mg} \quad (1)$$

O método do título fictício tem como base o movimento dos limites de solubilidade indicados pelas fronteiras  $\alpha/(\alpha+\beta)$  e  $(\alpha+\beta)/\beta$  tendo em conta o factor constante que cada elemento da liga representa. O aumento do título fictício representa um aumento da proporção da fase  $\beta$ , assim, os elementos de liga que geram um aumento do TF são considerados betagêneos. Estes elementos são o alumínio, o silício e o estanho, visto possuírem um factor de multiplicação superior a 1. Os elementos

cujo factor é inferior a 1 (ferro, manganês e níquel) promovem a formação da fase  $\alpha$ , sendo por isso alfacêneos.

Outros parâmetros importantes na fundição, e que dependem da liga que é utilizada, são a temperatura do banho e o factor de contracção volumétrica. A temperatura do banho é dependente da composição da liga, e no caso dos latões pode variar entre 960 e 1050 °C. A utilização de temperaturas superiores provoca uma perda de zinco acentuada, com emissão de gases tóxicos, desperdício de matéria-prima, oxidação do metal e alteração do título fictício [8,15-16.]

A contracção volumétrica é também importante pois na passagem do estado líquido para o sólido existe variação de volume e se este valor não for conhecido não se conseguirá dimensionar correctamente os moldes a utilizar. A Tabela 1 indica os valores de contracção para diversos materiais, incluindo o latão (Cu-Zn).

**Tabela 1 - Valores de contracção linear para alguns metais [17]**

<b>Material</b>	<b>Contracção Linear (%)</b>
Ferro Fundido	0,9 a 1,3
Latão	1,3
Ligas de Alumínio	1,3
Ligas de Zinco	2,6%

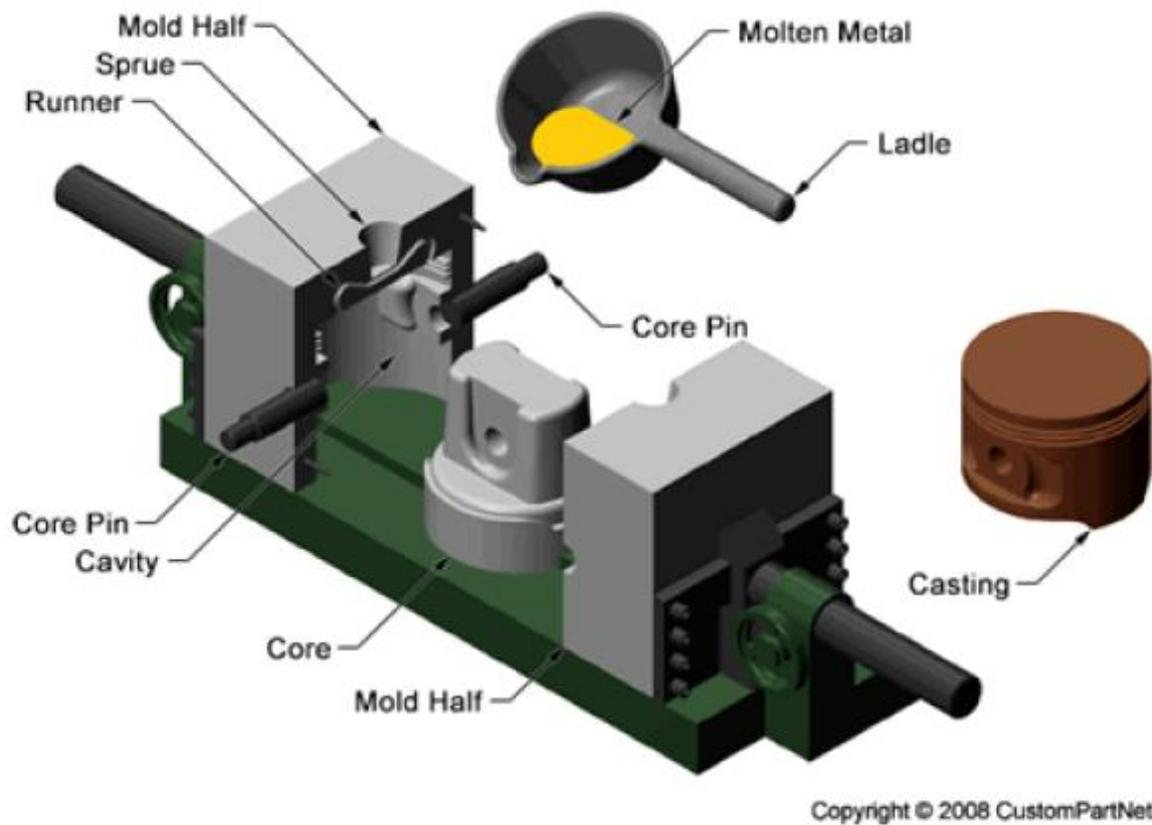
Os fundidos podem possuir uma vasta variedade de defeitos, e alguns desses defeitos podem ser gerados pela composição da liga ou temperatura do banho, entre os quais se encontram [8,18]:

- Metal mal ligado – pode ser causado devido à utilização de temperaturas demasiado baixas;
- Enchimento incompleto – pode também ser causado devido à utilização de temperaturas demasiado baixas;
- Rechupes – podem aparecer devido à utilização de temperaturas muito altas ou à composição da liga;
- Rachadelas – podem ser originadas devido a temperaturas muito altas ou elevados teores de zinco ou estanho na liga;
- Caudas de cometa – Tendem a aparecer devido à utilização de uma composição de liga não adequada;
- Refervido – Pode ocorrer devido a temperaturas de vazamento elevadas.

### **3.2. Fundição em Moldação Permanente**

Existem várias tecnologias utilizadas na fundição de metais, cada uma com as suas vantagens e desvantagens, nas quais se utilizam diversos tipos de molde/moldação, nas quais se incluem. As moldações em areia, cera perdida, lost-foam e moldações metálicas permanentes. Por exemplo, a utilização de moldações em areia tem um custo menor para pequenas séries, no entanto quando se pretende produzir grandes séries de peças pequenas e a liga a utilizar tem baixo ponto de fusão, torna-se atractivo a utilização de moldações permanentes – coquilhas. Este processo também permite um melhor acabamento superficial dos fundidos, sendo que este depende do acabamento superficial da coquilha, nunca podendo ser melhor que o desta [19-22].

As coquilhas são moldações metálicas, cada peça necessita de duas meias moldações que contêm o negativo da peça a obter. A moldação deve prever a contracção que ocorre durante o arrefecimento do metal, caso contrário não se poderá cumprir as cotas especificadas. Deve também ser aquecida entre 100 e 150 °C para minimizar os choques térmicos bem como facilitar vazamento [23]. A Figura 5 demonstra o processo de vazamento em coquilha.



**Figura 5 - Representação de uma coquilha com um macho posicionado e peça final [24]**

O material das moldações depende da liga e do tamanho das peças a vazar. A Tabela 2 mostra os materiais a usar em cada situação, de forma a otimizar o processo:

**Tabela 2 - Material da coquilha tendo em conta o metal a vazar e o número de vazamentos sem reparação [18]**

Casting alloy	Number of pours		
	1000	10,000	100,000
<b>For small castings (25 mm, or 1 in., maximum dimension)</b>			
Zinc	Gray iron; 1020 steel	Gray iron; 1020 steel	Gray iron; 1020 steel
Aluminum, magnesium	Gray iron; 1020 steel	Gray iron; 1020 steel	Gray iron with AISI H14 inserts; 1020 steel
Copper	Gray iron	Gray iron	Alloy cast iron
Gray iron	Gray iron <sup>(a)</sup>	Gray iron <sup>(a)</sup>	Quantity not poured
<b>For medium and large-size castings (up to 915 mm, or 36 in., maximum dimension)</b>			
Zinc	Gray iron; AISI H11 <sup>(b)</sup>	Gray iron; AISI H11 <sup>(b)</sup>	Gray iron; AISI H11 <sup>(b)</sup>
Aluminum, magnesium	Gray iron	Gray iron	Gray iron; AISI H11 or H14 <sup>(c)</sup>
Copper	Alloy cast iron	Alloy cast iron	Alloy cast iron <sup>(d)</sup>
Gray iron	Gray iron <sup>(a)</sup>	Gray iron <sup>(a)</sup>	Quantity not poured

Mesmo que a escolha do material seja a mais correcta, existem vários factores que influenciam a durabilidade das moldações, a ASM indica os seguintes:

- Temperatura de vazamento;
- Peso do fundido;
- A forma da peça;
- Sistema de arrefecimento;
- Ciclos de aquecimento;
- Pré-aquecimento do molde;
- Revestimento do molde;
- Material do molde;
- Armazenamento;
- Limpeza;
- Sistema de gitagem;

- Modo de operação (automático ou manual).

Para aplicações onde se utiliza vazamento em coquilha podem existir variações tendo em conta o tipo de vazamento, podendo ser por gravidade, vazamento sob pressão (fundição injectada) ou squeeze casting (solidificação sob pressão). O processo de menor custo, e por isso amplamente utilizado, é o vazamento em coquilha por gravidade, é um método simples em que enchimento é garantido pela força da gravidade [25-26].

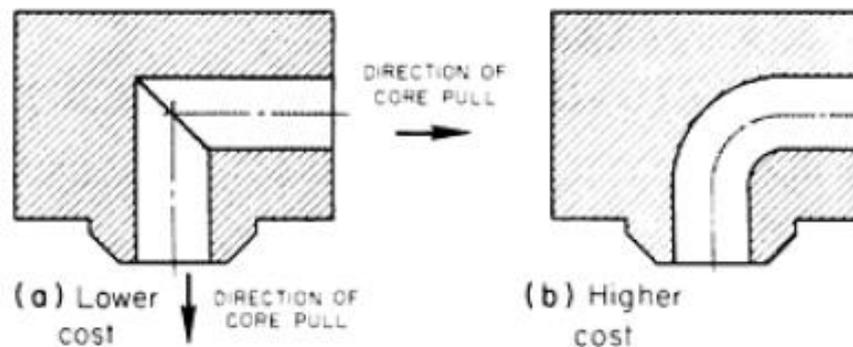
A utilização de moldações metálicas requer a utilização de um banho de grafite que têm como função proteger a coquilha, agindo como barreira térmica e química e que facilita, também, a desmoldação das peças vazadas. Assim, uma boa pintura grafitizante deve promover um bom isolamento térmico, possuir uma granulometria fina, ter baixa higroscopia e possuir uma boa capacidade de lubrificação [8]. A temperatura do banho de grafite deve rondar os 30 °C, não devendo ultrapassar os 60 °C.

Alguns dos defeitos dos fundidos podem ser originados devido ao desenho ou temperatura da coquilha, condição de vazamento e condição do banho de grafite. Entre esses defeitos encontram-se [8,27-28]:

- Metal mal ligado – este defeito pode ser originado devido a um incorrecto vazamento (basculamento lento ou interrompido), sistema de gitagem não adequado ou temperatura da coquilha baixa;
- Rugosidade – pode dever-se a um sistema de gitagem deficientemente projectado, enchimento turbulento ou grafitização insuficiente;
- Enchimento incompleto – pode ocorrer devido a um sistema de gitagem não adequado, vazamento demasiado lento, temperatura da coquilha baixa ou grafitização insuficiente;
- Rechupe – pode aparecer devido ao incorrecto traçado da peça e sistema de gitagem, basculamento incorrecto ou grafitização insuficiente;
- Inclusões de grafite – podem ocorrer devido á utilização de um banho não adequado (demasiado espeço, má diluição, banho antigo);
- Rachadelas – podem dever-se a um choque térmico, temperatura da coquilha não uniforme ou desmoldagem rápida;
- Rebarbas – podem surgir devido a folgas no fecho da coquilha;
- Refervido – pode ocorrer devido a humidade na coquilha ou basculamento incorrecto.

### 3.3. Machos

Quando se pretende obter peças com pormenores no interior é necessário a utilização de machos. Para fundição em moldação permanente utilizam-se três tipos de machos: em metal (ferro fundido cinzento ou aço), areia ou gesso. Os machos metálicos podem apenas ser usados se for fácil a sua remoção após a solidificação do metal, esta solução deve ser escolhida sempre que possível pois para cada coquilha só é necessário o fabrico de um macho. No entanto, muitas vezes os fundidos não permitem a extracção do macho, nestes casos devem usar-se machos de areia ou gesso. Deste modo terá que ser fabricado um macho para cada peça a vaziar. No caso de utilização de machos não metálicos, chama-se a esta tecnologia fundição em moldação semipermanente (Figura 6).



**Figura 6 - Exemplo de aplicação de machos: a) pode usar-se um macho metálico; b) não é possível a utilização de um macho metálico [18]**

Para além de conferir a geometria correcta à peça, os machos possuem também uma função de extracção de gases. Os gases gerados durante o vazamento devem ser extraídos, caso contrário irão formar defeitos na peça. Os machos em areia, por serem porosos, facilitam também este processo de ventilação, pois como a moldagem é metálica não permite a saída de gases. Sendo, por vezes, também necessária a criação de respiros [29].

Existem vários processos de produção de machos em areia, que se podem dividir em três grandes grupos: cura a frio, cura a quente e sem cozedura [18,30]:

- Cura a frio:
  - $SO_2$ ;

- CO<sub>2</sub>;
- Uretano fenólico/Amina;
- Éster fenólico;
- Cura a quente:
  - Shell;
  - Fenólico (hot box);
  - Furano (hot box);
  - Furano (álcool furfurílico) (warm box);
- Sem cozedura:
  - Furano/Ácido;
  - Fenólico/Ácido;
  - Fenólico alcalino/Éster;
  - Silicato/Éster;
  - Uretano fenólico/Amina;
  - Isocianato de polioliol;
  - Fosfato de alumina.

Nas fundições de latão são utilizados dois tipos de machos com cura a quente: Shell e Furano (hot box). Nos machos do tipo Shell (casca) a mistura utilizada já vem preparada pelo fornecedor, e apenas é feita a cura do macho dentro da caixa de machos. Neste processo a areia só permanece na caixa tempo suficiente para uma pequena camada de areia reagir, sendo o resto da areia removida e reaproveitada. Os machos são, portanto, ocos, isto só é possível porque uma pequena camada de areia é suficiente para garantir que o macho tem a resistência necessária para suportar os esforços de vazamento. No entanto deve-se limitar a utilização destes machos pois, embora tenham uma maior resistência, libertam compostos prejudiciais para o banho da grafite, dificultando a adesão deste à coquilha durante o vazamento. Para além disso, após o vazamento é mais difícil de extrair a areia das peças do que no caso dos machos obtidos pelo processo caixa quente.

No processo caixa quente a mistura é efectuada por cada utilizador com os seguintes constituintes: areia, resina e catalisador. A mistura deve ser ajustada para cada situação pois estão disponíveis vários tipos de areias com diferentes granulometrias, e a quantidade de resina pode variar bem como a quantidade de catalisador. As temperaturas de cura devem encontrar-se entre 200 e 250°C [18,31].

O índice granulométrico representa o tamanho de grão que uma dada areia possui, permitindo saber se é uma areia fina ou não. Sendo que a superfície do fundido no limite terá a mesma rugosidade da superfície com a qual está em contacto, e a rugosidade é menor quando os grãos das areias são mais finos, estamos perante uma decisão teoricamente fácil: quanto mais fina for a areia melhor será o acabamento superficial. No entanto surgem outros problemas com a utilização de areia fina:

- Quanto menor forem os grãos mais ligante (neste caso resina) é necessário utilizar, pois o ligante deve cobrir toda a superfície dos grãos e a área específica aumenta com a diminuição do tamanho de grão. O aumento da resina provoca a formação de um maior volume de gases durante o vazamento e um maior custo de produção;
- A par do aumento de gases gerados a permeabilidade (capacidade de libertação de gases) diminui com a diminuição do tamanho dos grãos de areia, podendo originar um aumento de porosidades nos fundidos;
- Para além dos pontos acima mencionados, a utilização de areias demasiado finas é economicamente menos atractivo, pois as areias finas são por norma mais caras e para além disso irá ter um custo extra pelo aumento da quantidade de resina, quando comparado com uma areia mais grossa.

A resina é utilizada como ligante, esta tem que revestir os grãos de areia de modo a uni-los quando sujeito a aquecimento (cura). O ligante irá, após a cura, garantir a resistência suficiente no macho para que este suporte as forças geradas durante o vazamento, sendo essa resistência maior quanto maior for a quantidade de ligante utilizado. Os valores comuns de resina variam entre 1 a 2% em relação ao peso da areia e o catalisador varia entre 20 a 30% da quantidade de resina. Deve ter-se em conta que a resina e o catalisador utilizados irão gerar gases durante o vazamento, o volume de gases gerados é maior quanto maior for a quantidade destes constituintes.

Como se pode verificar, a escolha das condições de fabrico dos machos influenciam a qualidade do fundido, assim existem vários defeitos na peça final que podem ser atribuídos aos machos [8]:

- Macho partido ou deslocado – pode ser causado pela má montagem do macho, composição da areia incorrecta, mau dimensionamento ou mau ajustamento à coquilha;
- Rugosidade – pode dever-se à desagregação do macho;

- Poros – podem aparecer devido à baixa permeabilidade dos machos;
- Refervido – podem ser causado pela utilização de machos húmidos;
- Inclusões de areia – aparecem geralmente devido à má confecção dos machos (composição, compactação ou temperatura de cura).

## 4. Processo de Fabrico Utilizado pela Empresa

O desenvolvimento de um sistema de qualidade requer um profundo conhecimento do processo que se pretende controlar/melhorar. Por essa razão, neste capítulo será feita a descrição de todo o processo de fabrico utilizado pela empresa, bem como das variáveis existentes em cada uma das etapas que o constituem. A Figura 7 mostra o Layout da empresa onde se pode ver o percurso que cada peça percorre desde o fabrico e retoque dos machos, passando pelo vazamento, extracção dos machos, corte dos gitos, grenalhagem e por fim o controlo e embalamento das peças produzidas. Pode ver-se que, apesar de não muito desejados, existem diversos *stocks* intermédios, ao longo do processo sendo difícil de contornar esta situação, pois tanto os machos como as peças vazadas não podem ser trabalhadas imediatamente após o seu fabrico.

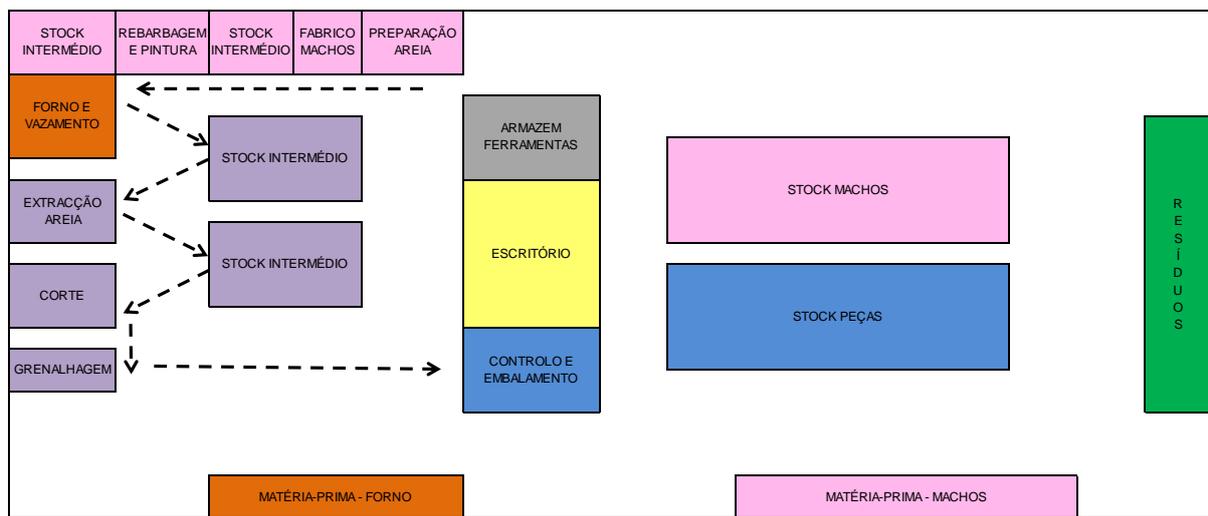


Figura 7 - Layout da empresa

Nas secções seguintes abordar-se-á as distintas secções integrantes do processo de fabrico e descrever-se-á as operações realizadas em cada uma delas.

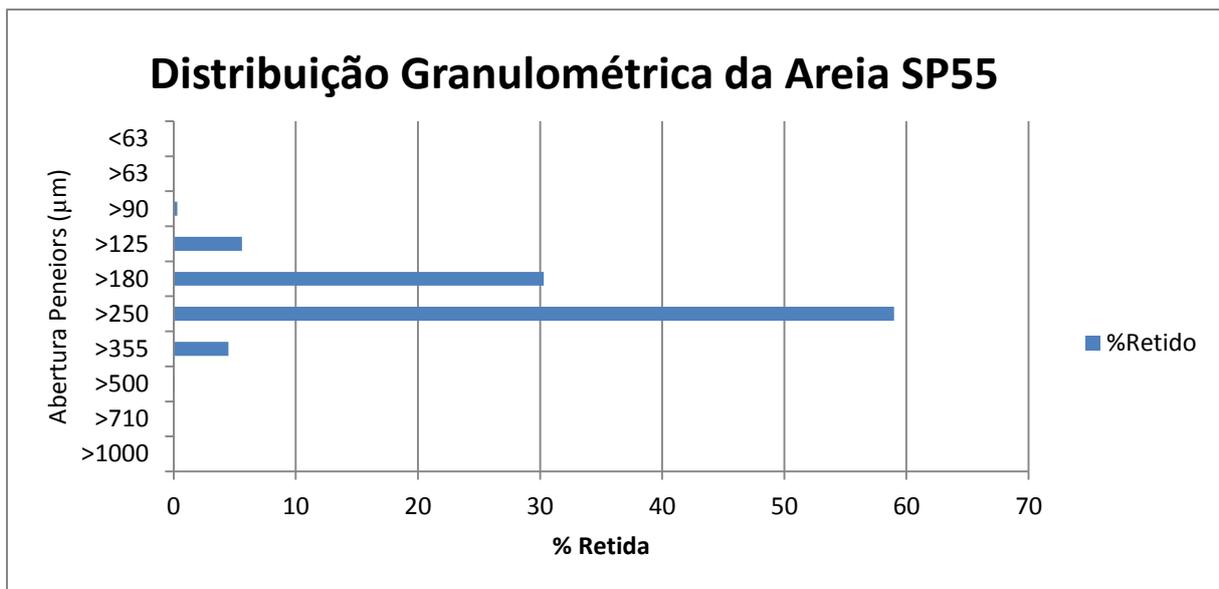
## 4.1. Fabrico de Machos

Na fase de fabrico de machos existem três sub-etapas com especificações próprias. Desta forma o fabrico dos machos é constituído por: preparação da areia, processamento dos machos e retoque dos machos.

### 4.1.1. Preparação da areia

A fase inicial de toda a cadeia produtiva inicia-se com a preparação da areia a ser utilizada no fabrico dos machos. Essa areia é constituída por uma mistura de areia SP55, endurecedor AT20 e resina SANSET 031 nas formulações/teores adequados.

Na Figura 8 e nas Tabela 3 Tabela 6 são indicadas as características inerentes a cada um destes produtos, obtidas com base nos dados disponibilizados pelo fornecedor.



**Figura 8 - Distribuição Granulométrica da areia SP55**

**Tabela 3 - Características físicas da areia SP55**

Diâmetro Médio	245 $\mu\text{m}$
Superfície Especifica Real	130
Densidade Real	2,65 $\text{g}/\text{cm}^3$
Dureza	7 Mohs

**Tabela 4 - Composição química da areia SP55**

<b>Composto</b>	<b>% em peso</b>
SiO <sub>2</sub>	99,3%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,100%
TiO <sub>2</sub>	0,080%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,300%
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	0,090%
CaO+MgO	0,013%

**Tabela 5 – Características do endurecedor AT20**

pH	4 a 6
Densidade	1,160 a 1,195
Transformação Térmica	> 160°C

**Tabela 6 - Características resina SANSET 031 (Dados do Fornecedor)**

Densidade a 20 °C	1,23 a 1,26
Formaldeído	0,5 a 3%
Mudança de Estado	105 °C (à pressão atmosférica)

A qualidade da mistura final irá influenciar a qualidade dos machos, logo é importante seguir as instruções de processamento de forma rigorosa. De acordo com as indicações técnicas a composição final da mistura deverá ser constituída por:

1. Areia SP55
2. Endurecedor AT20 – 25% da quantidade de resina
3. Resina SANSET 031 – 2% da quantidade de areia

Para além das quantidades correctas, o processo de mistura deve também respeitar algumas condições de preparação:

1. Colocar a areia no moinho;
2. Adicionar o endurecedor lentamente;
3. Promover a mistura durante 1 minuto;

4. Adicionar a resina lentamente;
5. Deixar misturar por um período de 2 minutos;
6. Desligar o moinho.

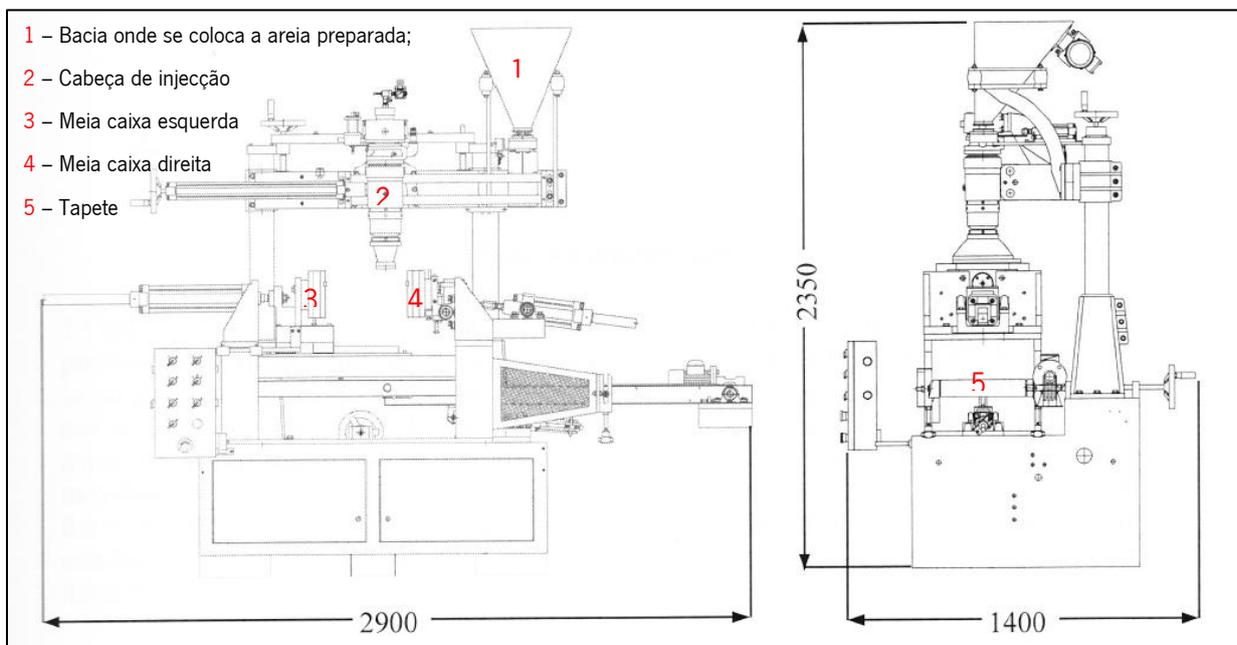
Outro aspecto que influencia a qualidade da areia é o tempo de espera. Por esse motivo definiu-se internamente que a areia deve ser usada no dia em que foi preparada, minimizando assim a perda de propriedades.

Neste posto de trabalho existem equipamentos de auxilio: um moinho misturador, uma balança, e copos para adicionar o endurecedor e a resina.

#### 4.1.2. *Processamento dos Machos*

O fabrico dos machos é uma das fases mais importantes de todo o processo de fabrico: um mau macho não irá dar origem a uma peça final com sanidade.

Os machos são produzidos em duas máquinas automáticas idênticas (Figura 9), onde são colocadas as caixas de machos. Cada meia caixa está apoiada e é aquecida até uma temperatura especificada (150 a 180 °C). Depois do fecho da caixa é injectada a areia e é dado tempo (10 a 30 segundos) para que ocorra cura da superfície do macho. Posteriormente o macho é extraído para um tapete onde será avaliada a sua qualidade.



**Figura 9 - Máquina de machos BIANCHI**

Para cada referência de machos existem vários parâmetros operatórios (tempos (s) e temperaturas (°C)) a especificar e que são descritos na Tabela 7.

**Tabela 7 - Parâmetros Programáveis nas máquinas Bianchi**

<b>Parâmetros a programar</b>	<b>Unidades</b>	<b>Nome no Programa</b>
Fecho das moldações;	s	Carro-Braço
Deslocamento do tapete para mover os machos, deixando zona livre para os próximos a retirar;	s	Andamento Tapete
Tempo para deslocar a areia do cesto de armazenamento para a cabeça de injeção, este tempo deve ser avaliado para evitar que se exceda a capacidade da mesma originando perda de areia;	s	Carga Areia
Tempo entre o fim de um ciclo até iniciar o próximo;	s	Ensaio Ciclo
Acção dos extractores para remover os machos;	s	Extracção Horizontal
A caixa está fechada e os extractores verticais sobem para fazerem alguns pormenores na parte inferior do macho (Figura 10);	s	Extracção Vertical
Subida do tapete para recolha dos machos, para estes não quebrarem;	s	Movimento Tapete
Tempo necessário para a inversão da meia caixa direita, tomando também em consideração o tempo de ejeção necessário para a deposição do macho no tapete transportador;	s	Inversão
Tempo em que a caixa está fechada e ocorre a cura da superfície	s	Cozer
Tempo de descarga para o ar que permanece na cabeça de injeção;	s	Descarga
Tempo de injeção de ar na cabeça de injeção;	s	Disparo
A cabeça de injeção está descida para encher a moldação, este tempo deve ser ligeiramente superior ao de injeção	s	Descida
Temperatura Placa Esquerda	°C	
Temperatura Placa Direita	°C	



**Figura 10 - Pormenor do macho gerado pelos extractores verticais**

Estes parâmetros têm que ser estudados e otimizados para cada macho e memorizados na máquina, para garantir que todos serão fabricados nas mesmas condições.

Para a definição destes parâmetros deverá ter-se em consideração alguns factores, nomeadamente: os machos devem estar cozidos o suficiente para garantir alguma resistência superficial, no entanto a zona interior da maior secção pode permanecer crua (Figura 11). Tal condição aumentará a produtividade, pois o tempo de cura é minimizado.



**Figura 11 - Espessura de cura do macho**

No entanto, nem todos os aspectos relacionados com a qualidade dos machos são programáveis, pois não dependem totalmente da máquina mas igualmente do operador. São eles:

- Limpeza – Deve utilizar-se a pistola de ar com regularidade para remover areias soltas da caixa para garantir que o enchimento ocorre nas melhores condições;
- Aplicação de desmoldante – O desmoldante SEPARADOR 60 deve ser aplicado de forma regular ou sempre que exista dificuldades de extracção do macho, de modo a que não quebrem nem permaneçam na caixa por um período superior a um ciclo;
- Ajuste das meias caixas – Se a caixa de machos não fechar correctamente, resultará no aparecimento de zonas com ausência de material (Figura 12), este problema é corrigido realinhando as meias caixas.



**Figura 12 - Defeito causado por mau fecho da caixa**

Para além dos machos produzidos pelo processo caixa quente, são também utilizados na empresa machos produzidos pelo processo Shell (casca), produzidos externamente. Estes machos são mais resistentes do ponto de vista mecânico e fazem isolamento térmico local. Em algumas situações, como é o caso das peças com alimentadores, devido à rapidez de abertura das coquilhas, o metal dos alimentadores ainda não está totalmente solidificado aquando da extracção da peça, assim, o alimentador é suportado por um macho tipo Shell. Nesta caso a utilização de um macho obtido pelo processo hot box seria impossível, pois a ligação da areia diminui quando o metal é vazado, havendo desintegração do macho. Na Figura 13 pode ver-se a montagem na coquilha de dois machos de tipos diferentes.



**Figura 13 - Montagem na coquilha de dois tipos diferentes de machos**

### ***4.1.3. Acabamento dos Machos***

Depois de fabricados, os machos passam por outra etapa antes de se efectuar o vazamento, na qual são realizados os acabamentos necessários para que apresentem as melhores condições para desempenharem a sua função.

#### ***4.1.3.1 Rebarbagem***

Todos os machos passam por esta etapa, onde são removidas todas as rebarbas geradas durante o seu fabrico bem como todas as partes que não fazem parte do macho e que existem apenas para facilitar a sua produção na fase anterior (canais de enchimento dos machos).

As Figura 14 e Figura 15 representam um macho antes e após rebarbagem.



**Figura 14 - Macho antes de rebarbar**



**Figura 15 - Macho depois de rebarbar**

A rebarbagem é feita por recurso a limas ou arame, representados nas Figura 16 e Figura 17.



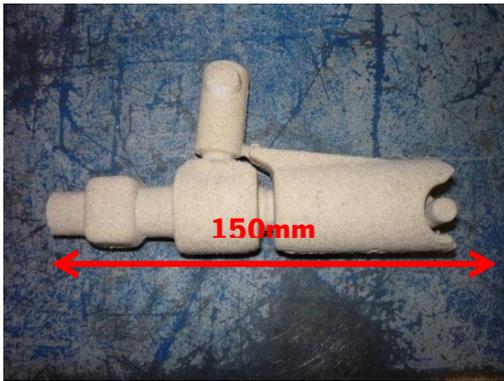
**Figura 16 - Conjunto de limas**



**Figura 17 – Arame**

#### ***4.1.3.2 Pintura***

Algumas peças apresentam defeitos que podem ser minimizados/eliminados com a pintura dos machos. Por vezes uma dada peça possui rechupes sempre na mesma zona, devido à contracção do metal, que solidifica primeiro nas zonas de menor espessura, provocando defeitos nas zonas de maior massividade. Neste caso aplica-se uma pintura de um material refractário que irá eliminar/minimizar o defeito. Esta pintura é feita com pincel ou por mergulho, dependendo da zona/peça, e é realizada com a tinta refractária KOALID 6SR à qual se adiciona álcool isopropílico para diluir. A Figura 19 apresenta o rechupe existente na peça quando utilizado um macho sem pintura (Figura 18). Quando se pinta a zona representada pela Figura 20 verifica-se que o defeito desapareceu (Figura 21).



**Figura 18 - Macho por pintar**



**Figura 19 - Rechupe na peça**



**Figura 20 - Macho pintado**

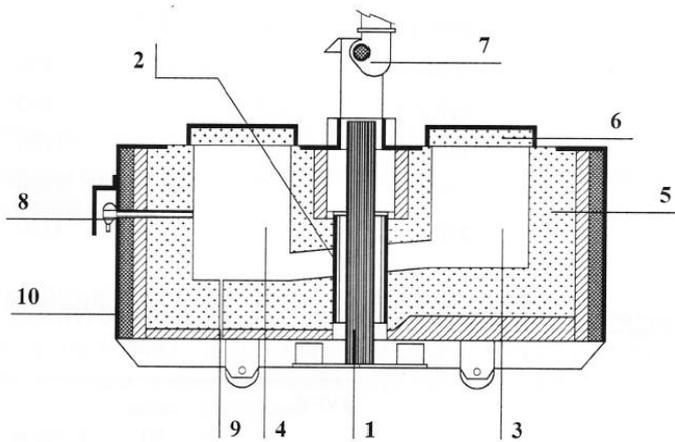


**Figura 21 - Peça sem defeito**

## **4.2. Vazamento**

Tal como a produção de machos, o vazamento é uma etapa muito importante em todo o processo. Alguns dos defeitos apresentados nas peças são gerados pela forma como se efectua o vazamento, bem como pelas características do banho usado. A Delabie utiliza o método de vazamento por gravidade, incluindo nesta secção de fabrico um forno e três coquilhadoras,

O forno utilizado é de indução cuja representação esquemática é ilustrada na Figura 22.



LEGENDA:

- 1 – Núcleo magnético;
- 2 – Indutor;
- 3 – Bacia de carregamento;
- 4 – Bacia de captação;
- 5 – Material refractário;
- 6 – Tampas das bacias;
- 7 – Ventilador para serpentina de arrefecimento;
- 8 – Termopar;
- 9 – Ligação à terra do fundido;
- 10 – Estrutura de contenção de metal

**Figura 22 - Representação esquemática do forno**

Para o fabrico de peças sanitárias em latão são utilizadas duas ligas diferentes, para diferentes aplicações: para aplicações onde é exigida maior qualidade, isto é para peças com maior resistência à dezincificação utiliza-se o CB752S (DZR) (comercialmente designada por CuZn35Pb2Al-B), e para outras aplicações recorre-se ao CB754S (comercialmente designada por CuZn39Pb1Al-B). Na Figura 23 pode ver-se os limites de composição para cada uma destas ligas. De notar que liga DZR tem uma gama de composições mais apertada, apresentando uma maior percentagem de cobre do que a liga comum (CB754S). Tendo em conta os limites de composição, é possível saber, para cada liga, quais os valores máximos e mínimos do título fictício de cobre (TF (Cu)), assim para a liga DZR o TF (Cu) pode variar entre 59,5 a 63,5% e na liga CB754S pode variar entre 56 e 63%. Como foi dito anteriormente, os valores do TF (Cu) devem estar compreendidos entre 58 e 61%, de modo a garantir as melhores propriedades de vazamento. No entanto, com os limites estabelecidos pela Delabie é possível que pontualmente o banho não possua a composição ideal para efectuar o vazamento das peças.

CuZn35Pb2Al-B = CB752S (DZR)

Composição	Matéria	% Min	Max
Cu	Cobre	61,5	64,5
Fe	Ferro	0	0,3
Ni	Níquel	0	0,2
Pb	Chumbo	1,5	2,2
Sn	Estanho	0	0,3
Zn	Zinco	31,52	36,66
Mn	Manganês	0	0,1
Al	Alumínio	0,3	0,7
As	Arsénio	0,04	0,14
Sb	Antimónio	0	0,02
Si	Silício	0	0,02

CuZn39Pb1Al-B = CB754S

Composição	Matéria	% Min	%Max
Cu	Cobre	58	63
Fe	Ferro	0	0,7
Ni	Níquel	0	1
Pb	Chumbo	0	2,5
Sn	Estanho	0	1
Zn	Zinco	30,45	41,5
Si	Silício	0	0,05
Mn	Manganês	0	0,5
Al	Alumínio	0	0,8

**Figura 23 - Limites de controlo impostos pela DELABIE para as ligas utilizadas**

As coquilhadoras, de modelo idêntico, e com as características apresentadas na Tabela 8, foram produzidas para indústrias de vazamento de latão, especialmente no sector das torneiras. Os seus movimentos são controlados por um sistema hidráulico e é possível ajustar-se todos os movimentos: velocidade e ângulo de rotação da coquilha durante o vazamento, tempo de mergulho no banho de água-grafite bem como o tempo de abertura das coquilhas para remoção da peça. Este último não é programado pois este tempo não é constante. Antes de se iniciar cada ciclo deve garantir-se que as coquilhas estão aquecidas. Posteriormente o macho é colocado e o fecho da coquilha é comandado pelo pedal da mesma ou através de botões laterais. De seguida inicia-se o vazamento, durante o qual a coquilha irá ter um movimento de rotação. Finalmente, e após um tempo pré-programado para a solidificação da peça, a coquilha é aberta e a peça é retirada com o auxílio de uma tenaz (pela zona dos gitos). A etapa seguinte inclui a limpeza das coquilhas com uma escova metálica e imersão em banho de água-grafite para reiniciar o processo.



Figura 24 - Vista frente da coquilhadora



Figura 25 - Vista lateral da coquilhadora

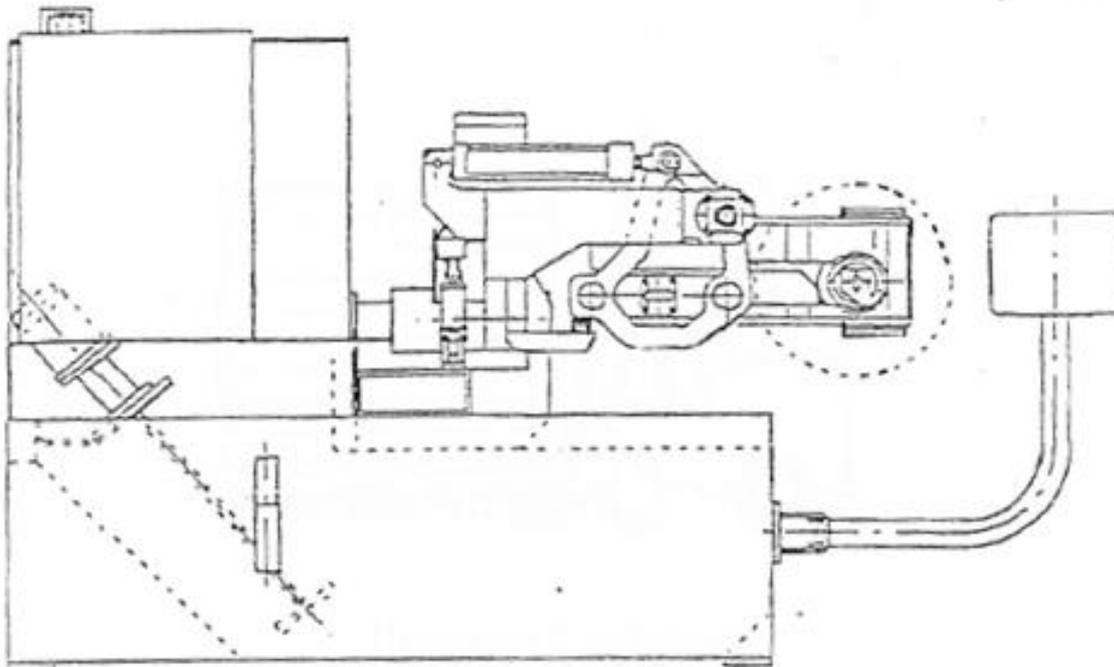


Figura 26 - Representação esquemática da coquilhadora utilizada nas instalações

Tabela 8 - Dados técnicos coquilhadora

Dimensão máxima das coquilhas	Ø450mm
Peso máximo das coquilhas	130kg
Rotação para vazamento frontal ou lateral	0° a 90°
Rotação no banho	0° a 90°

Apesar de a ASM (American Society for Metals) considerar que o material mais indicado para o fabrico de coquilhas para fundição de latão é o ferro fundido, a Delabie utiliza coquilhas de uma liga cobre-níquel (AMPCOLOY 940), cuja composição se encontra descrita na Tabela 9. Foi, no entanto, feita a análise química a uma amostra (Tabela 10) de uma coquilha que apresenta variações quanto à liga actual, devido a alterações normativas. Esta escolha é feita por dois motivos: o cobre facilita a extracção da peça após o vazamento e o aquecimento da coquilha durante o vazamento é mais rápido. Como o tipo de peças produzidas pela Delabie apresentam paredes finas (3mm) é importante o aquecimento da coquilha, pois se esta estiver fria (não aquecer bem durante o vazamento) as paredes finas irão solidificar antes da peça estar totalmente preenchida. A temperatura mínima estabelecida para as coquilhas após imersão em banho de grafite é de 130 °C. O revestimento de grafite dado à coquilha antes de cada vazamento serve para facilitar a desmoldagem da peça, bem como para melhorar o acabamento superficial da mesma. Apesar de existirem indicações quanto à temperatura do banho de grafite, actualmente esta temperatura não é controlada.

**Tabela 9 - Composição da liga AMPCOLOY 940**

<b>Elemento</b>	<b>% em peso</b>
Ni	2.5%
Si	0.7%
Cr	max. 0.4%
Cu	Resto

**Tabela 10 - Composição de uma coquilha**

<b>Elemento</b>	<b>% em peso</b>
Ni	2,47%
Si	0,414%
Cr	0,523%
Cu	96,5%
P	0,0592%

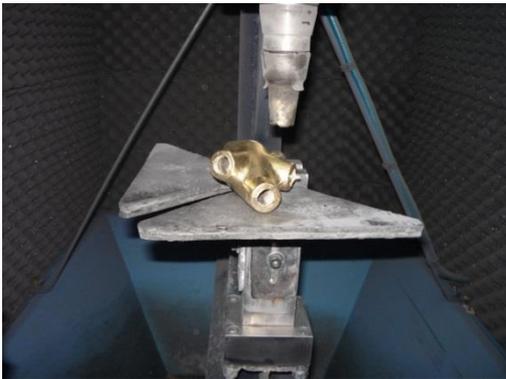
### 4.3. Extração dos Machos

Após o vazamento é necessário retirar os machos antes de a peça seguir para as operações de corte, maquinagem, polimento e revestimento (cromagem). Isto porque a presença de areia não só dificulta estes processos como danifica mais rapidamente as ferramentas utilizadas.

O processo de remoção dos machos só deve iniciar-se após a peça ter arrefecido completamente, caso contrário podem ocorrer alterações na microestrutura, bem como deformações na própria peça. Este processo é dificultado para peças vazados a temperaturas inferiores a 1000 °C, pois a resina contida na areia não é queimada na totalidade, mantendo a união dos grãos de areia [18].

Durante esta etapa é necessário garantir que a peça não se danifica, pelo que não deve sofrer batimentos bruscos. Existem dois procedimentos utilizados pela Delabie para extração dos machos:

- Para peças com canais de enchimento suficientemente grandes para garantir o ajuste na máquina utiliza-se a máquina vibratória, que irá promover a vibração da peça, soltando a areia e assegurando a sua saída;



**Figura 27 – Peça na máquina vibratória**



**Figura 28 - Máquina vibratória**

- Nos casos em que não se pode aplicar o processo anteriormente descrito, recorre-se a ferramentas de apoio e à aplicação de leves batidas, verificando sempre que a zona de choque não seja nenhuma zona importante da peça. Isto é, deve bater-se com as partes que irão ser removidas posteriormente.



**Figura 29 - Instrumentos de apoio**

#### 4.4. Corte dos Gitos

Nesta etapa são removidos os gitos das peças nas máquinas de serra de fita. Na empresa existem três máquinas para corte de gitos. A substituição da serra depende da peça a cortar, no caso de peças com muitas zonas de orifícios a serra irá desgastar mais rapidamente devido à abrasão causada pela areia, pois estes são gerados pelos machos e por vezes não é possível a sua total remoção. Já se o corte for feito em zonas maciças a serra irá ter uma maior durabilidade.



**Figura 30 – Máquina de serra 1**



**Figura 31 – Máquina de Serra 2**

Para se seleccionar correctamente a serra para a zona a cortar é necessário ter-se em consideração as características da mesma. Por definição, o passo da serra é o número de dentes que esta possui em 25mm e, durante o corte, devem estar em contacto com o gito pelo menos dois dentes da serra de modo a garantir uma vida razoável da ferramenta. Portanto a serra a seleccionar depende directamente da espessura que se pretende cortar [32]. Existem na Delabie 3 serras diferentes, adequadas para zonas de corte específicas:

- Zonas finas – Fita 8 (Figura 32)
- Zonas intermédias – Fita 6 (Figura 33);
- Zonas grossas – Fita 4 (Figura 34);



**Figura 32 - Fita 8**



**Figura 33 - Fita 6**



**Figura 34 - Fita 4**

Para além do passo deve também ter-se em conta a velocidade de corte bem como o avanço. O fornecedor recomenda, para ambas as fitas e para corte de latão, uma velocidade de 50 a 55 m/min. O avanço depende apenas do operador e não existe forma de o quantificar. As serras estão no entanto ajustadas para uma velocidade de corte de 30 m/min (Figura 35). Esta escolha foi efectuada após várias utilizações e testes, pois com esta velocidade as serras apresentam uma maior durabilidade. Ao diminuir-se a velocidade de corte diminui-se a qualidade superficial das zonas cortadas, o que neste ponto não é importante pois as peças irão ser maquinadas e/ou grenalhadas posteriormente.



**Figura 35 - Velocidade de corte utilizada**

O corte dos gitos é uma etapa onde é necessário muita precaução, pois se feito de forma incorrecta pode originar a rejeição da peça. Com o objectivo de minimizar erros e facilitar esta etapa foram construídos gabaritos, que possuem uma cavidade dom a forma da peça, nos quais a peça a cortar encaixa e deixa a zona a cortar exposta à serra enquanto a zona principal está protegida (Figura 36 e Figura 37).



**Figura 36 – Gabarito**



**Figura 37 - Corte com gabarito**

## 4.5. Grenalhagem

A grenalhagem é um método de tratamento a frio das superfícies, em que as peças são sujeitas a esforços de compressão, na superfície, causados pelo disparo de esferas metálicas (granalha) contra a superfície a alta velocidade. As condições de disparo e o tempo de tratamento depende do objectivo pretendido, pois este processo pode apenas ser utilizado para limpeza de peças. Usualmente utiliza-se a grenalhagem para conferir uma maior resistência da superfície à fadiga ou como acabamento superficial [33]. Na empresa existe uma grenelhadora (Figura 38 e Figura 39) que apenas é usada como acabamento superficial e aplicado a alguns tipos de peças, ou para remover areia das peças com defeito para voltarem a ser fundidas.



**Figura 38 – Grenelhadora**



**Figura 39 - Peças na grenelhadora**

Para inspeccionar se este processo ocorreu de forma correcta recorre-se a uma inspecção visual das peças obtidas. Pode utilizar-se como apoio imagens com vários graus de grenalhagem para melhor se identificar se a peça se encontra de acordo com o objectivo (Figura 40 e Figura 41).



**Figura 40 - Exemplo de peça mal grenalhada**



**Figura 41 - Exemplo de peça bem grenalhada**

## 4.6. Controlo e Embalamento

Ao longo de todas as etapas é feito o rastreamento das peças defeituosas, sendo retiradas da linha de produção assim que detectadas. É no entanto necessário no fim da linha produtiva uma última inspeção antes do embalamento. Nesta etapa as peças são verificadas, na sua maioria, através de inspeção visual. Este tipo de inspeção nem sempre é suficiente, e quando se tem duvidas quando ao cumprimento dos limites de tolerância especificados para uma dada cota, recorre-se à medição através do uso de um paquímetro. As peças rejeitadas nesta fase podem ter dois destinos diferentes:

- Têm material a mais e são recuperáveis, voltam para a secção de corte;
- Peças com deficiente grenalhagem voltam atrás para um novo ciclo de grenalhagem;
- Caso não seja possível a sua recuperação voltam ao forno para serem refundidas e reutilizadas.

Após a inspeção das peças é necessário embala-las para expedição. As peças podem ter como destino:

- Embalamento em caixas de madeira das peças acabadas ou semiacabadas, para expedição para França;
- Colocação em caixotes das peças semiacabadas para empresas subcontratadas onde irão fazer o acabamento (maquinagem, polimento e/ou pintura).

As paletes são pesadas à saída da empresa para um melhor controlo do volume de produção.

## **5. Avaliação da Alteração de Parâmetros no Fabrico dos Machos**

Tendo este trabalho o objectivo de melhorar qualitativamente o processo de fabrico utilizado pela empresa DELABIE, foi numa fase inicial aprofundado o conhecimento de todas as etapas produtivas para posteriormente avaliar a influência de alguns parâmetros de modo a otimizar os padrões de qualidade obtidos.

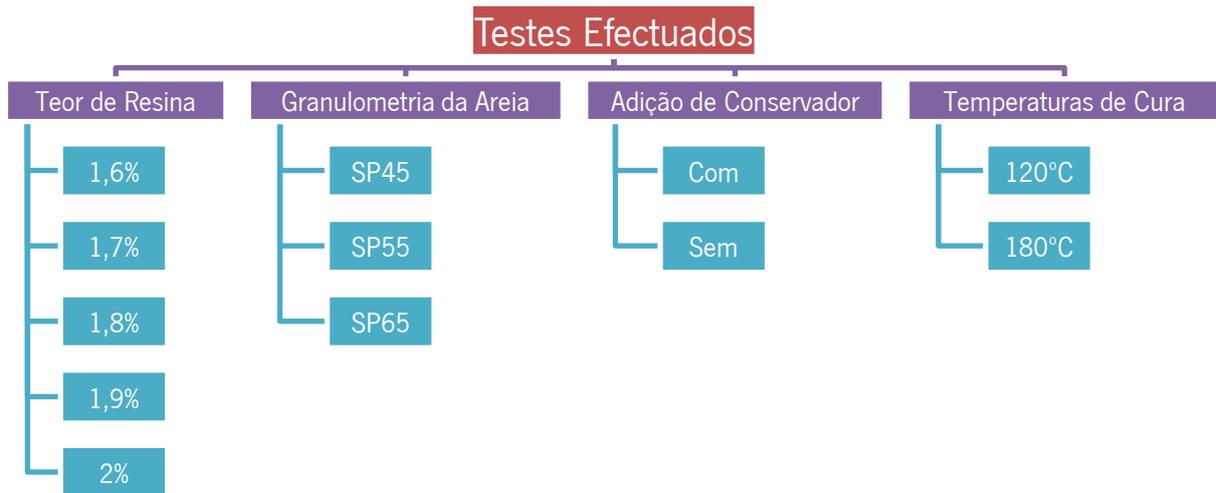
Este estudo centrou-se na fase inicial da cadeia produtiva: fabrico dos machos. Esta etapa é muitas vezes negligenciada por ter um custo relativo bastante reduzido, no entanto a qualidade dos fundidos dependem fortemente da qualidade dos machos utilizados. Assim, no presente trabalho são focados os seguintes aspectos:

- Rugosidade superficial das superfícies geradas pelos machos;
- Defeitos causados pela acumulação de gases gerados no vazamento;
- Defeitos causados pela fractura do macho durante o vazamento;
- Capacidade de remover totalmente as areias em contacto com essas mesmas superfícies.

Existem vários parâmetros que se devem ter em conta aquando do fabrico dos machos:

- Granulometria da areia;
- Quantidade de Resina;
- Quantidade de Catalisador;
- Aplicação de Conservador;
- Temperaturas e Tempos de cura.

O esquema da Figura 42 identifica os testes realizados experimentalmente para avaliar a influência dos parâmetros acima assinalados na qualidade dos fundidos e que serão descritos nos próximos subcapítulos.



**Figura 42 – Condições experimentais dos testes elaborados para estudo dos parâmetros dos machos que influenciam a qualidade do fundido**

## 5.1. Resina

Os dados técnicos fornecidos pelos fornecedores indicam que para a areia SP55 o teor de resina pode variar entre 2 a 1,6% de resina. A Delabie optou no início da laboração por utilizar a mistura de 2% de resina, no entanto, sendo este o valor máximo, considerou-se pertinente testar os diferentes teores de resina na mistura: 2; 1,9; 1,8; 1,7 e 1,6%, mantendo a quantidade relativa de endurecedor constante (25% em relação à resina).



**Figura 43 - Referência R745200B (peça com gitos)**

De seguida mostram-se os resultados obtidos para a peça RP745200B (Figura 43), bem como os parâmetros utilizados para a elaboração do teste. Os machos foram produzidos nas Máquinas Bianchi, na Delabie, com a programação descrita na Tabela 11.

**Tabela 11 - Programação utilizada para o fabrico dos machos RP745200B**

Carro Braço	2,5
Andamento Tapete	2
Carga Areia	0,1
Ensaio Ciclo	2,8
Extracção Horizontal	1,4
Extracção Vertical	32
Movimento Tapete	1,5
Inversão	1,6
Cozer	25
Descarga	1,3
Disparo	1,2
Descida	0,8
Temperatura Placa Esquerda	260
Temperatura Placa Direita	265

A Figura 44 mostra a alteração da pele interior com a variação do teor de resina. Pode verificar-se que para elevados teores de resina (2 e 1,9%) a superfície gerada pelo macho encontra-se mais rugosa que as restantes. Tal facto pode dever-se a uma excessiva quantidade de resina, aglomerando-se intersticialmente, e aquando o vazamento é substituída pelo metal originando excrescências metálicas. Assim, quando se diminui o teor de resina (1,8 a 1,6%) diminui a quantidade de resina entre os grãos de areia, reduzindo as penetrações metálicas.



**Figura 44 - Resultados obtidos com a alteração da percentagem de resina**

Assim, pode concluir-se que diminuindo o teor de resina obtém-se uma melhoria na superfície interior da peça, sendo por isso preferível a utilização de uma menor quantidade da mesma na preparação dos machos.

Os testes foram feitos ainda para outras duas referências de peças, RP749B (Figura 45) e RPE761B (Figura 46), nas mesmas condições experimentais. Apesar de para a referência RP745200B os resultados demonstrarem ser possível optar pela utilização de 1,6% de resina, numa outra referência testada (RPE761B), a utilização da percentagem mínima de resina promove um decréscimo da qualidade superficial, causada pela diminuição da resistência do macho que se desagrega durante o vazamento, libertando pequenos grãos de areia que pioram a qualidade superficial da peça. Desta forma, considerando que a selecção do teor de 1,6% de resina representa um risco, considerou-se como valor óptimo o teor de 1,7% de resina.



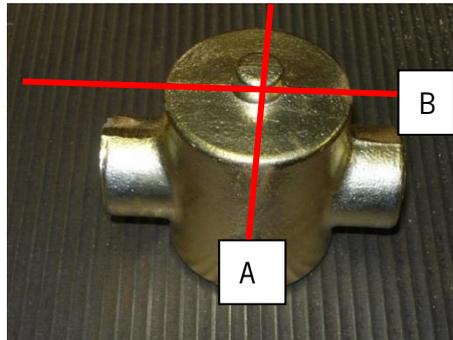
**Figura 45 - Referência RP749B (peça com gitos)**



**Figura 46 - Referência RPE761B (peça com gitos)**

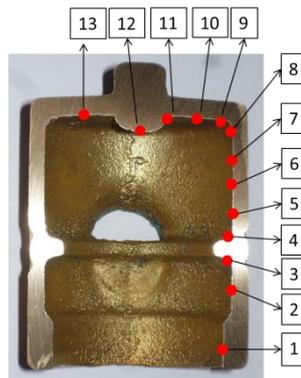
Para uma avaliação mais precisa do nível de irregularidades presentes da superfície interior das peças, seleccionaram-se duas peças da referência RP749B, produzidas com machos com diferentes composições de resina: 2% de resina, que corresponde à situação inicial, e 1,7% de resina, composição seleccionada após os testes desenvolvidos anteriormente. Essas peças foram cortadas em duas secções (Figura 47) e observadas no microscópio óptico do laboratório de metalurgia da Universidade do Minho, com ampliação de 50x. Nas fotografias recolhidas é possível visualizar o aspecto da parede interior das peças com pormenor, permitindo comparar os resultados para cada uma das situações. Nesta secção irão ser apenas comparadas as fotografias mais representativas de cada zona, no entanto, a totalidade das imagens recolhidas são apresentadas no anexo A. Nas imagens

apresentadas colou-se uma linha base imaginária da peça para evidenciar o grau de irregularidades existentes ao longo da superfície interna da peça.

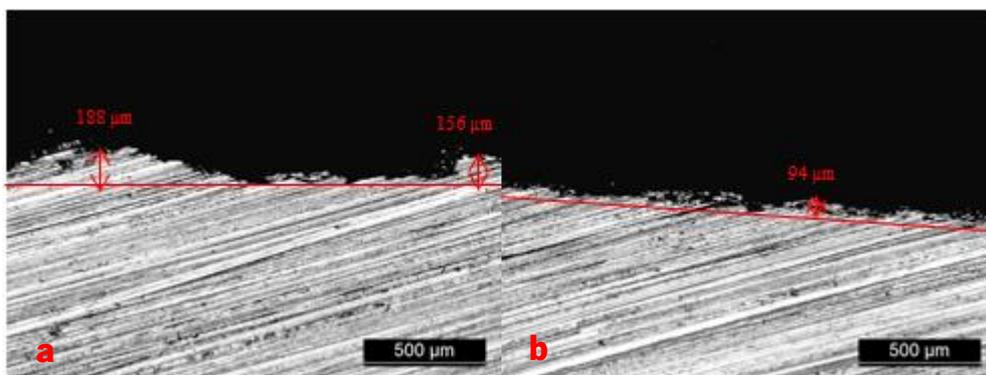


**Figura 47 - Seções de Corte**

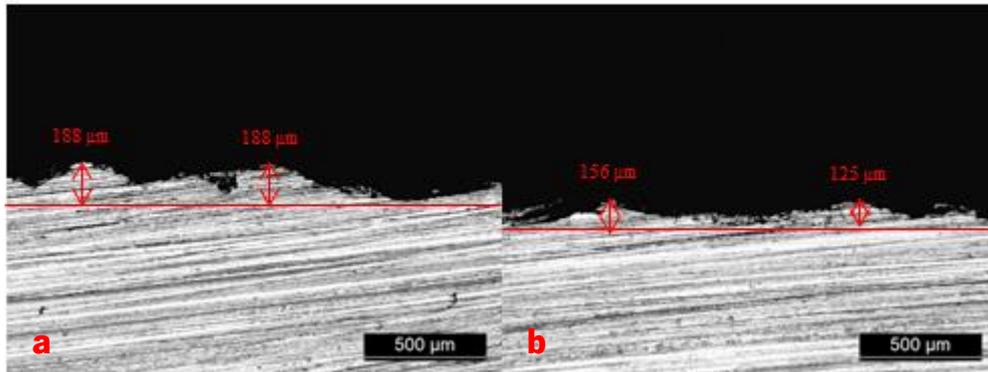
Da secção de corte A foram recolhidas as imagens em distintas zonas de acordo com o esquematizado na Figura 48. A totalidade das imagens recolhidas encontram-se em anexo, sendo aqui apenas apresentadas e comparadas as imagens representativas das zonas 1, 2, 6 e 10, para as duas composições do macho testadas (2 e 1,7% de resina).



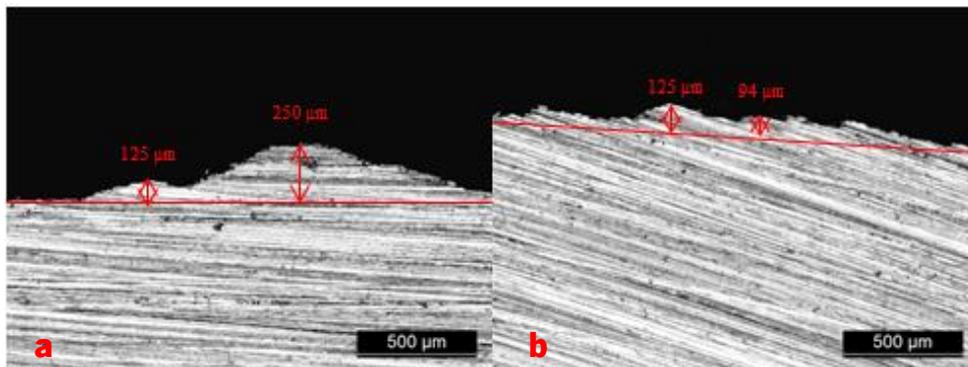
**Figura 48 - Pontos onde foram recolhidas imagens da parede interna da secção A**



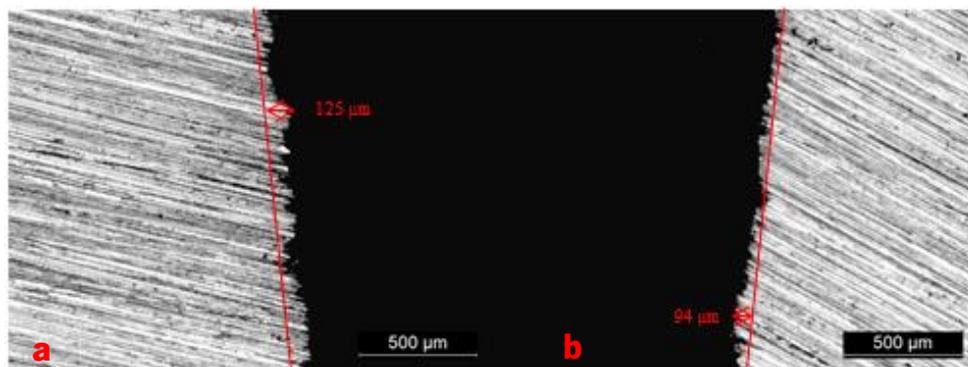
**Figura 49 - Fotografias do ponto 1: a) 2%resina e b) 1,7%resina**



**Figura 50 - Fotografias do ponto 2: a) 2%resina e b) 1,7%resina**



**Figura 51 - Fotografias do ponto 6: a) 2%resina e b) 1,7%resina**



**Figura 52 - Fotografias do ponto 10: a) 2%resina e b) 1,7%resina**

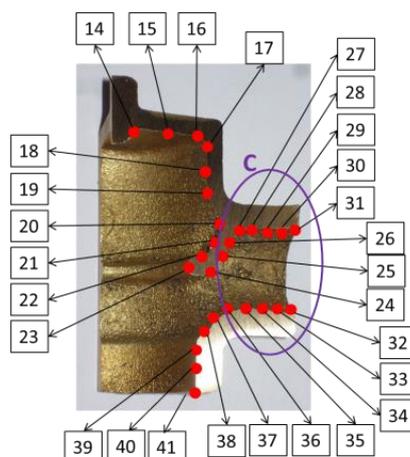
No geral, a peça produzida com um macho com superior quantidade de resina apresenta maior grau de irregularidades superficiais. A Tabela 12 compara os valores obtidos e permite aferir a amplitude das irregularidades para os 2 testes efectuados. No caso da utilização de machos com 2% de

resina este valor é de cerca de 174 $\mu$ m enquanto no caso da utilização de machos com 1,7% de resina a amplitude média é de 115  $\mu$ m (redução de 34%). Para ambas as situações, nas zonas intermédias (pontos 2 e 6) o grau de irregularidades é superior, sendo a amplitude média da peça obtida com um macho com maior quantidade de resina de 219  $\mu$ m num caso e no outro modelo em estudo de 141  $\mu$ m.

**Tabela 12 - Resumo dos valores das amplitudes das irregularidades ( $\mu$ m) obtidos na secção A**

	<b>2% de resina</b>	<b>1,7% de resina</b>
<b>Máximo</b>	250	156
<b>Mínimo</b>	125	94
<b>Média</b>	174	115
<b>Desvio Padrão</b>	43,8	25,3

Da secção B foram também tiradas varias fotografias (Figura 53), no entanto a comparação será feita tendo em conta duas zonas distintas, já que na zona C existem mais irregularidades na superfície, causadas pela má compactação do macho.



**Figura 53 - Pontos onde foram recolhidas imagens da parede interna da secção B**

As figuras seguintes mostram a superfície interna da peça, com fotografias retiradas da secção B, inicialmente comparar-se-á os pontos representativos não abrangidos pela zona C (15, 18, 21, 23, 38 e 40)

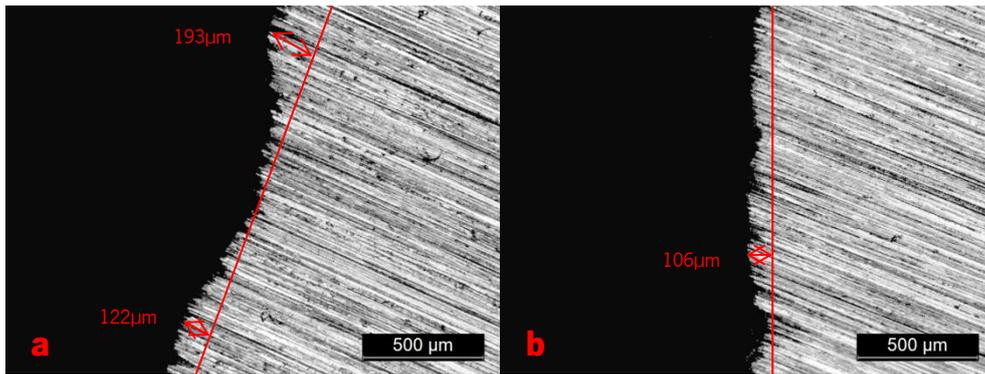


Figura 54 - Fotografias do ponto 15: a) 2%resina e b) 1,7%resina

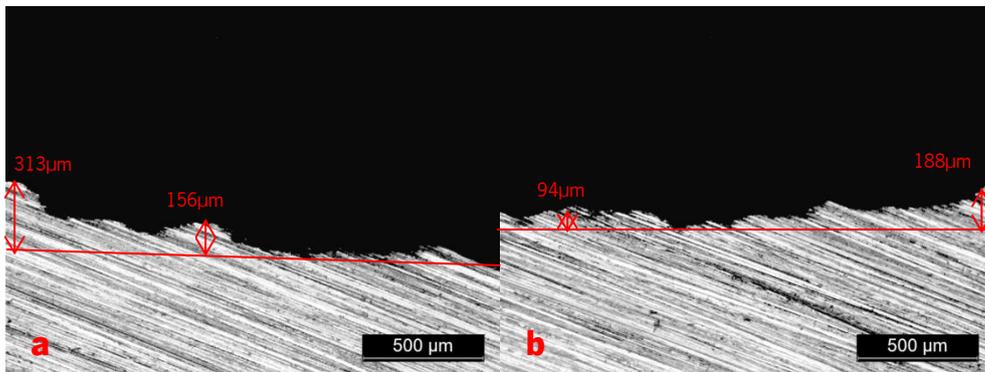


Figura 55 - Fotografias do ponto 18: a) 2%resina e b) 1,7%resina

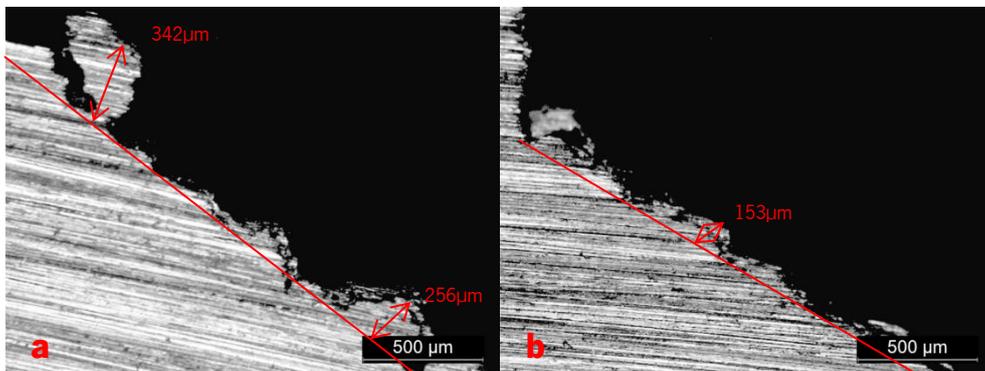


Figura 56 - Fotografias do ponto 21: a) 2%resina e b) 1,7%resina

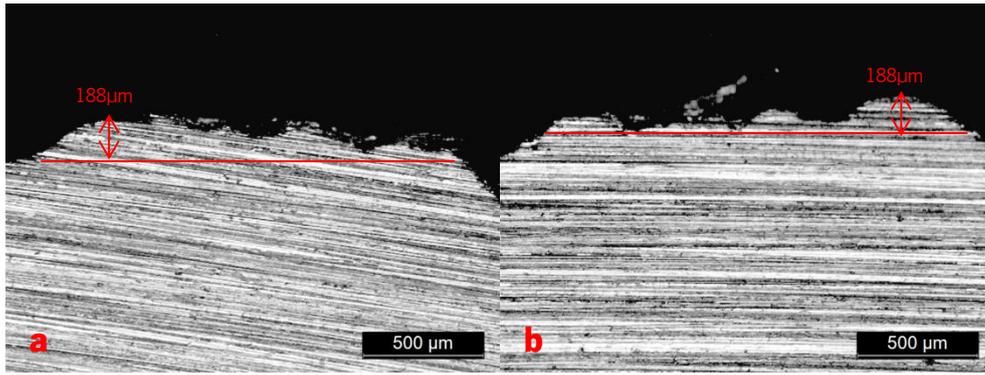


Figura 57 - Fotografias do ponto 23: a) 2%resina e b) 1,7%resina

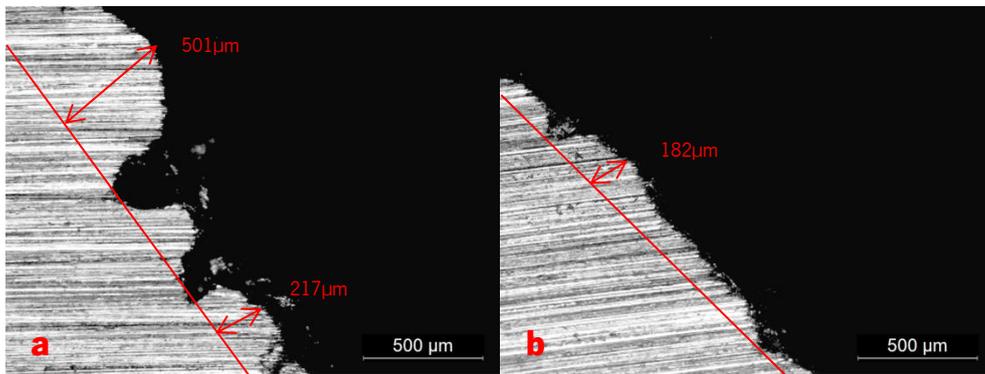


Figura 58 - Fotografias do ponto 38: a) 2%resina e b) 1,7%resina

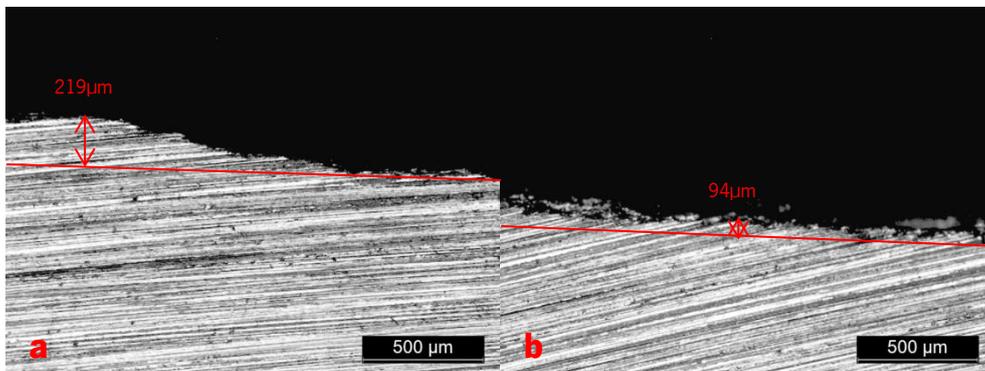


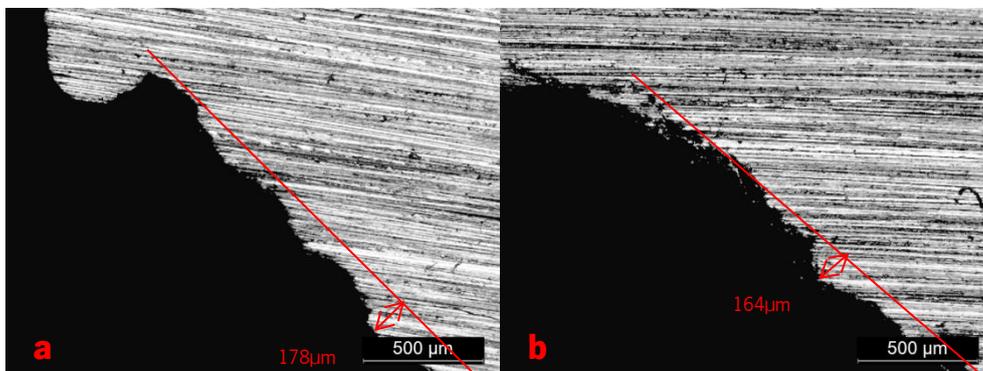
Figura 59 - Fotografias do ponto 40: a) 2%resina e b) 1,7%resina

**Tabela 13 - Resumo dos valores das amplitudes das irregularidades ( $\mu\text{m}$ ) obtidos na secção B**

	<b>2% de resina</b>	<b>1,7% de resina</b>
<b>Máximo</b>	501	188
<b>Mínimo</b>	122	94
<b>Média</b>	251	144
<b>Desvio Padrão</b>	110,5	44,4

Tal como na secção A, os resultados obtidos mostram que quando se utiliza um macho com maior quantidade de resina, as irregularidades detectadas na superfície interior da peça são maiores, esta diferença é mais significativa a meio da peça (pontos 21 e 38). A Tabela 13 compara os valores obtidos e permitindo verificar que a amplitude média das irregularidades no caso da utilização de machos com 2% de resina é de cerca de 251  $\mu\text{m}$ , enquanto no caso da utilização de machos com 1,7% de resina a amplitude média é de 144  $\mu\text{m}$  (redução 43%). Nos pontos 21, 23 e 38 as amplitudes médias aumentam, sendo no caso da utilização de machos com mais resina obtido o valor de amplitude para um modelo de 301  $\mu\text{m}$  e para outro modelo 174  $\mu\text{m}$ .

Falta apenas comparar os resultados da zona C. Em baixo podem ver-se as imagens recolhidas nos pontos 25, 28, 33 e 36.

**Figura 60 - Fotografias do ponto 25: a) 2%resina e b) 1,7%resina**

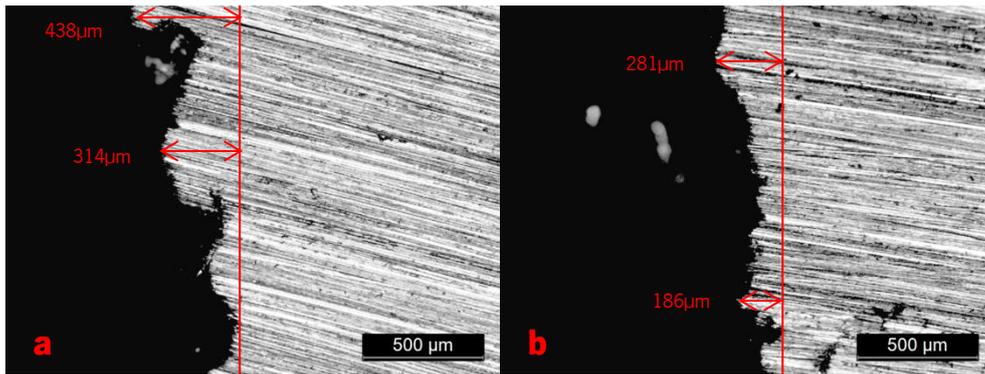


Figura 61 - Fotografias do ponto 28: a) 2%resina e b) 1,7%resina

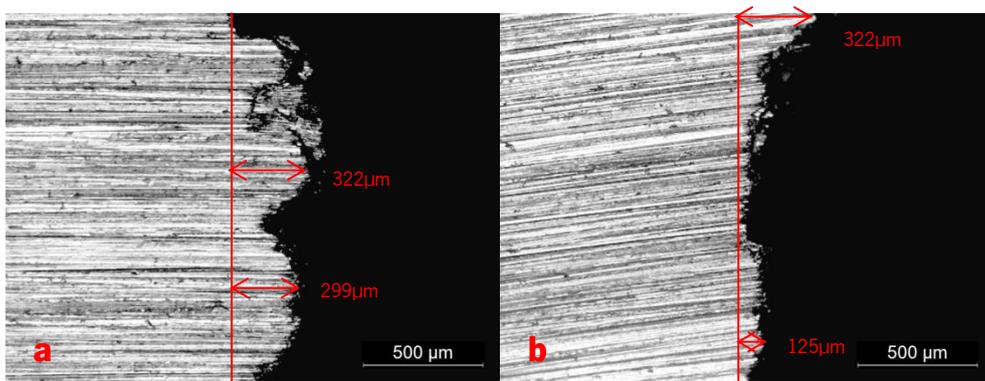


Figura 62 - Fotografias do ponto 33: a) 2%resina e b) 1,7%resina

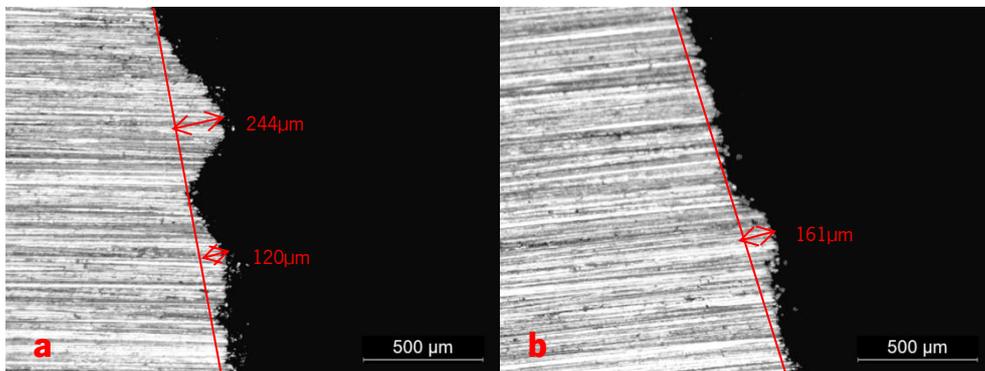


Figura 63 - Fotografias do ponto 36: a) 2%resina e b) 1,7%resina

**Tabela 14 - Resumo dos valores das amplitudes das irregularidades ( $\mu\text{m}$ ) obtidos na secção C**

	<b>2% de resina</b>	<b>1,7% de resina</b>
<b>Máximo</b>	438	322
<b>Mínimo</b>	120	125
<b>Média</b>	274	207
<b>Desvio Padrão</b>	104,3	77,2

Nesta zona, verifica-se que em ambas as situações as irregularidades na superfície são mais acentuadas devido à insuficiente compactação dos machos desta referência, sendo mais crítico no caso da peça em que se utilizou um macho com mais resina. Pela Tabela 14 pode ver-se que a amplitude média das irregularidades no caso da utilização de machos com 2% de resina é de cerca de 274  $\mu\text{m}$  enquanto no caso da utilização de machos com 1,7% de resina a amplitude média é de 207  $\mu\text{m}$  (redução de 24%).

Apesar das irregularidades na superfície interna não serem constante ao longo de toda a peça, variando devido à geometria da peça e/ou do macho e do grau de compactação deste (dependente também da forma do macho), pode verificar-se que em média a utilização de um macho com menos quantidade de resina permite a redução dessas irregularidades em cerca de 34%. Assim, pode concluir-se que se obtêm melhores peças aquando da utilização de um menor teor resina (1,7%) na produção dos machos, sendo esta redução também mais atractiva a nível de custos de produção. No entanto, se a compactação do macho não for a adequada os resultados obtidos não serão os óptimos.

Seleccionou-se, então, como valor indicativo para a produção de machos 1,7% de resina, já que um valor mais reduzido pode causar um problema de resistência dos machos. É preciso no entanto ter em consideração a variedade de geometrias que os machos podem ter.

Assim, a alteração da quantidade de resina terá que ser validada caso a caso, tendo sempre em conta que mesmo sendo necessário aumentar a quantidade de resina esse aumento deve ser o menor possível para se obter uma menor rugosidade e também para não promover o aparecimento de porosidades.

## 5.2. Granulometria da Areia

Um dos grandes factores que influencia a rugosidade superficial interna de uma peça é a granulometria (dimensão dos grãos) da areia utilizada. Assim, é preciso encontrar um equilíbrio onde se obtenha uma superfície com características adequadas sem se provocar defeitos no fundido. A maioria das fundições utilizam como areia para preparação dos machos a SP45 com grãos maiores do que a areia utilizada pela DELABIE (SP55). No entanto para o processo de caixa quente existe ainda outra areia, mais fina, possível de se utilizar: SP65.

Como foi referido anteriormente, a quantidade de resina a adicionar à areia deve oscilar com o tamanho de grão da areia utilizada. Tendo em conta a informação obtida juntos dos fornecedores para a areia SP45 o teor de resina a usar deve ser, em média 1,5% e para a areia S65 o teor ideal médio é 2%, as composições utilizadas encontram-se na Tabela 15. Para a areia utilizada pela Delabie (SP55) testaram-se dois teores de resina: 2%, que corresponde ao valor inicialmente utilizado, e 1,7% valor seleccionado como óptimo após os testes realizados anteriormente.

**Tabela 15 - Quantidades de resina utilizadas para cada areia**

<b>GRANULOMETRIA</b>	<b>SP45</b>	<b>SP55 (1)</b>	<b>SP55 (2)</b>	<b>SP65</b>
<b>RESINA</b>	1,5%	2%	1,7%	2%

A referência utilizada neste teste é a mesma que a do capítulo anterior (RP745200B). Os testes foram igualmente realizados para outras referências tendo sido obtido o mesmo resultado. Foram produzidos 5 machos para cada teste, nas Máquinas Bianchi, na Delabie, com a programação descrita na Tabela 11.



**Figura 64 - Resultados obtidos com a alteração da granulometria da areia**

A avaliação dos resultados obtidos é feita de acordo com os procedimentos de qualidade internos da empresa: neste caso por inspeção visual da rugosidade superficial. Dentro de cada tipo de composição testada os resultados obtidos foram considerados similares em termos de rugosidade superficial. Os resultados obtidos encontram-se representados na Figura 64. Comparando os resultados obtidos para a areia SP55 com 2% de resina e os resultados obtidos para areias com diferentes granulometrias verifica-se que entre a areia mais grossa (SP45) e a areia intermédia não existem grandes alterações no que toca à rugosidade da superfície interna bem como na reprodução da geometria pretendida. No entanto, utilizando-se uma areia mais fina (SP65) já se verificam melhorias significativas.

Ao comparar os resultados da areia mais grossa (SP45) e mais fina (SP65) com o resultado da areia SP55 com 1,7% de resina, verifica-se que esta se aproxima da qualidade superficial e geométrica da areia fina, SP65.

Assim, optou-se pela utilização da areia intermédia SP55 com 1,7% de resina. Dessa forma não se está a reduzir a permeabilidade dos machos, pois os grãos de areia não são mais finos e ao utilizar-se um menor teor de resina os gases gerados durante o vazamento serão reduzidos. Estes factores permitem a obtenção de peças com maior qualidade. Para além dos aspectos qualitativos, esta decisão tem igualmente impacto económico: as areias mais finas são mais dispendiosas e necessitam de mais resina, gerando um maior custo.

### **5.3. Adição de Conservador**

Os machos utilizados pela empresa DELABIE são obtidos pelo processo de caixa quente, no qual a mistura de areia irá endurecer (curar) por acção da temperatura. Apesar de a temperatura necessária para a cura ser de aproximadamente 200 °C, as variações de temperatura ambiente irão afectar a mistura.

Para temperaturas ambientes baixas (ex. inverno) a areia após ser misturada tem um certo tempo de bancada para ser utilizável. Quando a temperatura ambiente é elevada este tempo reduz-se pelo que a areia que é injectada na caixa de machos pode já estar degradada devido ao tempo de espera, perdendo fluidez e dificultando a compactação e diminuindo a resistência após cura.

Existe, no entanto, um aditivo que irá abrandar a reacção térmica causada pelas variações de temperatura ambiente permitindo aumentar o tempo de bancada da areia. Na preparação da areia, depois de adicionar a resina e o catalisador, deve-se acrescentar 10% de conservador (em relação ao peso de resina). Esta informação consta dos dados técnicos do fornecedor. A utilização do conservador é mais relevante no verão, no entanto pode utilizar-se durante todo o ano.

Aquando da utilização do conservador deve ter-se em atenção que se estão a aumentar os constituintes da mistura o que irá originar mais gases e de diferente composição durante a fase de vazamento. Estes gases podem causar o aparecimento de novos tipos de defeitos na peça final, como por exemplo, porosidades internas, aumento da rugosidade superficial, etc. Deste modo a introdução do conservador terá que ser avaliada para cada tipo de macho.

Na grande parte das situações acompanhadas, a adição de conservador melhora o fabrico e a qualidade do macho sem provocar defeitos posteriores na peça, no entanto ocorreu uma situação na qual essa adição gerou defeitos no fundido. A Figura 65 mostra o exemplo de uma peça em que não se pode utilizar conservador na produção dos machos, pois a peça não tem capacidade de libertar os gases gerados durante o vazamento resultando num mau aspecto superficial e porosidades.



**Figura 65 - Exemplo de peça obtida com a utilização de machos com e sem conservador**

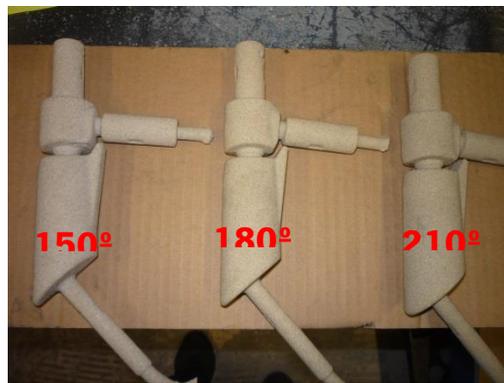
Os defeitos detectados encontram-se na superfície exterior da peça, o que dificultou a detecção da causa. Sendo que anteriormente este problema não existia na peça em questão e que a única alteração promovida foi a adição de conservador à areia. No entanto os machos não são produzidos na Delabie mas sim por uma outra empresa, o que coloca questões quanto a outras oscilações no fabrico dos machos. Assim, pediram-se a essa empresa machos com e sem conservador e paralelamente foram produzidos machos nas mesmas condições na Delabie. Constatou-se que o resultado se mantinha: a superfície exterior da peça era significativamente melhor quando o macho não tinha conservador. Este facto pode dever-se ao volume e tipo de gases gerados serem diferentes e o conjunto peça-macho não terem capacidade de extrair todos esses gases. Assim deve-se criar mecanismos que facilitem a extracção dos gases, como por exemplo criar ou amentar respiros na peça, se isso não for possível e se for possível obter um macho com qualidade não utilizando o conservador, deve optar-se pela não adição deste.

#### **5.4. Temperaturas e Tempo de Cura**

Para além da correcta composição da mistura de areia, é necessário assegurar que as condições de cura sejam as mais adequadas de forma a se obterem machos de qualidade e

consequentemente peças de elevada sanidade. Assim existem dois parâmetros a ter em conta durante a cura: a temperatura e o tempo de cura.

Uma forma expedita de verificar se a temperatura de cura foi a mais correcta consiste na análise da cor dos machos e na verificação se esta é a esperada: os machos produzidos pelo processo de caixa quente devem ser dourados e não brancos (indicador de temperaturas de cura demasiado baixas) ou castanho-escuro/negro (indicador de temperaturas de cura demasiado altas). Como a cor é influenciada pela temperatura das caixas de machos, é necessário avaliar para cada tipo de macho qual a temperatura ideal para se obter uma cor mais dourada. Deve também garantir-se uma homogeneidade da temperatura de cura em todo o macho, isto pode ser verificado pela homogeneidade da cor do macho.



**Figura 66 - Variação da cor do macho com a temperatura de cura**

Os valores indicados para a temperatura de cura pelo processo caixa quente variam entre os 180 e os 230°C, pois têm que garantir que os componentes reagem (a reacção do catalisador dá-se aos 160°C) e não deve originar degradação (causada por temperaturas elevadas). Uma cura abaixo dos 160°C irá provocar uma aderência de areia no interior do fundido, isto deve-se ao facto da reacção terminar durante o vazamento. Assim, foram feitos alguns testes que mostram a variação da qualidade interior da peça com o aumento da temperatura de cura. Para os testes utilizou-se a mistura definida inicialmente pela Delabie:

- Areia SP55;
- 2% de resina, em relação ao peso da areia;
- 25% de endurecedor, em relação ao peso de resina.

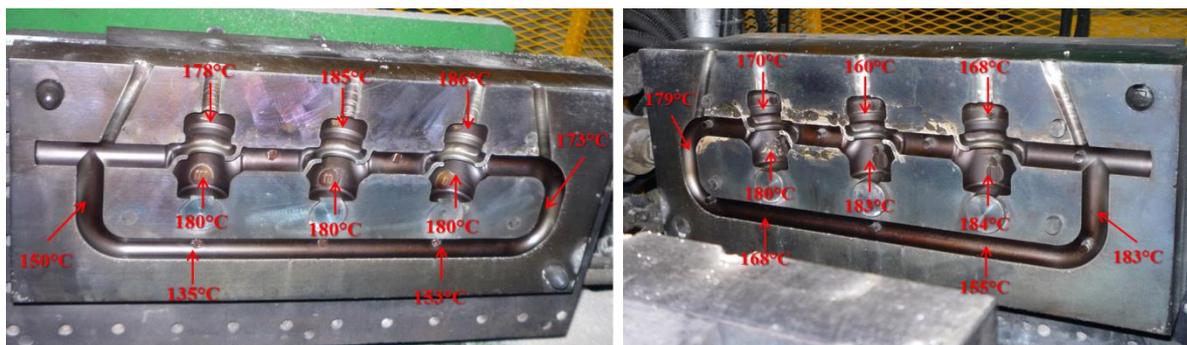


**Figura 67 - Variação do aspecto interior do fundido com o aumento da temperatura de cura do macho**

Para confirmar este efeito foram testados machos produzidos à temperatura mínima aceitável (180°C) e a uma temperatura demasiado baixa (120°C) para evidenciar as diferenças na incrustação de areia na peça. A Figura 67 mostra a influência da temperatura de cura do macho na peça final. É possível observar que quando se utiliza uma temperatura mais baixa (120 °C), apesar de o macho ter a resistência necessária para suportar os esforços gerados durante o vazamento, o fundido fica com mais areia ligada à parede interna do que quando se utiliza uma temperatura de cura mais elevada.

Pode concluir-se, então, que efectivamente as temperaturas de cura devem ser ajustadas, de modo a garantir que a parede interna do fundido fique livre de areias. Infelizmente, a geometria dos machos e das caixas de machos não facilitam a utilização das temperaturas adequadas, pois na maioria das situações não se consegue obter uma temperatura uniforme em toda a caixa. É portanto necessário estudar para cada caixa de machos a temperatura ideal a ser programada de forma a se obter o melhor resultado possível (em toda a superfície do macho).

A Figura 68 mostra a leituras das temperaturas retiradas numa caixa de machos durante a produção. Cada temperatura foi lida no fim de um ciclo, para garantir uma maior aproximação ao valor real no período de cura. Utilizou-se para estas leituras um leitor de temperaturas de infravermelho disponível na empresa e as temperaturas programadas eram de 220°C na meia caixa esquerda e de 275°C na meia caixa direita. Como se pode observar na Figura 68 existe variação da temperatura entre vários pontos da caixa. Considerando apenas a zona de peça (elementos na parte superior da caixa), na meia caixa esquerda essa variação é menor (8°C) enquanto na caixa direita a variação das temperaturas é de 14°C.



**Figura 68 - Variação da temperatura nas caixas de machos (representação de cada meia caixa: esquerda e direita)**

**Tabela 16 - Comparação das temperaturas lidas em cada meia caixa de machos**

	Peça 1		Peça 2		Peça 3		Caixa	
	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
<b>T máx (°C)</b>	180	184	185	183	186	180	186	184
<b>T min (°C)</b>	178	168	180	160	180	170	135	155
<b><math>\Delta T</math> (°C)</b>	2	16	5	23	6	10	51	29

Esta variação de temperatura é agravada com a variação do ritmo de trabalho, isto é, se o tempo de espera entre cada cura variar, a diferença de temperaturas varia também. Por exemplo, quando existe uma pausa no trabalho, as caixas ficam abertas, e as temperaturas tenderão para o equilíbrio, ou seja, a superfície da caixa arrefece, tendendo para a temperatura ambiente. A velocidade a que cada zona atinge o equilíbrio depende da espessura da caixa nessa mesma zona. Assim, para garantir uma correcta temperatura de cura, para além da definição para cada caso, no início de trabalho só se deve aproveitar os machos produzidos quando a temperatura das caixas atinge o valor definido.

Como mencionado anteriormente, cada caixa foi programada com uma temperatura diferente, mas apesar dessa variação as temperaturas das caixas são semelhantes. Tal facto deve-se a dois aspectos: a meia caixa direita, neste caso, tem o dobro da espessura da caixa esquerda, requerendo assim mais energia para o aquecimento; adicionalmente é a meia caixa responsável pela deposição do macho no tapete, possuindo o conjunto de extractores e tendo um movimento de rotação para a

libertação do macho, estes aspectos levam a um aumento das perdas energéticas essencialmente por convecção.

Quanto ao tempo de cura, este deve ser minimizado ao máximo de forma a aumentar a produtividade, apenas é necessário garantir a cura superficial do macho, pois, como a reacção se prolonga por algumas horas após a extracção do macho, este terá a resistência necessária na altura do vazamento. Deve ter-se em conta que os machos não devem ser utilizados antes de estarem em repouso durante pelo menos 12 horas, para garantir que a polimerização tenha terminado antes do vazamento.

## 6. Procedimento de Optimização por Tipo de Peça

Um dos principais defeitos dos fundidos é causado pela quebra dos machos durante o vazamento. Sendo que a quebra dos machos pode estar relacionada apenas com a sua resistência mecânica, e essa resistência está directamente associada ao teor de ligante presente, foi desenvolvido, no âmbito do presente trabalho, um procedimento para resolver e minimizar as quebras de machos durante a fase de vazamento alterando apenas a composição do macho. É, então, proposta a implementação do seguinte procedimento:

- Utilizar incrementos de 0,1% de resina;
- Rebarbar e contabilizar os machos partidos;
- Para a melhor percentagem de resina, variar a percentagem de endurecedor (20, 25, 30 e 35%)
- Rebarbar e contabilizar os machos partidos;
- Vazar os machos rebarbados e contabilizar os machos que partiram durante o vazamento.

A taxa de adição de resina normal, para a areia SP55, varia entre 1,6 e 2% da areia. Actualmente na empresa usa-se, geralmente, uma percentagem de 1,7 % de resina. No entanto, nalguns tipos de peça esta percentagem não é suficiente dando origem à fractura dos machos. O teor máximo de resina depende do tipo de peça, podendo ser de 2% ou superior.

O subcapítulo seguinte mostra a aplicação e validação deste procedimento para uma referência de peça que possui uma elevada taxa de refugo (65%) causada por quebra do macho.

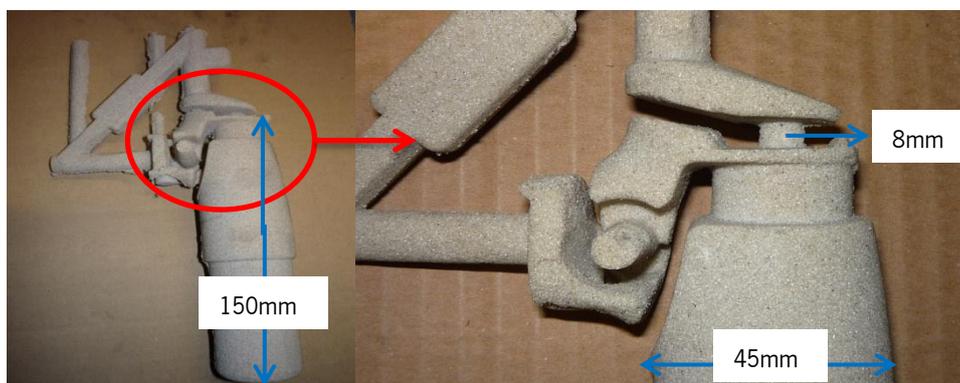
### 6.1. Estudo de um caso: Referência RU479B

A peça da referência RU479B (Figura 69) possui elevada rejeição devido ao seu macho, que fractura com facilidade durante o vazamento. Isto porque o macho possui uma zona muito fina e que tem tendência a partir (Figura 70). Este problema causa muito desperdício, pois muitos dos machos produzidos acabam por se partir antes de chegar à fase de vazamento ou durante o próprio vazamento.

Este problema é anterior à redução de percentagem de resina adoptada na empresa, com base nos resultados obtidos no presente trabalho. Daí ter-se tomado como ponto de partida uma mistura de areia com 2% de resina (valor inicialmente usado).



**Figura 69 - Peça da referência RU479B**



**Figura 70 - Zona de suporte do macho que quebra antes e durante o vazamento**

Com vista a otimizar o processo de fabrico desta referência, e sabendo que o aumento de resina proporciona um aumento da resistência do macho, procedeu-se ao estudo da adição de diferentes percentagens de resina, mantendo a quantidade de endurecedor fixa (25% em relação ao peso de resina). Inicialmente foram feitos 6 testes com diferentes percentagens de resina, com teores compreendidos entre 2 e 2,5%, e incrementos de adição de 0,1% entre cada formulação. As formulações preparadas foram as seguintes:

1. 2,0% de resina;
2. 2,1% de resina;
3. 2,2% de resina;
4. 2,3% de resina;
5. 2,4% de resina;
6. 2,5% de resina.

**Tabela 17 - Composição real da areia para os testes com 2 a 2,5% de resina**

**(1) Normal (2% da areia) = 500g**

<b>Fabrico</b>	Peso Areia (Kg)	Endurecedor (Kg)	Tara (Kg)	Total Endurecedor (Kg)	Resina (Kg)	Tara (Kg)	Total Resina (Kg)
<b>20</b>	25	0,184	0,06	0,124	0,6	0,104	0,496

**(2) (2%+0,1% da areia) = 525g**

<b>Fabrico</b>	Peso Areia (Kg)	Endurecedor (Kg)	Tara (Kg)	Total Endurecedor (Kg)	Resina (Kg)	Tara (Kg)	Total Resina (Kg)
<b>20</b>	25	0,186	0,06	0,126	0,697	0,169	0,528

**(3) (2%+0,2% da areia) = 550g**

<b>Fabrico</b>	Peso Areia (Kg)	Endurecedor (Kg)	Tara (Kg)	Total Endurecedor (Kg)	Resina (Kg)	Tara (Kg)	Total Resina (Kg)
<b>17</b>	25	0,185	0,06	0,125	0,665	0,115	0,55

**(4) (2%+0,3% da areia) = 575g**

<b>Fabrico</b>	Peso Areia (Kg)	Endurecedor (Kg)	Tara (Kg)	Total Endurecedor (Kg)	Resina (Kg)	Tara (Kg)	Total Resina (Kg)
<b>23</b>	25	0,193	0,062	0,131	0,7	0,122	0,578

**(5) (2%+0,4% da areia) = 600g**

<b>Fabrico</b>	Peso Areia (Kg)	Endurecedor (Kg)	Tara (Kg)	Total Endurecedor (Kg)	Resina (Kg)	Tara (Kg)	Total Resina (Kg)
<b>22</b>	25	0,207	0,06	0,157	0,759	0,156	0,603

**(6) (2%+0,5% da areia) = 625g**

<b>Fabrico</b>	Peso Areia (Kg)	Endurecedor (Kg)	Tara (Kg)	Total Endurecedor (Kg)	Resina (Kg)	Tara (Kg)	Total Resina (Kg)
<b>15</b>	25	0,183	0,06	0,123	0,782	0,151	0,631

A Tabela 18 mostra a quantidade de machos produzidos para cada teste:

**Tabela 18 - Quantidade de machos produzidos para cada teste (1 a 6)**

<b>Nº</b>	<b>% Resina adicionada</b>	<b>Quantidade de machos</b>
<b>1</b>	2	20
<b>2</b>	2,1	20
<b>3</b>	2,2	17
<b>4</b>	2,3	23
<b>5</b>	2,4	21
<b>6</b>	2,5	15

Foi detectado um pormenor no macho que nos indica que o enchimento da zona mais sujeita a esforço, por ser a de menor espessura, não foi efectuado de forma correcta (Figura 71). Este tipo de defeitos não são previsíveis, mas é aconselhada a remoção dos machos que os apresente. Denominou-se esse defeito como “Tipo 1”, e estes machos foram separados dos restantes, pois a influência desse defeito poderá provocar alterações nos resultados;



**Figura 71 - Zona do defeito Tipo 1**

Os machos produzidos de areias com resina em teores de 2 até 2,2% estão mais sujeitos a partir, mesmo durante a rebarbagem e sem possuírem defeitos do “Tipo 1”. A partir dos 2,3% de resina o número de machos com defeito que partem diminui e para 2,5% de resina verifica-se um comportamento inverso: os machos com defeito “Tipo 1” a voltar a partir com muita facilidade. Este facto leva-nos a considerar que o enchimento é insuficiente, causado pela diminuição da fluidez de areia. Mesmo o facto de a areia se tornar mais resistente com o aumento da resina, não é suficiente para contornar o enchimento insuficiente. A Tabela 19 mostra os resultados após a rebarbagem dos seis diferentes tipos de machos produzidos.

**Tabela 19 - Percentagem de machos partidos para cada tipo de areia (1 a 6)**

<b>Percentagem de Machos Partidos (1 a 6)</b>		
<b>N.º</b>	<b>Machos Sem Defeito Tipo 1</b>	<b>Machos Com Defeito Tipo 1</b>
<b>1</b>	35%	15%
<b>2</b>	55%	5%
<b>3</b>	6%	29%
<b>4</b>	0%	17%
<b>5</b>	0%	14%
<b>6</b>	0%	20%

Pela análise da tabela acima pode ver-se que a melhor das 6 formulações testadas é a N° 5 (2,4%), pois apenas possui 14% de machos partidos e só nos machos que apresentam defeito “Tipo 1”. Como o endurecedor é função da quantidade de resina e pode oscilar entre 20 a 35% (intervalo indicado pelo fornecedor) fizeram-se novos testes, para a quantidade de resina com melhor comportamento no teste anterior, avaliando-se a influência da quantidade de endurecedor. Foram efectuadas as seguintes formulações:

7. 20% de endurecedor (120g);
8. 30% de endurecedor (180g);
9. 35% de endurecedor (210g).

**Tabela 20 - Composição real da areia para os testes com 25 a 35% de endurecedor**

**(7) 600g Resina - 25% endurecedor (150g)**

<b>Fabrico</b>	Peso Areia (Kg)	Endurecedor (Kg)	Tara (Kg)	Total Endurecedor (Kg)	Resina (Kg)	Tara (Kg)	Total Resina (Kg)
<b>21</b>	25	0,189	0,06	0,129	0,760	0,159	0,601

**(8) 600g Resina - 30% endurecedor (180g)**

<b>Fabrico</b>	Peso Areia (Kg)	Endurecedor (Kg)	Tara (Kg)	Total Endurecedor (Kg)	Resina (Kg)	Tara (Kg)	Total Resina (Kg)
<b>20</b>	25	0,244	0,06	0,184	0,750	0,146	0,604

**(9) 600g Resina - 35% endurecedor (210g)**

<b>Fabrico</b>	Peso Areia (Kg)	Endurecedor (Kg)	Tara (Kg)	Total Endurecedor (Kg)	Resina (Kg)	Tara (Kg)	Total Resina (Kg)
<b>22</b>	25	0,275	0,06	0,215	0,750	0,151	0,599

A Tabela 21 mostra a quantidade de machos produzidos para cada teste.

**Tabela 21 - Quantidade de machos produzidos para cada teste (7 a 9)**

<b>Nº</b>	<b>% Endurecedor adicionado</b>	<b>Quantidade de machos</b>
<b>7</b>	20	22
<b>8</b>	30	20
<b>9</b>	35	22

**Tabela 22 - Percentagem de machos partidos para cada tipo de areia (7 a 9)**

<b>Percentagem de Machos Partidos (1 a 6)</b>		
<b>N.º</b>	<b>Machos Sem Defeito Tipo 1</b>	<b>Machos Com Defeito Tipo 1</b>
<b>7</b>	0%	0%
<b>8</b>	0%	40%
<b>9</b>	0%	5%

Pelas Tabelas 19 e 22 pode verificar-se que apenas os machos com 2,3% de resina (25% de endurecedor) e 2,4% de resina (20 e 25% de endurecedor) apresentam bons resultados: não existem machos partidos com ou sem defeito.

Não se deve no entanto decidir qual a melhor solução, pois ainda falta uma etapa: o vazamento. Nesta etapa irão ser vazadas todas as peças de forma a verificar se existem defeitos causados pelos machos, e o que provocou esse defeito. Nesta etapa existem dois tipos de problemas: machos que chegam à zona de vazamento partidos e os que partem durante o vazamento. Não será feita a distinção entre eles neste ponto, pelo que se considera o valor total de machos partidos na secção do vazamento.

Existem várias formas de se perceber que o macho partiu durante o vazamento:

- Furo na peça – aparecimento de rabarba (Figura 72);
- Defeito externo – falta de material (Figura 73);
- Defeito interno – diferente espessura das paredes (Figura 74).



**Figura 72 - Rebarba no furo**



**Figura 73 - Falta de material**



**Figura 74 - Diferentes espessuras**

A Tabela 23 mostra o total de peças vazadas (com e sem defeitos tipo 1 nos machos), podendo verificar-se que existe uma maior quantidade de peças boas produzidas utilizando machos sem defeitos tipo 1. Em média, os machos com defeito produzem menos 14% de peças boas.

**Tabela 23 - Quantidade de peças produzidas tendo em conta a utilização de machos com e sem defeito tipo 1**

Nº	QUANTIDADE DE MACHOS	TOTAL MACHOS USADOS		TOTAL PEÇAS BOAS PRODUZIDAS	
		SEM DEFEITO 1	COM DEFEITO 1	SEM DEFEITO 1	COM DEFEITO 1
1	10	4	6	2	5
2	8	6	2	1	0
3	11	2	9	2	5
4	19	11	8	6	4
5	22	12	10	5	6
6	12	4	8	4	5
7	18	10	8	7	6
8	12	2	10	2	2
9	21	11	10	7	6

Para uma visualização mais geral, pode ver-se na Tabela 24 o total de machos enviados para a secção de vazamento e o número de peças boas produzidas. Os machos com 2% (1) e 2,5% (6) de resina e 2,4% de resina com 25% de endurecedor (5) são os que apresentam uma maior percentagem de peças boas produzidas (apenas tendo em conta os machos que chegaram à secção de vazamento).

**Tabela 24 - Total de machos utilizados e peças boas produzidas**

Nº	TOTALS		
	MACHOS	PEÇAS BOAS	% PEÇAS SEM DEFEITO CAUSADO PELA QUEBRA DOS MACHOS
1	10	7	70%
2	8	1	13%
3	11	7	64%
4	19	10	53%
5	22	13	33%
6	12	9	75%
7	18	13	72%
8	22	11	50%
9	21	13	62%

Após a análise de fabrico dos machos e vazamento das peças é necessário uma visão geral de todo o processo. Na Tabela 25 apresenta-se uma relação do número de machos produzidos e o número de peças boas obtidas.

**Tabela 25 - Total de machos produzidos e peças boas obtidas**

<b>Nº</b>	<b>MACHOS PRODUZIDOS</b>	<b>PEÇAS</b>	<b>% PEÇAS SEM DEFEITO CAUSADO PELA QUEBRA DOS MACHOS</b>
<b>5</b>	21	13	62%
<b>6</b>	15	9	60%
<b>9</b>	22	13	59%
<b>7</b>	22	11	50%
<b>4</b>	23	10	43%
<b>3</b>	17	7	41%
<b>1</b>	20	7	35%
<b>8</b>	20	4	20%
<b>2</b>	20	1	5%

Para a composição N.º 5 (2,4% de resina e 25% de endurecedor) a percentagem de peças boas é de 62%, sendo o melhor resultado obtido. Assim, futuramente, sempre que este tipo de machos for produzido deve utilizar-se esta composição.

Apesar de ser ter conseguido aumentar em 27% o número de peças boas, o valor de peças defeituosas é ainda muito grande (38%). Como se pode verificar, quanto à composição da areia o processo já foi optimizado, agora os problemas existentes são de cariz geométrico, e podendo ser resolvidos com:

- Verificar a possibilidade de aumentar a espessura da zona fina;
- Assegurar um melhor enchimento do macho;
- Melhorar os apoios na coquilha.

Com este teste pode concluir-se que o procedimento adoptado (incrementos de 0,1% de resina e de 5% de endurecedor) é adequado. Já que pequenas variações da quantidade de resina (0,1%) provocam alterações significativas na resistência do macho, e um incremento maior (por exemplo 0,5%) poderia ser demasiado elevado impossibilitando a detecção do valor óptimo de resina a utilizar. Por outro lado incrementos menores de resina podem ser utilizados para pequenos ajustes para uma determinada peça. A utilização sistemática de variações abaixo de 0,1% de resina provocariam um

aumento significativo do número de testes a efectuar tornando o processo demasiado moroso. Em relação ao endurecedor, os incrementos podem ser em maior escala (5%) pois o comportamento dos diferentes machos utilizados é idêntico para cada concentração de endurecedor.

## 7. Metodologia de Especificação do Processo

Como foi referido anteriormente, este projecto foi desenvolvido numa empresa no início da laboração, onde toda a parte organizacional estava a ser iniciada, como tal foi necessário a elaboração de documentos de apoio, já que estes permitem ter o processo bem definido, com a indicação das variáveis de cada etapa, facilitando na detecção e resolução de problemas que ocorram ao longo do tempo. Assim, este projecto foi desenvolvido com o objectivo de conhecer bem o processo produtivo, estudar o máximo de variáveis possível, para otimizar todo o sistema.

Apesar do estudo se ter centrado no início da cadeia produtiva: fabrico dos machos (pois a qualidade das peças depende fortemente desta etapa), onde se verificou a influência de vários aspectos, já anteriormente referidos, foram recolhidos dados de outras etapas do processo, permitindo a criação de modos operatórios para os vários sectores.

Com os dados recolhidos foram elaborados documentos de apoio que contêm: modo de preparação, de fabrico, de inspecção, de segurança e de manutenção. Alguns destes aspectos têm que ser focados peça a peça (composição da areia, tempos de fabrico, zonas a rebarbar, zonas a pintar, montagem dos machos, extracção dos machos da peça, corte dos gitos, grenalhagem, inspecção e embalagem) originando modos operatórios específicos, outros são gerais, dizendo respeito a cada etapa (inicialização do trabalho, instruções de segurança e manutenção preventiva) originando modos operatórios gerais.

As tabelas seguintes mostram que documentos foram elaborados (secções e referências peça abrangidas), sendo que os “Modos Operatórios Gerais” são únicos para cada secção e os “Modos Operatórios Específicos” são individuais, cada referência de peça deve possuir um documento destes para cada etapa de fabrico.

**Tabela 26 - Secções para as quais foram criados os documentos de controlo gerais**

<b>Modos Operatórios Gerais</b>						
Preparação da Areia	Fabrico dos Machos	Rebarbagem e Pintura de Machos	Extracção dos Machos	Corte dos Gitos	Grenalhagem	Controlo e Embalamento

Tabela 27 - Secções e referências de peças para as quais foram criados os documentos específicos

<b>Modos Operatórios Específicos</b>					
<b>Fabrico dos Machos</b>	<b>Rebarbagem e Pintura de Machos</b>	<b>Extracção dos Machos</b>	<b>Corte dos Gitos</b>	<b>Grenalhagem</b>	<b>Controlo e Embalamento</b>
BD714BB	BD714BB	ND	BD714BB	ND	BD741BB
ND	ND	ND	ND	ND	BEC981B
ND	ND	ND	ND	ND	C324B
C332B	C332B	ND	ND	ND	ND
ND	ND	ND	C662B	ND	C662B
C2320BB	C2320BB	ND	C2320BB	ND	C2320BB
ND	C621B	ND	ND	ND	ND
CU790B	CU790B	ND	CU790B	ND	CU790B
CU790970B	CU790970B	ND	CU790970B	ND	CU790970B
M795B	M795B	ND	M795B	ND	M795B
M6643B	M6643B	ND	ND	ND	M6643B
MB622B	MB622B	ND	MB622B	ND	MB622B
ND	ND	ND	MB700B	ND	MB700B
MB742B	MB742B	ND	ND	ND	MB742B
MIE791B	MIE791B	ND	MIE791B	ND	ND
MIT794B	ND	ND	ND	ND	ND
ND	ND	ND	MLS794B	ND	MLS794B
MT792B	MT792B	ND	MT792B	ND	MT792B
MT9726B	MT9726B	ND	MT9726B	ND	MT9726B
ND	ND	ND	ND	ND	MT731020B
ND	ND	ND	ND	ND	MT731026B
ND	ND	MT731040B	MT731040B	ND	MT731040B
MT733015B	MT733015B	ND	ND	MT733015B	MT733015B
MT733020B	MT733020B	ND	MT733020B	ND	ND
R764B	ND	ND	ND	ND	R764B
ND	ND	ND	ND	ND	R433802B
RP740B	RP740B	ND	RP740B	ND	RP740B
ND	RP741B	ND	RP741B	ND	RP741B
RP747B	RP747B	ND	RP747B	ND	RP747B
ND	ND	ND	ND	ND	RP748B
RP749B	RP749B	ND	RP749B	ND	RP749B
ND	ND	ND	RP760B	ND	ND
RP745200B	RP745200B	ND	ND	ND	ND
RP761001B	RP761001B	ND	ND	ND	ND
RPE761B	RPE761B	ND	ND	ND	ND
RPE762B	RPE762B	ND	ND	ND	ND
RU479B	RU479B	ND	RU479B	ND	ND
<b>ND – não disponível</b>					

## 7.1. Modo operativo geral

Os documentos do modo operativo geral serão colocados em cada secção (armazém, fabrico de machos, acabamento de machos, vazamento, extracção dos machos, corte de gitos, grenalhagem e inspecção e embalamento). Estes documentos contêm várias informações sobre o posto em questão:

1. Operador – Indicação da formação necessária para executar a tarefa, bem como condições especiais, tais como capacidade de porte (kg);
2. Posto de trabalho/ Máquina – Descrição dos equipamentos utilizados nesse posto de trabalho;
3. Ferramentas – Descrição das ferramentas de produção e controlo utilizadas em cada posto de trabalho;
4. Matéria-prima – Descrição da matéria-prima utilizada em cada posto;
5. Planos e procedimentos de trabalho – Descrição dos procedimentos de inicio de série e produção em série;
6. Manutenção preventiva – Indicação das zonas sujeitas e manutenção preventiva, incluindo procedimentos e periodicidade;
7. Higiene e segurança – Indicação do equipamento individual de segurança, equipamentos importantes para a segurança, primeiros socorros e medidas de combate a incêndio;
8. Limpeza do posto de trabalho – Indicação dos aspectos importantes na limpeza do posto de trabalho;
9. Reciclagem e tratamento de resíduos – Indicação da correcta forma de reciclar/tratar os resíduos gerados em cada posto de trabalho;
10. Manuseamento, armazenamento e condições especiais – Descrição das condições de manuseamento e armazenamento de cada produto utilizado no posto de trabalho.

Estes documentos foram elaborados especificamente para cada posto de trabalho: Preparação de Areia, Fabrico de Machos, Rebarbagem e Pintura dos Machos, Corte de Gitos, Grenalhagem e Controlo e Embalamento. Pode ver-se, no Anexo B, um exemplo deste tipo de documentos. Nas tabelas seguintes mostram-se, para cada tópico exemplos da informação constante num dos Modos Operatórios Gerais (Fabrico de Machos).

Tabela 28 - Dados do ponto 1 (operador) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos

<b>Operador</b>	<p><b>1-1 Formação:</b> Ver tabela de competências.</p> <p><b>1-2 Condições especiais:</b> Exige um porte de carga superior à 30 kg.</p>
-----------------	--

Tabela 29 - Dados do ponto 2 (posto de trabalho/máquina) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos

<b>Posto de Trabalho / Máquina</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Máquina de machos: <b>MMA-001 e MMA-002</b></li> <li>- Extractor de vapores: <b>EXT-001 e EXT-002</b></li> <li>- Pistola de ar comprimido: <b>PIS-001 e PIS-002</b></li> <li>- Mesa de trabalho/controlo: <b>MES-001 e MES-002</b></li> </ul>
--	--

Tabela 30 - Dados do ponto 3 (ferramentas) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos

<b>Ferramentas</b>	<p><b>3-1 Produção:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caixas de machos DELABIE por referência</li> <li>- Placas de forma.</li> <li>- Chaves de aperto.</li> </ul> <p><b>3-2 Controlo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Balança para peso dos machos (Laboratório): <b>BAL-001</b></li> <li>- Paquímetro: <b>PAQ-001</b></li> <li>- Pé de profundidade: <b>PEP-001</b></li> </ul>
--------------------	---

Tabela 31 - Dados do ponto 4 (matéria-prima) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos

<b>Matéria-prima</b>	- Desmoldante SEPARADOR 60: Bidon normal de <b>25</b> kg (prazo de validade indicado no bidon).
----------------------	---

**Tabela 32 - Dados do ponto 5 (planos e procedimento de trabalho) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos**

<b>Planos e Procedimentos de Trabalho</b>	<p>A) <u>REGULACAO DA MAQUINA NAS MUDANCAS DE SERIE:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Retirar a antiga ferramenta (2 parafusos de cada lado e/ou aperto rápido).</li> <li>- Colocar a nova ferramenta:             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>Apoio moldação esquerda</u> <ol style="list-style-type: none"> <li>A. Suporte para fixação da meia caixa (sem extractores horizontais);</li> <li>B. Suporte de extractores verticais;</li> <li>C. Parafusos de ajuste de altura da caixa.</li> </ol> </li> <li>2. <u>Apoio moldação direita</u> <ol style="list-style-type: none"> <li>D. Suporte para fixação da meia caixa, com extractores horizontais;</li> <li>E. Parafusos de ajuste de altura da caixa;</li> <li>F. Parafusos de ajuste de inclinação da caixa.</li> </ol> </li> <li>3. <u>Fim de curso</u> <ol style="list-style-type: none"> <li>G. Ajustar para que quando as caixas se encontram fechadas o fim de curso tem que estar actuado.</li> </ol> </li> <li>4. <u>Braço</u> <ol style="list-style-type: none"> <li>H. Retirar para verificar furos necessários para o enchimento ou trocar régua, caso exista;                 <ol style="list-style-type: none"> <li>i. Fechar as torneiras antes de retirar a cabeça e verificar se estão abertas antes de reiniciar o trabalho;</li> <li>ii. Desapertar os tubos antes de retirar a cabeça e verificar se estão colocados antes de reiniciar o trabalho;</li> </ol> </li> <li>I. Ajustar altura do braço em relação às caixas (deixar cerca de 5mm):                 <ol style="list-style-type: none"> <li>i. Aliviar parafusos;</li> <li>ii. Rodar para subir/descer.</li> </ol> </li> <li>J. Ajustar posição do braço em relação às caixas (movimento direita/esquerda):                 <ol style="list-style-type: none"> <li>i. Aliviar parafusos;</li> <li>ii. Rodar para movimentar para direita/esquerda.</li> </ol> </li> <li>K. Ajustar posição das caixas em relação ao braço (movimento frente/trás):                 <ol style="list-style-type: none"> <li>i. Rodar para movimento frente/trás.                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocar os novos parâmetro especificados no “Modo Operatório Especifico” adequada a referência da peça ou utilizar programa já gravado.</li> </ul> </li> </ol> </li> </ol> </li> <li>- Aquecimento das caixas de machos até atingir as Temperaturas indicadas no “Modo Operatório Especifico” adequada a referência da peça.</li> <li>- Produzir uma peça e controlar (Validação do arranque da serie).             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar a espessura de cura para que o interior do macho não esteja duro.</li> </ul> </li> </ol></li></ul> <p>B) <u>PRODUCAO EM SERIE:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 - Ir buscar uma medida de mistura de areia na zona de incurso).</li> <li>2 - Ir buscar e retirar caixas de peças.</li> <li>3 - Fazer o controlo de peças conforme indicado no “Modo Operatório Especifico” adequada a referência da peça.</li> <li>4 - Verificar no início de cada período de trabalho se a espessura de cura se encontra conforme o indicado.</li> <li>5 - Recuperar as peças na saída do tapete e colocar na caixa.</li> </ol>
---	--

Tabela 33 - Dados do ponto 6 (manutenção preventiva) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos

<b>Manutenção Preventiva</b>	<p><b>6-1 <u>Antes de iniciar a manutenção:</u></b></p> <p>A) <u>DESLIGAR A BOMBA PNEUMÁTICA:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar que a máquina está ligada;</li> <li>• Fechar todas as protecções de segurança;</li> <li>• Fechar as válvulas “1” e “2” indicadas nas figuras.</li> </ul> <p>B) <u>DESLIGAR TOTALMENTE A MÁQUINA:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A manutenção só se deve iniciar depois de verificar que as placas se encontram à temperatura ambiente.</li> </ul> <p><b>6-2 <u>A fazer todos os dias:</u></b></p> <p>A) <u>GUIAS</u> – limpar e lubrificar com SVITOL;</p> <p>B) <u>MANGAS</u> – limpar com escova de metal;</p> <p>C) <u>RECIPIENTE AREIA</u> – limpar com pano molhado;</p> <p>D) <u>CABEÇA DE INJECCÃO DE AREIA</u> – limpar com escova de metal;</p> <p><b>6-3 <u>A cada 7 dias:</u></b></p> <p>E) <u>GRUPO DE FILTRAGEM</u> – encher com óleo hidráulico (corrigir antes se estiver abaixo do nível indicado);</p> <p><b>6-4 <u>A cada 40 dias:</u></b></p> <p>F) <u>CABEÇA DE INJECCÃO</u> – lubrificar com 2 ou 3 gotas de óleo de média densidade, aliviando o parafuso;</p> <p><b>6-5 <u>A cada 2 anos:</u></b></p> <p>G) <u>TUBOS DE BORRACHA</u> – substituir (substituir antes se ocorrer perdas de ar).</p>
------------------------------	---

**Tabela 34 - Dados do ponto 7 (higiene e segurança) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos**

<b>Higiene e Segurança</b>	<p><b>7-1 <u>Equipamentos de Protecção Individual (E.P.I.):</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Óculos com protecção lateral.</li> <li>- Luvas contra queimaduras.</li> <li>- Mascara em caso de manipulação prolongada.</li> <li>- Vestuário protector (Bata).</li> <li>- Sapatos de segurança.</li> </ul> <p><b>7-2 <u>Equipamentos Importantes para a Segurança (E.I.S.):</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Chuveiro de segurança.</li> <li>- Detectores de fumos</li> <li>- Extintores</li> </ul> <p><b>7-3 <u>Primeiros socorros:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contacto com os olhos: Lavar com água abundante e consultar um médico caso a irritação persista;</li> <li>- Inalação: Remoção do operador para uma área com ar fresco;</li> </ul> <p><b>7-4 <u>Medidas de combate a incêndio:</u></b></p> <p>Devido ao aquecimento, ter em atenção aos vapores de Formol da resina SANSET031 e aos gases Nitro-celulosicos do endurecedor AT20.</p>
----------------------------	---

**Tabela 35 - Dados do ponto 8 (limpeza do posto de trabalho) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos**

<b>Limpeza do Posto de Trabalho</b>	<p><u>Em cada mudança de serie:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpar a ferramenta e coloca-la no armazém das ferramentas (fazer entrada).</li> </ul> <p><u>No fim de cada dia da utilização:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpar toda a máquina de machos com a pistola.</li> <li>- Executar a manutenção preventiva.</li> <li>- Limpar e varrer posto de trabalho.</li> <li>- Despejar resíduos e embalagens nos contentores apropriados para recolha.</li> </ul>
-------------------------------------	---

**Tabela 36 - Dados do ponto 9 (reciclagem/tratamento dos resíduos) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos**

<b>Reciclagem / Tratamento dos Resíduos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Mistura de areia:</u> A reciclagem e eliminação da mistura devem ser realizadas por uma empresa de gestão de resíduos autorizada.</li> <li>- <u>Pecas não conformes:</u> A reciclagem e eliminação da mistura devem ser realizadas por uma empresa de gestão de resíduos autorizada.</li> </ul>
---	---

**Tabela 37 - Dados do ponto 10 (manuseamento e armazenamento e condições especiais) do Modo Operatório Geral da secção Fabrico de Machos**

<b>Manuseamento e Armazenamento e Condições Especiais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Evitar formação de pó aerotransportado</u>: utilizar sistema de ventilação;</li> <li>- <u>Mistura de areia</u>: Utilizar num prazo de 24h.</li> </ul>
---	---

## 7.2. Modo operatório específico

Com os documentos de modo operatório específico pretende-se que, para cada referência de peça, esteja indicado o procedimento de trabalho e controlo. Estes documentos estarão disponíveis em cada posto com indicações de trabalho nesse mesmo posto e terão toda a informação necessária e actualizada, com todos os parâmetros importantes, de forma a minimizar os erros cometidos. Serão abrangidos os seguintes pontos:

1. Preparação – são descritos os procedimentos de preparação do trabalho, como por exemplo a composição da areia a utilizar nos machos ou programação dos equipamentos;
2. Fabrico – as etapas de fabrico são descritas alertando para zonas críticas, podendo ser mostrado o exemplo de uma peça/macho boa e de peças/macho com defeito;
3. Controlo – neste ponto são definidos os parâmetros de controlo de produção, onde para cada situação problemática possível é indicada uma acção de resolução do problema.

No Anexo C, são dados exemplos de Modos Operatórios Específicos, para ocada uma das etapas do processo. No entanto, nas tabelas seguintes podem ver-se um exemplo da informação contida nos Modos Operatórios Específicos para cada uma das secções abrangidas.

**Tabela 38 - Exemplo de Modo Operatório Especifico da secção Fabrico de Machos**

<p><b>Preparação</b></p>	<p>1-1 <u>Areia a utilizar:</u>                  1 Saco Areia SP55                  125g Endurecedor AT20                  500g Resina SANSET 031                  Preparação: Ver “Modo Operatório Geral - Preparação Areia” (5-2)</p> <p>1-2 <u>Preparação Máquina:</u>                  Programação da máquina a usar :                  a. Utilizar programa memorizado ou inserir valores da tabela abaixo;                  b. Esperar que as caixas atinjam a temperatura programada para iniciar a produção.</p>						
<p><b>Fabrico</b></p>	<p>2-1 <u>Cuidados durante o fabrico:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar a espessura de cozedura ao início da série, conforme o “Modo Operatório Geral – Máquina de Machos” (5)</li> <li>• Se os machos saírem sempre com o mesmo defeito, tentar corrigir o que possa estar a causar esse defeito;</li> <li>• Verificar se o macho é correctamente extraído, se não for deve colocar-se o desmoldante.</li> </ul>						
<p><b>Controlo</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar a espessura de cozedura a cada arranque, conforme o “Modo Operatório Geral – Máquina de Machos” (5)</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Registrar a cada <u>100 ciclos:</u></li> </ul> <table border="1" data-bbox="379 1541 1394 1688"> <tr> <td>A</td> <td>Espessura de cozedura (4 a 8 mm) – Se <b>NOK</b> ajustar tempo de cozer;</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Existência de 15 machos, com defeito, consecutivos – Ajustar a caixa e se o problema persistir remover para reparação;</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Total peças N/C.</td> </tr> </table>	A	Espessura de cozedura (4 a 8 mm) – Se <b>NOK</b> ajustar tempo de cozer;	B	Existência de 15 machos, com defeito, consecutivos – Ajustar a caixa e se o problema persistir remover para reparação;	C	Total peças N/C.
A	Espessura de cozedura (4 a 8 mm) – Se <b>NOK</b> ajustar tempo de cozer;						
B	Existência de 15 machos, com defeito, consecutivos – Ajustar a caixa e se o problema persistir remover para reparação;						
C	Total peças N/C.						

**Tabela 39 - Exemplo de Modo Operatório Especifico da secção Retoque de Machos**

<p><b>Preparação</b></p>	<p>1-1 <u>Rebarbagem:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Escolher o material mais adequado às zonas a rebarbar (ver “Modo Operatório Geral – Retoque dos Machos”(5));</li> <li>• Usar sempre que possível o fio de piano para rebarbar.</li> </ul> <p>1-2 <u>Pintura:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Retirar um copo de tinta da lata KOALID 6SR;</li> <li>• Escolher o pincel adequado à pintura a fazer.</li> </ul>
<p><b>Fabrico</b></p>	<p>2-1 <u>Rebarbagem:</u></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p><b>ANTES DE REBARBAR</b></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><b>DEPOIS DE REBARBAR</b></p> </div> </div> <p>2-2 <u>Pintura:</u> Não necessita pintura.</p>
<p><b>Controlo</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar se nenhum macho com defeito vai para a fase de vazamento.</li> </ul>

**Tabela 40 - Exemplo de Modo Operatório Especifico da secção Remoção dos Machos**

<p><b>Preparação</b></p>	<p>1-1 <u>Colocação do apoio mais indicado na máquina.</u></p>
<p><b>Fabrico</b></p>	<p>2-1 <u>Máquina:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar na máquina de extracção;</li> </ul> <p>2-2 <u>Limpeza Manual:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Retirar os restos de areia manualmente;</li> </ul>
<p><b>Controlo</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar se não existe areia no interior da peça.</li> <li>• Verificar se existe defeito nas peças:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Rechupes.</li> <li>○ Batidas.</li> <li>○ Falta de material.</li> </ul> </li> </ul>

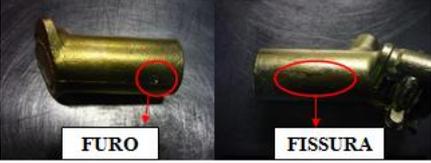
**Tabela 41 - Exemplo de Modo Operatório Especifico da secção Corte dos Gitos**

<p><b>Preparação</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar se é fita de corte mais adequada;</li> <li>• Pegar no gabarito da peça</li> </ul>
<p><b>Fabrico</b></p>	<p>2-1 <u>Sequência de Cortes</u></p> 
<p><b>Controlo</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar se existe defeito nas peças:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Rechupes.</li> <li>○ Deformações.</li> <li>○ Falta de material.</li> </ul> </li> <li>• No caso de defeito, parar o corte dessa peça e colocá-la no carrinho, numa caixa á parte.</li> </ul>

**Tabela 42 - Exemplo de Modo Operatório Especifico da secção Grenalhagem**

<p><b>Preparação</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar se a Grenelhadora não tem peças;</li> <li>• Colocar as peças a grenalhar.</li> </ul>
<p><b>Fabrico</b></p>	<p>2-1 <u>Colocar o tempo de grenalhagem</u> 6 Minutos.</p>
<p><b>Controlo</b></p>	

Tabela 43 - Exemplo de Modo Operatório Especifico da secção Controlo e Embalamento

<b>Preparação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparar caixas de embalamento (conforme “Modo Operatório Geral – Embalagem e Expedição” (5))</li> </ul>
<b>Fabrico</b>	<p>2-1 <u>Retirar do lote peças não conforme</u></p> <p>2-2 <u>Contar e pesar peças a embalar</u></p>
<b>Controlo</b>	<p>3-1 <u>Peça NÃO Grenalhada</u></p> <p>3-2 <u>Exemplos Peça Não Conforme</u></p> <div data-bbox="667 728 1098 891" style="text-align: center;">  <p style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span><b>FURO</b></span> <span><b>FISSURA</b></span> </p> </div> <p>3-3 <u>Exemplo Peça Boa</u></p> <div data-bbox="676 958 1091 1258" style="text-align: center;">  </div>

## **8. Implementação e Validação do Processo de Controlo Desenvolvido**

De modo a manter o sistema dentro de controlo é necessário acompanhar o processo de modo a verificar as referências críticas (curvas ABC), avaliar o desempenho dos operários, detectar evolução negativa da produção antecipadamente e conhecer os tipos de defeitos mais frequentes para cada referência. A implementação deste sistema permite detectar oscilações e perceber as respectivas causas: mudança de composição da matéria-prima, temperaturas ou operador. Por isso, para além da documentação com instruções de fabrico, foram também criadas fichas de controlo de qualidade. Com estas fichas de controlo pretende-se detectar eventuais problemas no processo produtivo de modo a controlá-los e resolvê-los. Desta forma espera-se diminuir o número de peças não conformes.

Este método de avaliação foi também aplicado a todas as fases de fabrico, permitindo um acompanhamento geral de todo o processo.

### **8.1. Recolha de dados**

No processo de avaliação o registo de todas as etapas deve ser assegurado, constituindo os *kanbans* um método adequado pois permite não só a identificação dos semi-produtos em circulação, mas igualmente de toda a informação importante que é registada em cada etapa efectuada.

A DELABIE já possuía estas folhas de registo, mas a informação recolhida não era completa. Por esse motivo, no presente trabalho optou-se pela alteração dos *kanbans*, que são diferentes na secção macharia (Figura 75) e nas secções após vazamento (Figura 76).

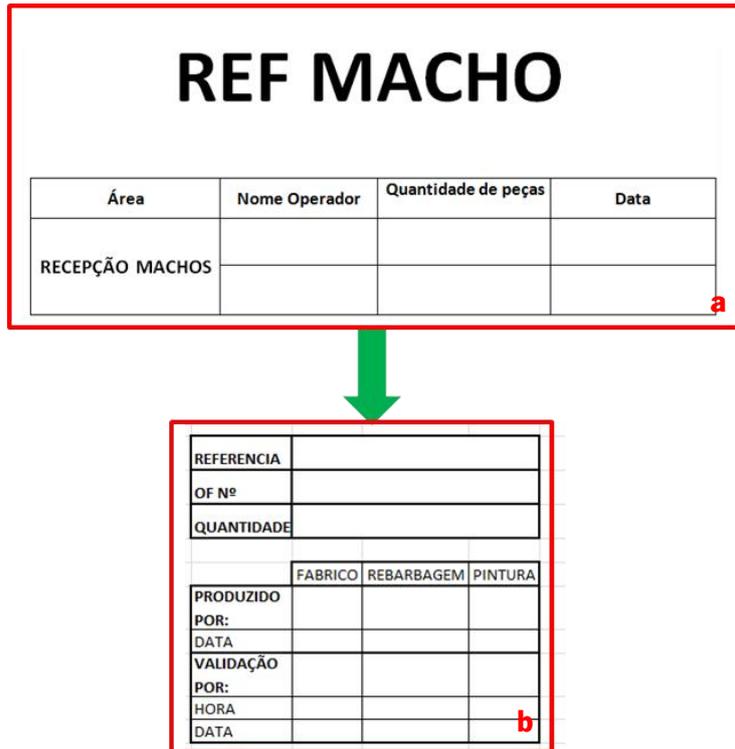


Figura 75 - Alteração do *kanban* utilizado na macharia: a) versão inicial; b) proposta de alteração

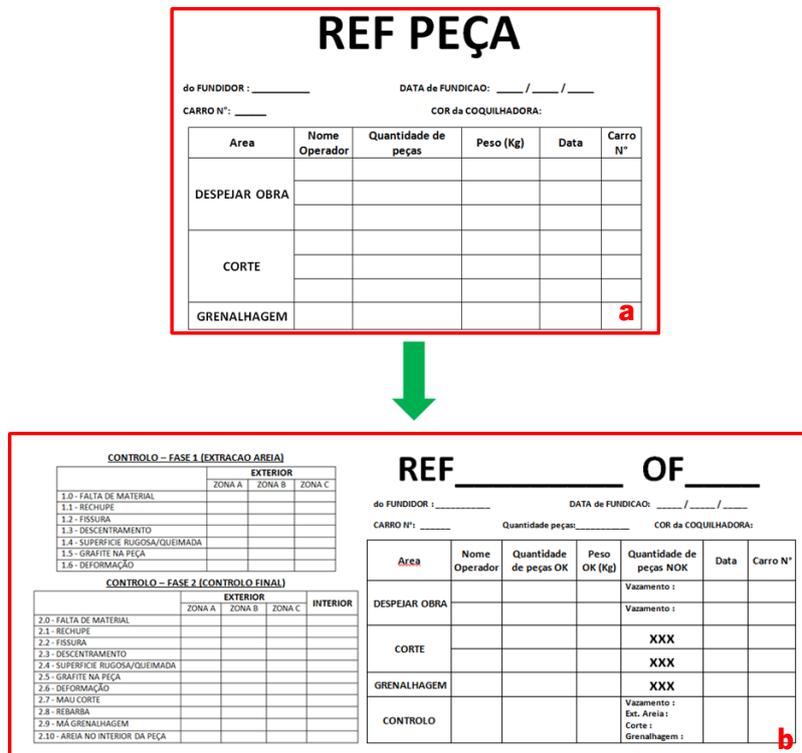


Figura 76 - Alteração do *kanban* utilizado nos carrinhos após vazamento: a) versão inicial; b) proposta de alteração

Os *kanbans* da macharia apenas contêm o operador responsável pela etapa e a data de fabrico, mas os *kanbans* das peças após vazamento, para além da indicação do operador e data de cada etapa possuem também um quadro resumo onde são registados os defeitos detectados. Existem dois quadros, um para ser preenchido pelo operador da extracção dos machos que, pelo facto de manusear cada peça para a remoção da areia do interior da peça, tem possibilidade de detectar alguns defeitos externos, fazendo o registo no quadro correspondente (Figura 77). No final do processo, na fase de controlo, a inspecção é mais exaustiva, e nesta fase detectam-se os restantes defeitos, tanto exteriores como interiores (Figura 78). Os quadros estão divididos em zonas A, B, C e interior, sendo que as zonas exteriores são classificadas de acordo com a exposição perante o utilizador final (Figura 79).

	EXTERIOR		
	ZONA A	ZONA B	ZONA C
1.0 - FALTA DE MATERIAL			
1.1 - RECHUPE			
1.2 - FISSURA			
1.3 - DESCENTRAMENTO			
1.4 - SUPERFICIE RUGOSA/QUEIMADA			
1.5 - GRAFITE NA PEÇA			
1.6 - DEFORMAÇÃO			

**Figura 77 - Quadro fase de controlo 1 (Extracção de Areia)**

	EXTERIOR			INTERIOR
	ZONA A	ZONA B	ZONA C	
2.0 - FALTA DE MATERIAL				
2.1 - RECHUPE				
2.2 - FISSURA				
2.3 - DESCENTRAMENTO				
2.4 - SUPERFICIE RUGOSA/QUEIMADA				
2.5 - GRAFITE NA PEÇA				
2.6 - DEFORMAÇÃO				
2.7 - MAU CORTE				
2.8 - REBARBA				
2.9 - MÁ GREVALHAGEM				
2.10 - AREIA NO INTERIOR DA PEÇA				

**Figura 78 - Quadro fase de controlo 2 (Controlo Final)**



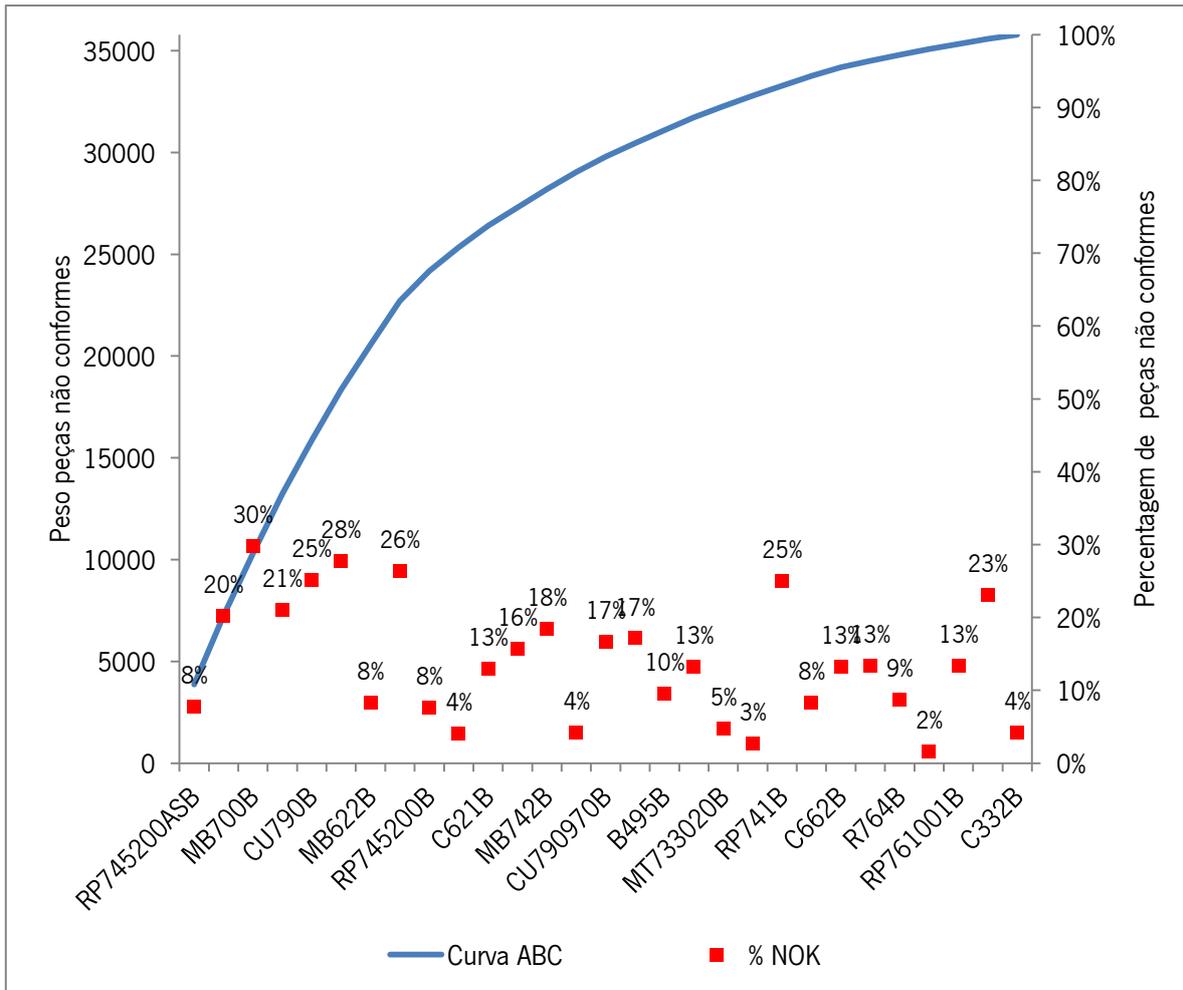
do vazamento é o mais crítico com um nível de defeitos superior a 14%. Por contraste na extracção dos machos e no corte dos gitos os defeitos normalmente são inferiores a 1%.

REFERENCIAS	Soma de %NOK VZ	Soma de %NOK EA	Soma de %NOK CG
MB622B	14,6%	0,0%	0,0%
MB700B	14,8%	0,5%	0,4%
BD714BB	17,9%	0,0%	0,0%
C2320BB	18,5%	0,0%	0,0%
MLS794B	19,6%	0,6%	0,1%
RP749B	19,7%	0,0%	0,0%
M795B	21,9%	0,0%	2,1%
RU479B	23,1%	0,0%	0,0%
RP741B	25,0%	0,0%	0,0%
CU790970B	36,5%	0,0%	0,0%
CU790B	42,0%	0,0%	0,0%
Total Geral	22,8%	0,1%	0,1%

**Figura 81 - Comparação dos defeitos produzidos em cada posto de trabalho**

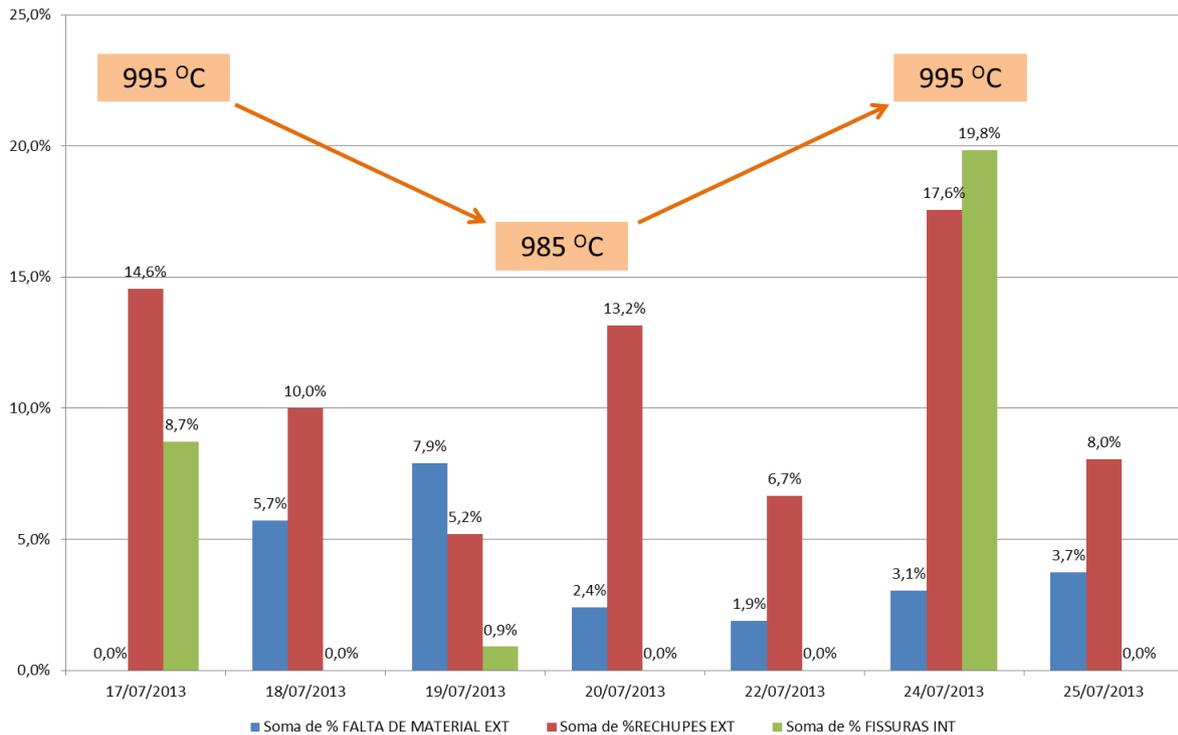
### 8.3. Exemplo de aplicação: Avaliação de uma referência

Com a recolha dos dados obtidos pode gera-se uma Curva ABC com base no peso de peças não conformes registadas para cada referência. Esta curva permite seleccionar as referências críticas e, assim, actuar prioritariamente nessas. Pode ver-se, pela Figura 82, que nem sempre as referencias com maiores percentagens de defeitos são as referências críticas, isto porque existem casos em que essa percentagem é elevada mas a quantidade produzida é reduzida, isto é: produz-se poucas quantidades dessa referência, o que a torna menos prioritária.



**Figura 82 - Representação das referências críticas e a correspondente porcentagem de defeitos**

Pode também estudar-se a influência de algumas variações no processo com o tipo e quantidade de defeitos ocorridos, por exemplo, uma referência estudada apresenta principalmente 3 tipos de defeitos: deficiente enchimento, rechupes e fissuras. A Figura 83 mostra a evolução desses defeitos em diferentes dias. Pode verificar-se que os dois primeiros defeitos ocorrem normalmente em todos os dias, com pouca variação, enquanto as fissuras ocorrem com maior incidência em dois dias. Para se identificar a causa desses defeitos é necessário saber que alterações ocorreram nesses dias, e verificou-se que nos dias em que ocorreram fissuras o forno estava programado para uma temperatura mais elevada, sugerindo que as fissuras que aparecem nessa referência são causadas pela elevada temperatura do metal.



**Figura 83 - Comparação da quantidade e tipos de defeitos obtidos numa dada referência com a temperatura do metal vazado**

#### 8.4. Exemplo de aplicação: Avaliação do operador

A etapa do vazamento coloca alguns entraves na uniformização do processo, pois existem vários aspectos que influenciam a qualidade do fundido e nem todos eles são programáveis. A Figura 84 mostra, para cada referência, a percentagem de defeitos gerados por cada operador nas mesmas condições de vazamento, isto é, todos os parâmetros programáveis permaneceram iguais para todos eles. Pode então concluir-se que o facto de ser o operador A ou B influencia a qualidade final da peça. Assim, com estes dados, deve tentar-se atribuir ao operador as referências em que tem melhor desempenho, e assegurar mais formação nas que apresentam desempenho insuficiente. Por exemplo, na programação da produção da referência MT792B, atribuir-se-á o vazamento ao operador C ou E (10% de defeitos) em detrimento do operador B (21%).

	OPERADORA A			OPERADOR B			OPERADOR C			OPERADOR D			OPERADOR E		
	PEÇAS OK	PEÇAS NOK	% NOK	PEÇAS OK	PEÇAS NOK	% NOK	PEÇAS OK	PEÇAS NOK	% NOK	PEÇAS OK	PEÇAS NOK	% NOK	PEÇAS OK	PEÇAS NOK	% NOK
BEC981B	166	31	16%							402	56	12%			
CU790970B				770	186	19%							497	68	12%
CU790B	953	189	17%							1652	482	23%	302	120	28%
M6643FB	170	9	5%							769	75	9%			
M795B	413	71	15%							265	68	20%			
MB622B				380	28	7%							253	36	12%
MB700B							521	48	8%						
MB742B	495	59	11%				384	50	12%	154	125	45%			
MLS794B	244	69	22%				766	131	15%				157	48	23%
MT731026B							151	1	1%						
MT733015B				1103	55	5%									
MT792B				446	121	21%	178	19	10%				324	36	10%
MT9726B				1015	391	28%	101	122	55%				812	229	22%
R764B				516	32	6%							343	50	13%
RP745200ASB	1679	199	11%							392	99	20%			
RP761001B				655	110	14%	206	0	0%				481	104	18%
<b>TOTAL</b>	<b>4120</b>	<b>627</b>	<b>13%</b>	<b>4885</b>	<b>923</b>	<b>16%</b>	<b>2307</b>	<b>371</b>	<b>14%</b>	<b>3634</b>	<b>905</b>	<b>20%</b>	<b>3169</b>	<b>691</b>	<b>18%</b>

**Figura 84 - Representação da variação da percentagem de defeitos consoante a referência e o operador**

## 9. Rastreabilidade

Num sistema produtivo, para avaliar os defeitos ocorridos e assim se garantir a melhoria contínua, é necessário que haja rastreabilidade do processo, isto é, para cada peça é necessário conhecer todo o percurso de fabrico. Quanto mais parâmetros se conhecer melhor é a rastreabilidade. Após o trabalho elaborado na Delabie é possível, para cada peça, saber:

- Quando e como foram produzidos os machos, e por quem;
- Se os machos foram pintados, onde, quando e por quem;
- Quando a peça foi vazada, por quem, em que coquilhadora, qual era a composição química do banho e a temperatura do forno;
- Quando foi feita a extracção do macho, e por quem;
- Quando foram cortados os gitos, e por quem;
- Quando a peça foi controlada e por quem.

Todos os aspectos acima referidos dizem respeito à rastreabilidade interna, o facto é que a partir do momento que a peça é embalada e expedida, perde-se essa ligação.

Assim, conclui-se que é necessário implementar um procedimento para garantir a rastreabilidade a partir da expedição de cada peça/lote.

## 10. Conclusões

Com este trabalho foi possível aprofundar os conhecimentos em fundição de latão em coquilha, especialmente no que toca ao fabrico de machos pelo processo Hot Box.

A realização deste trabalho tornou possível a melhoria da qualidade dos fundidos na empresa, nomeadamente no que concerne ao aspecto e rugosidade da superfície interna das peças, por alteração da composição e condições de fabrico dos machos. Implementou-se uma redução do teor de resina na produção dos machos (de 2 para 1,7%) que resultou numa diminuição da rugosidade interna média da peça de 34%. Com esta alteração existe um aumento da qualidade das peças e também uma redução no custo de fabrico dos machos. Para além do teor de resina, pode também verificar-se que a utilização de uma temperatura de cura adequada (180 a 220°C) reduz significativamente a incrustação de areia no fundido. Para a secção da macharia foi ainda desenvolvido e validado um procedimento a aplicar quando os machos são susceptíveis a quebrar antes ou durante o vazamento provocando uma elevada taxa de refugo. Este procedimento foi testado numa referência para a qual se obteve uma redução de 27% de peças não conformes.

Para além das melhorias realizadas no fabrico dos machos, foi também possível apoiar a empresa na estruturação e documentação necessárias para a definição e controlo do processo de fabrico. Foram para o efeito elaborados vários documentos para diferentes secções e referências peças onde constam as informações necessárias para a execução das tarefas, minimizando erros e oscilações no processo de fabrico.

Paralelamente foi desenvolvida uma base de dados com informações recolhidas nos *kanbans* que permitiu identificar as secções e referências de peças críticas através de curva ABC e percentagens de rejeição. Com este programa é possível fazer uma avaliação contínua do processo bem como detectar oscilações e identificar a sua origem. Foram aplicados estes procedimentos na forma de estudo de casos para exemplificação e validação dos procedimentos adoptados.

## **11. Propostas de Trabalho Futuro**

Este trabalho teve principal enfoque na primeira etapa do ciclo produtivo: fabrico dos machos, mas antes ainda do vazamento existem outros parâmetros que devem ser estudados, nomeadamente a pintura. Na fase de pintura dos machos deve-se, futuramente, avaliar a diferença entre pintura a pincel ou por imersão, e para cada caso determinar qual a melhor densidade de tinta a usar.

Para além da especificação de parâmetros de fabrico, os parâmetros de controlo deveriam ser melhorados. Neste momento, como se pode verificar, existe um controlo total das peças fabricadas, o que não é o mais adequado do ponto de vista da produtividade, propõe-se então que seja elaborado um plano de controlo estatístico alternativo de modo a tornar mais rápido o controlo das peças fundidas não diminuindo a satisfação do cliente.

Como foi dito anteriormente, após a expedição das peças torna-se difícil relacionar a peça com o seu lote e conseqüentemente saber detalhadamente o seu percurso produtivo. Desta forma, seria uma mais valia desenvolver um método que permitisse garantir a rastreabilidade mesmo após a expedição, nomeadamente através de numeração das peças de acordo com o seu lote.

## 12. Bibliografia

- [1] [Online]. Available: [www.delabie.com](http://www.delabie.com). [Acedido em 28 02 2013].
- [2] M. Casting, "45th Census of World Casting Production," 2011.
- [3] 3 1998. [Online]. Available: [www.copper.org/publications/newsletters/innovations/1998/03/casting.html](http://www.copper.org/publications/newsletters/innovations/1998/03/casting.html). [Acedido em 12 12 2012].
- [4] J. R. Davis, Copper and Copper alloys, ASM Special Handbook.
- [5] C. Vilarinho e F. Castro, Caracterização das propriedades mecânicas e microestruturas de latões comerciais, Guimarães, Portugal: Actas do 9º Encontro das Sociedade Portuguesa de Materiais, 1999.
- [6] Guia prático de utilização e traçado de peças de cobre, Lisboa: INII - Instituto Nacional de Investigação Industrial, 1968.
- [7] ASM, ASM Metals Handbook - Volume 3 Alloy Phase Diagrams, 1992.
- [8] F. P. Castro e J. M. Junqueiras, Latões para Fundição, CETEM, 1996.
- [9] V. Locansolo e L. Nubili, Manuale degli Ottoni, Cansedit, 1995.
- [10] C. Vilarinho, D. Soares e F. Castro, Influence of chemical composition and volume fraction of phases on the dezincification resistance of brassS, Ostrava, Czech Republic: Matal, 2013.
- [11] H. Parikh, Machinable copper alloys having reduced lead content, United states of Patent, 1992.
- [12] W. Smith, Principles of Materials Science and Engineering, McGrawHill, 1996.
- [13] [Online]. Available: [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com). [Acedido em 20 12 2012].
- [14] [Online]. Available: [www1.eere.energy.gov/manufacturing\\_industries\\_technologies\\_imf\\_pdfs](http://www1.eere.energy.gov/manufacturing_industries_technologies_imf_pdfs).
- [15] M. Cook e N. Fletcher, "The melting and casting brass," 1948-49.
- [16] A. Mesquita, Tecnologia da fundição de metais não ferrosos - Ligas e Cobre - Técnicas de fusão, Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Industrial, 1968.

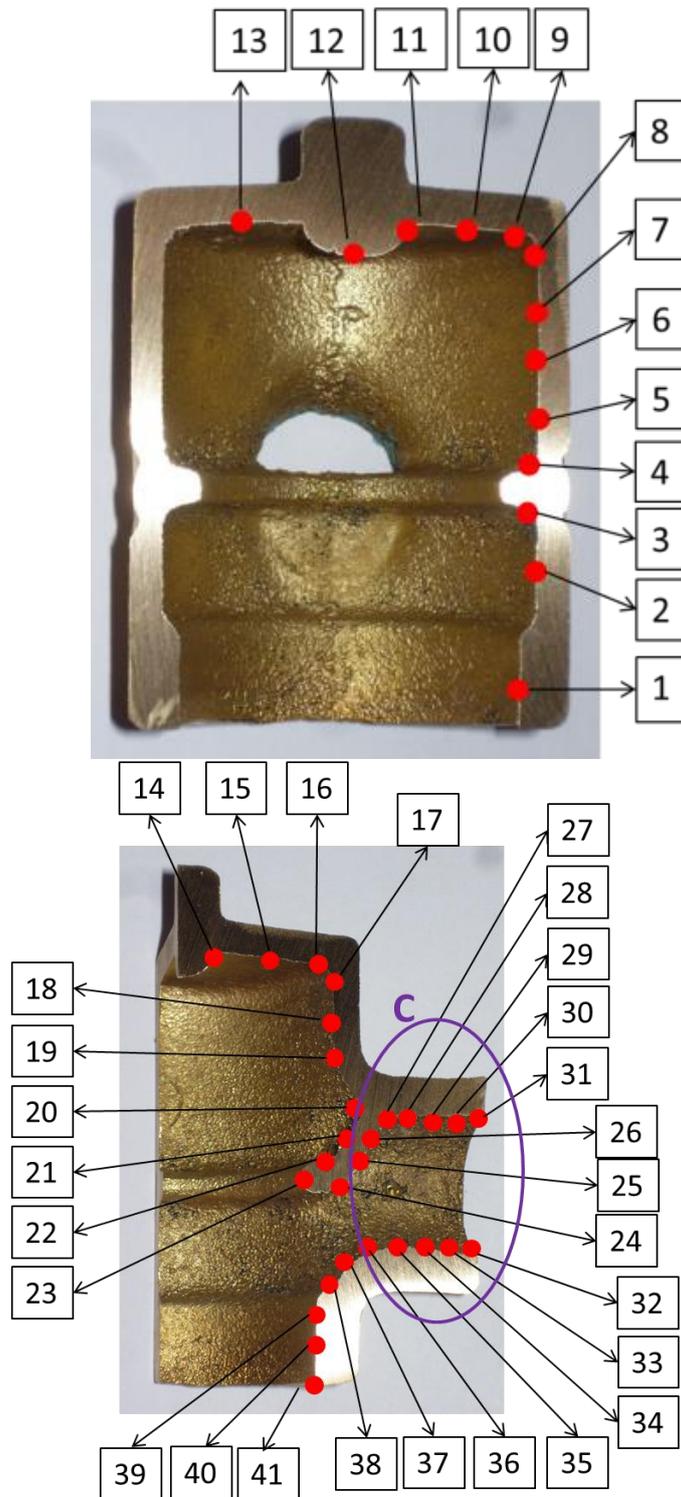
- [17] S. Hurst, Metal Casting - Appropriate technology in the small foundry, Intermediate Technology Publications, 1996.
- [18] ASM, ASM Metals HandBook Volume 15 - Casting, 1998.
- [19] B. Andresen, Die Casting Engineering, Mascel Dekker, 2005.
- [20] R. Singh, Introduction to Basic Manufacturing Process and Workshop Techology, New Age International Publishers, 2006.
- [21] R. W. Heine, Principles of metal casting, McGraw-Hill, 1967.
- [22] R. A. Flinn, Fundamentals of metal casting, Addison-Wesley, 1963.
- [23] C. Ramião, Controlo de qualidade de latões: fundição por gravidade em coquilha, C.R.P.R., 1991.
- [24] [Online]. Available: [www.custompartnet.com/wu/permanent-mold-casting](http://www.custompartnet.com/wu/permanent-mold-casting). [Acedido em 28 12 2012].
- [25] J. Barbosa, Tecnologia da Fundição - Processos de moldação, 1997.
- [26] J. Ferreira, Tecnologia da Fundição, Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.
- [27] Campbell e J., Casting, Butterworth Heinemann, 2003.
- [28] Casting Defects in Foundry Products, American Technical Publishers, 1997.
- [29] P. Beeley, Foundry Technology, Butterworth Heinemann, 2001.
- [30] G. Verran, Processos de Moldagem e Macharia em Areias Aglomeradas com Resinas.
- [31] Dias e M. Fátima, "Diagnóstico e Melhoria do Fabrico de Machos pelo Processo de Caixa Quente," Porto, 2008.
- [32] ASM, ASM Metals HandBook Volume 16 - Machining Processes, ASM.
- [33] ASM, ASM Metals HandBook Volume 05 - Surface Engineering, ASM, 1994.
- [34] J. Barbosa, Introdução à Tecnologia de Fundição, 2003.

# **ANEXOS**



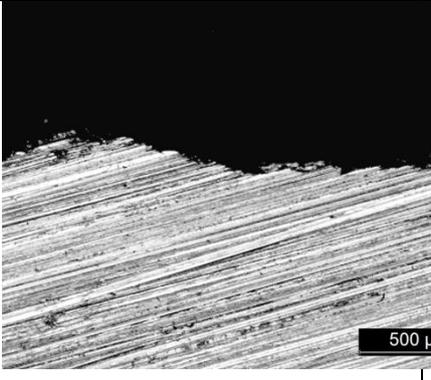
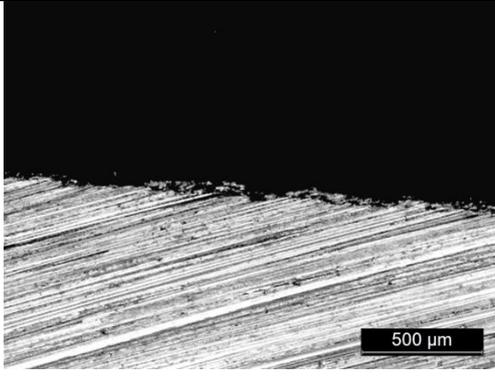
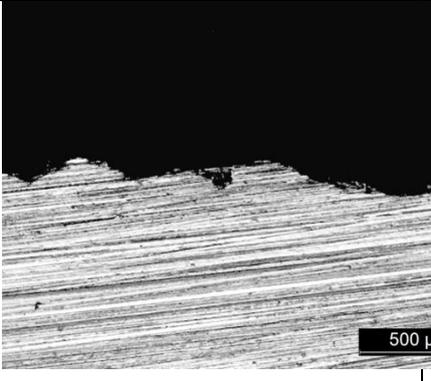
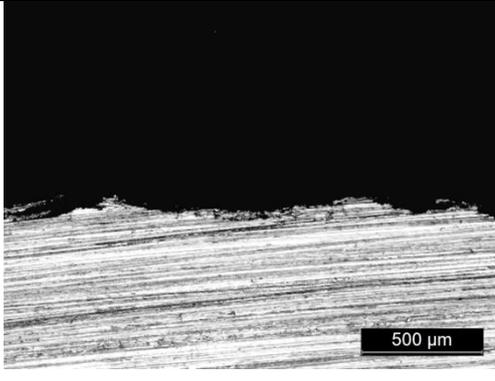
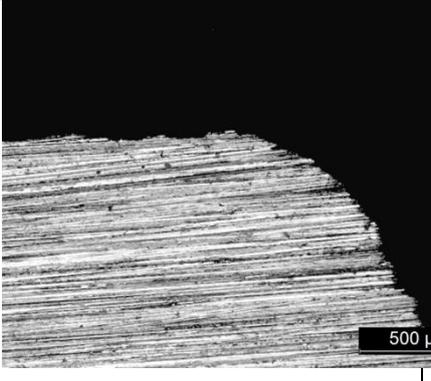
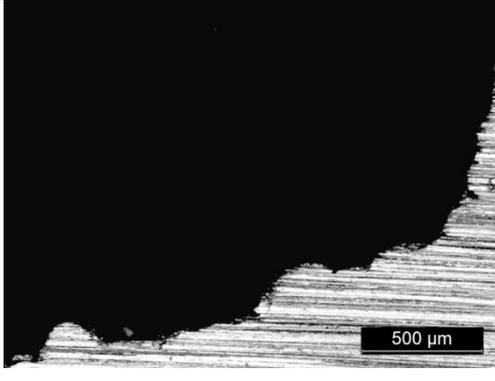
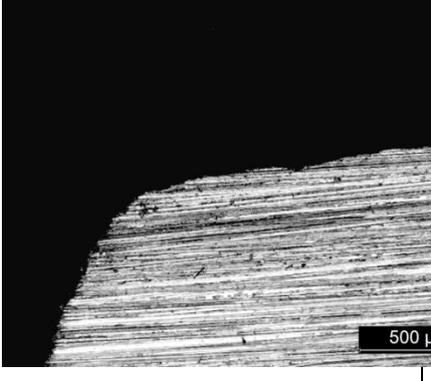
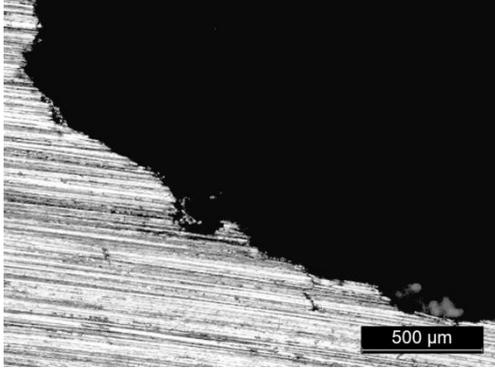
Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2% de resina

### A. Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2 % de resina



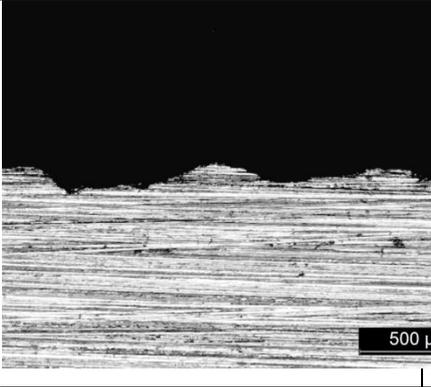
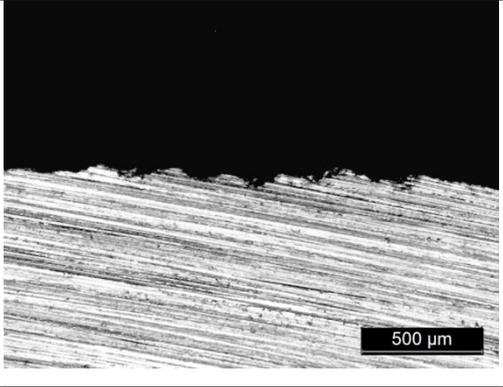
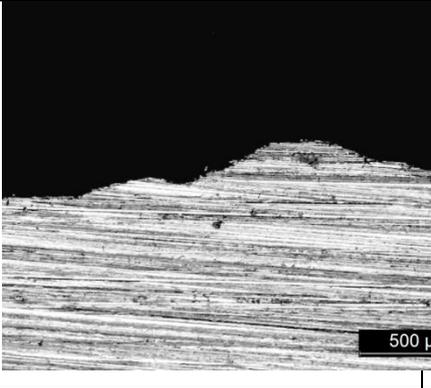
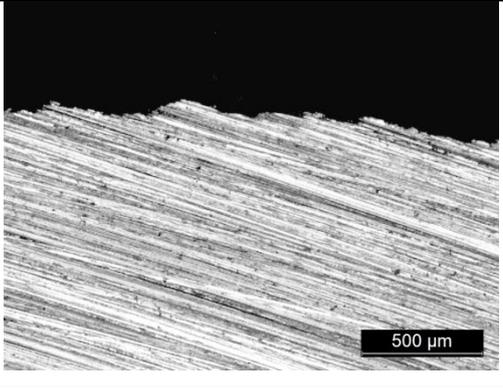
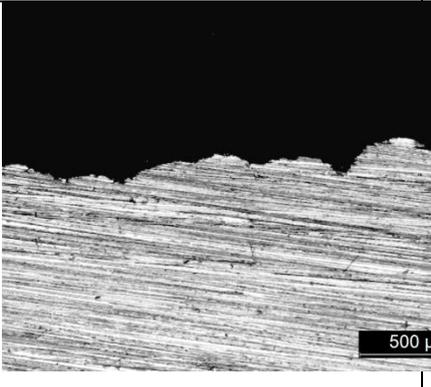
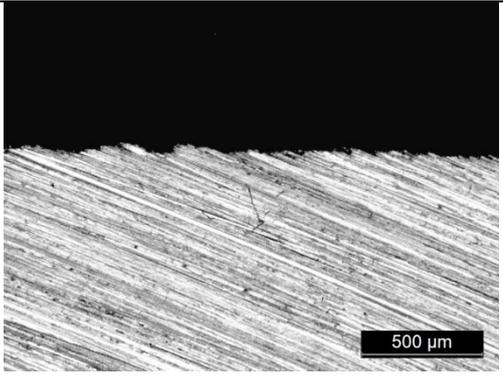
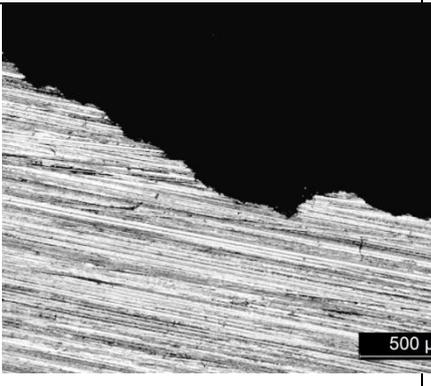
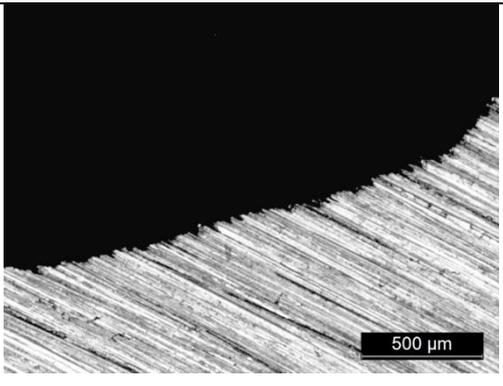


Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2% de resina

	2%	1,7%
1		
2		
3		
4		

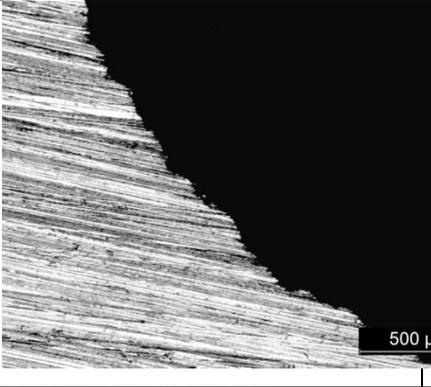
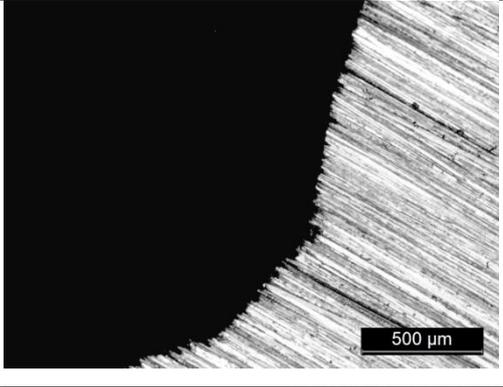
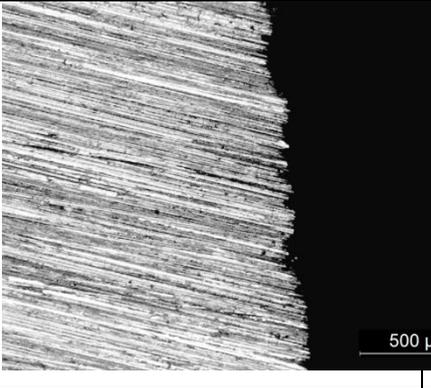
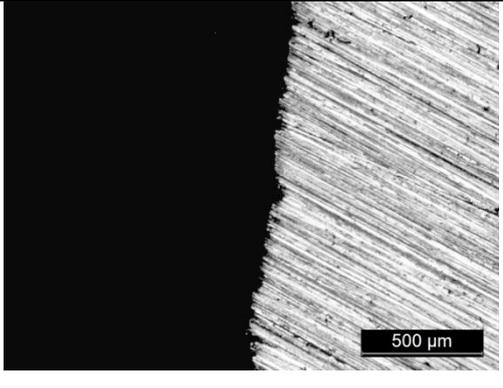
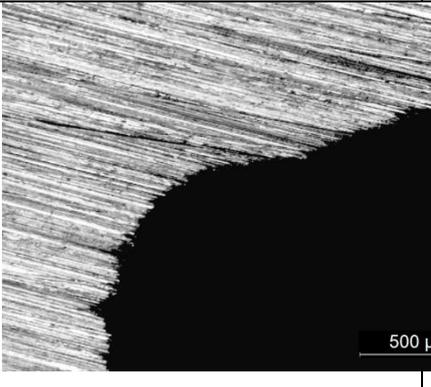
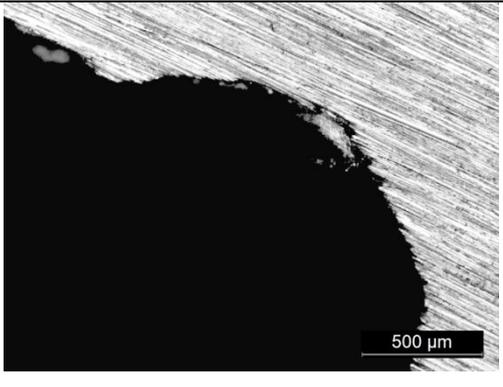
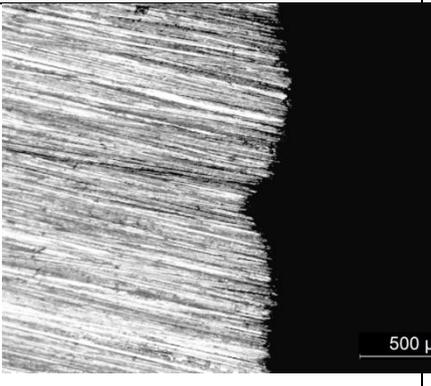
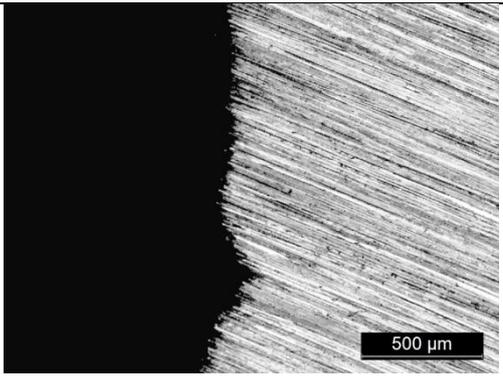


Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2% de resina

5		
6		
7		
8		

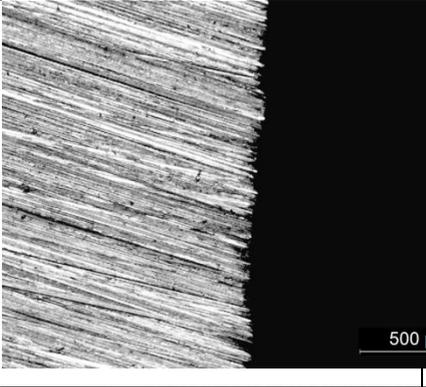
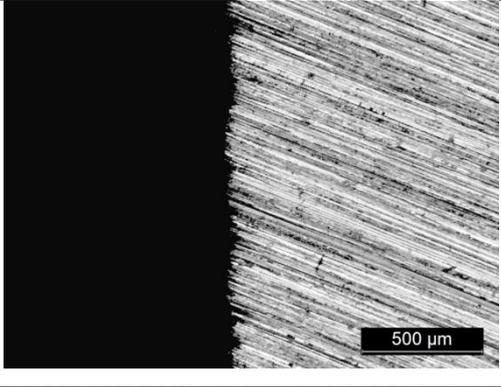
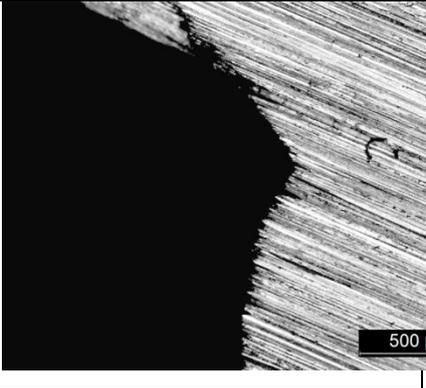
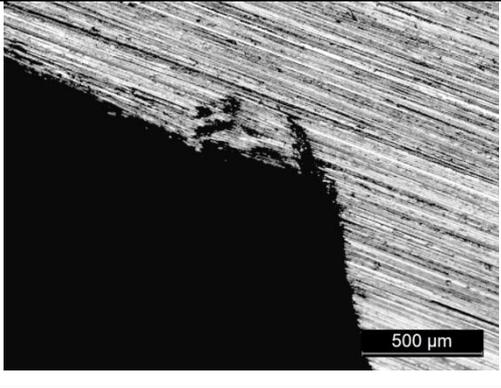
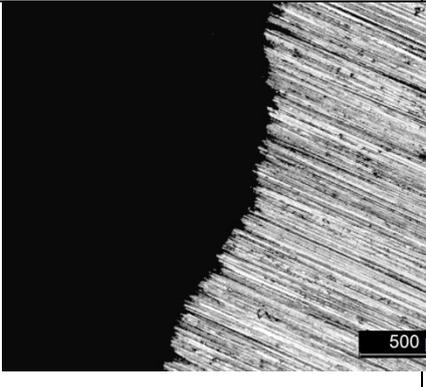
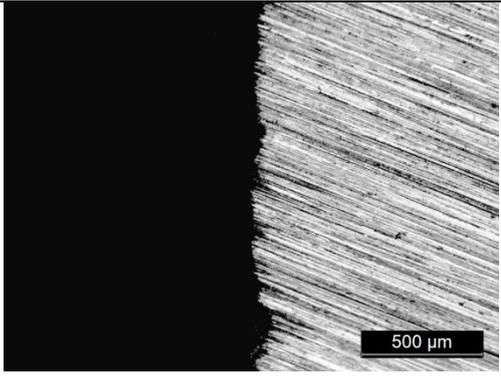
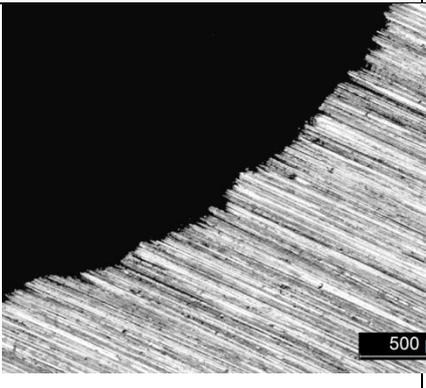
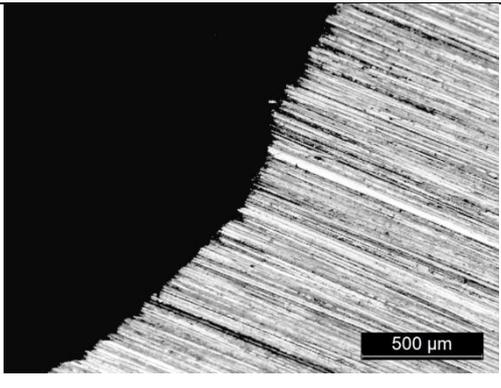


Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2% de resina

9		
10		
11		
12		

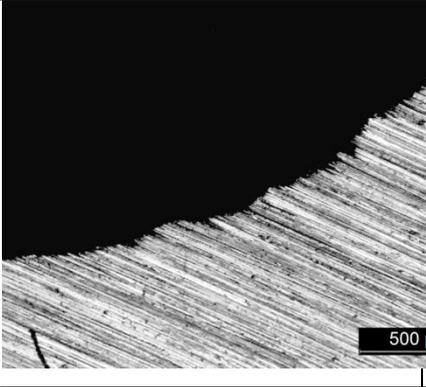
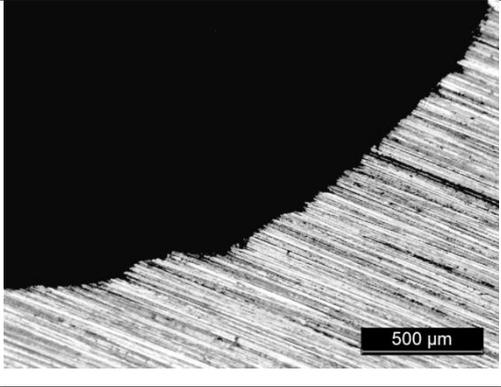
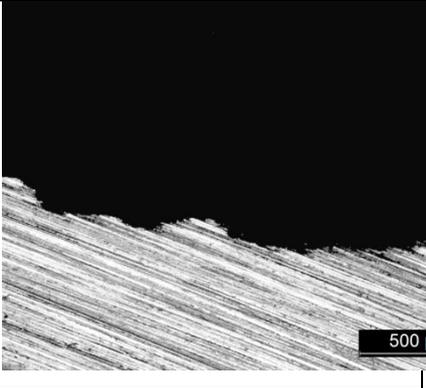
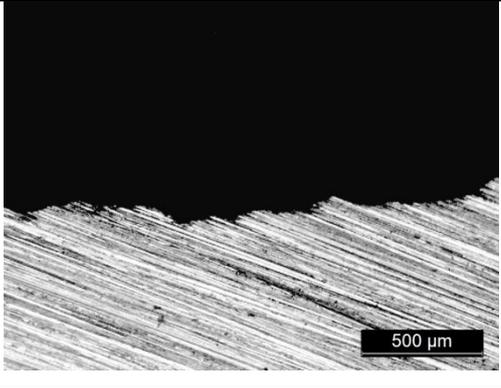
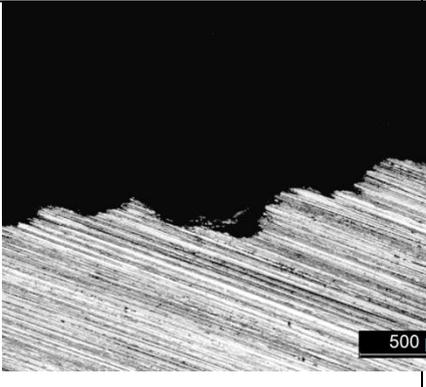
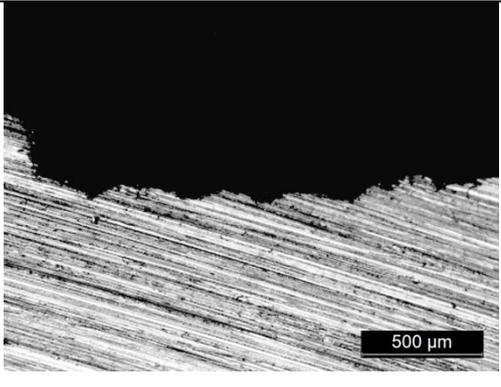
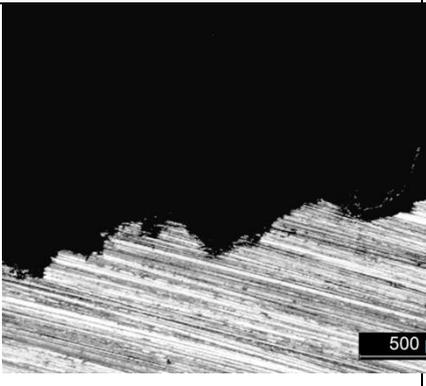
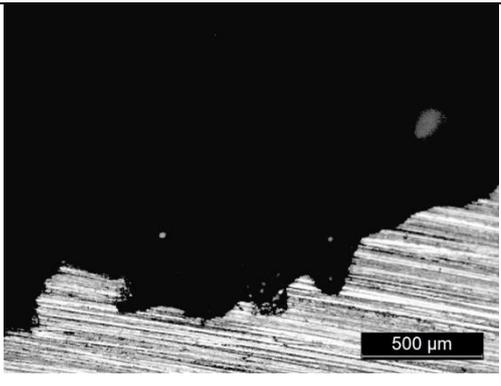


Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2% de resina

13		
14		
15		
16		

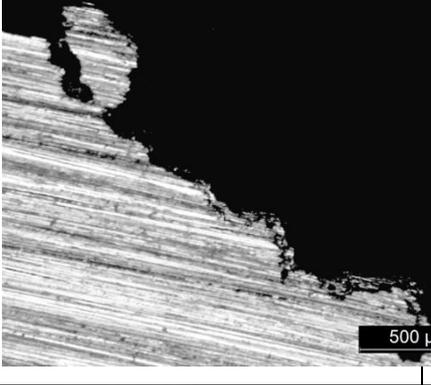
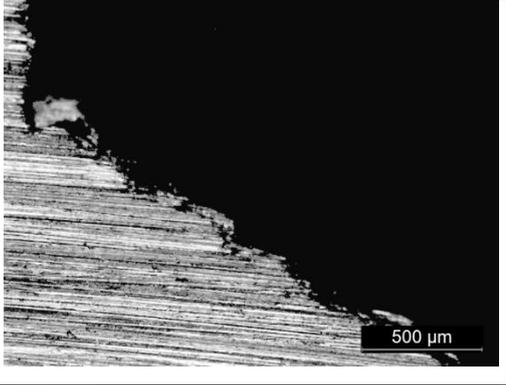
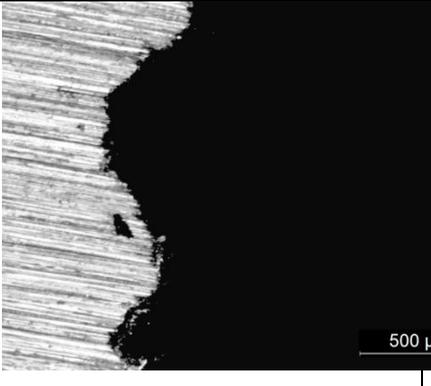
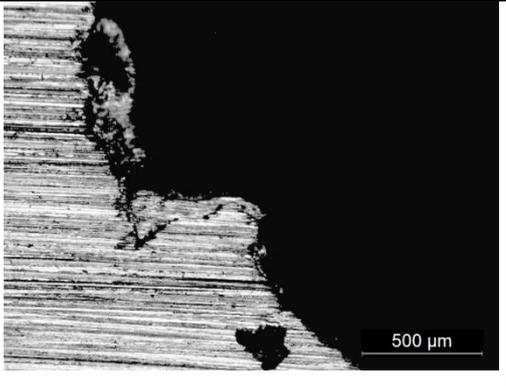
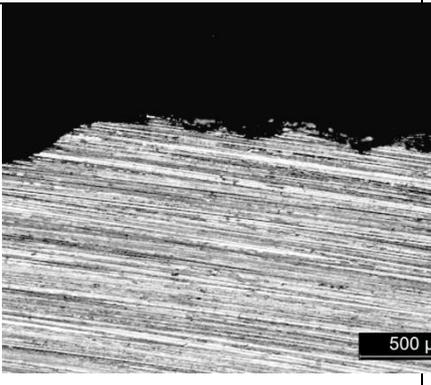
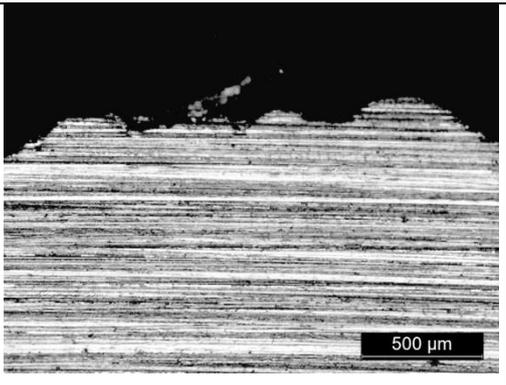
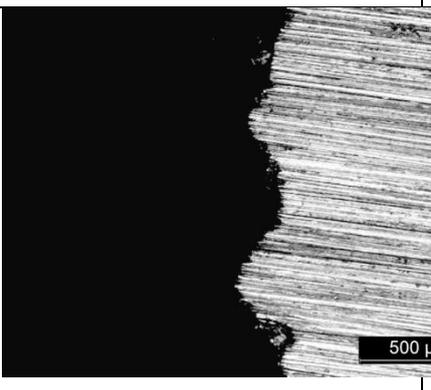
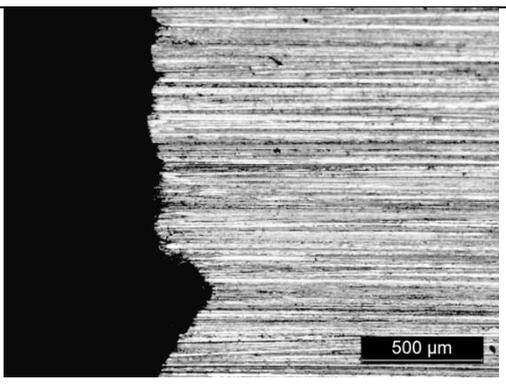


Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2% de resina

17		
18		
19		
20		

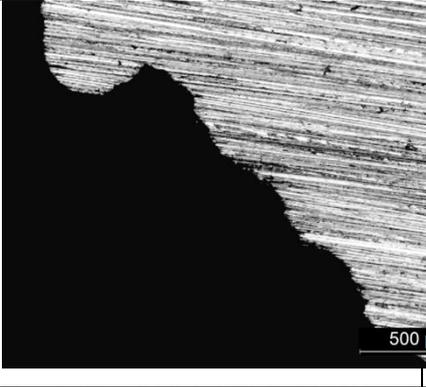
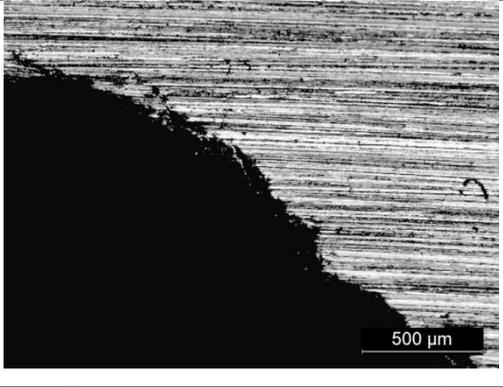
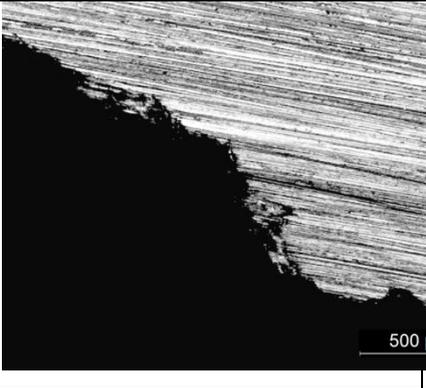
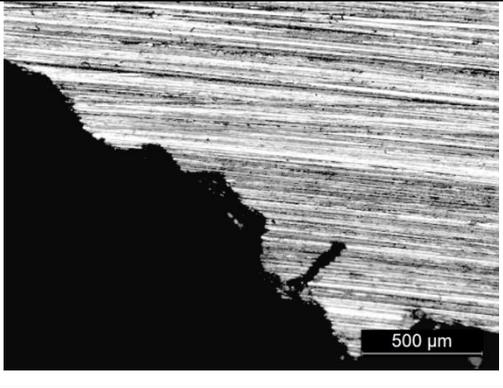
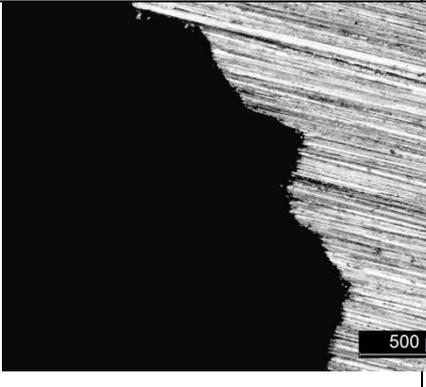
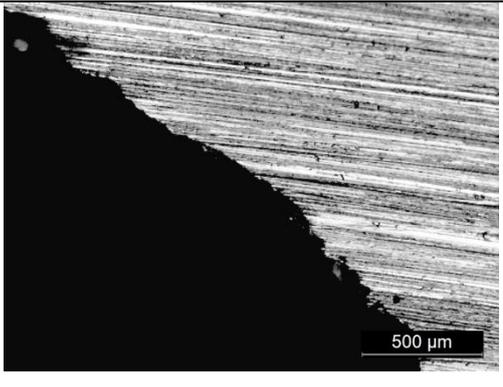
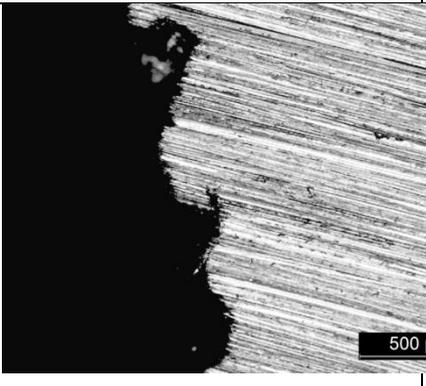
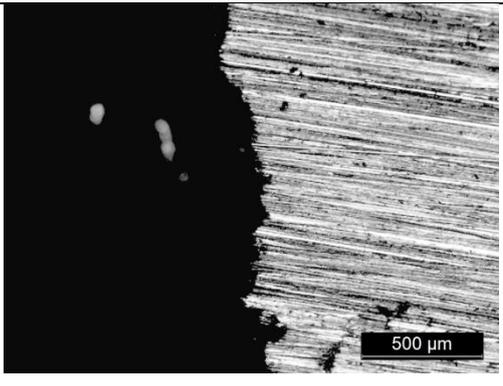


Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2% de resina

21		
22		
23		
24		

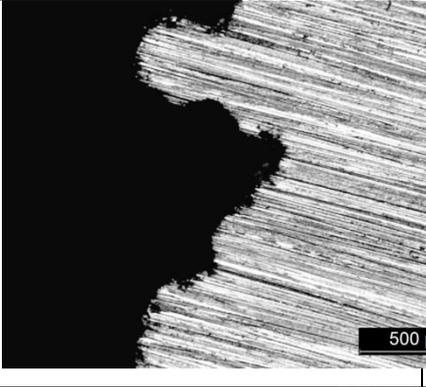
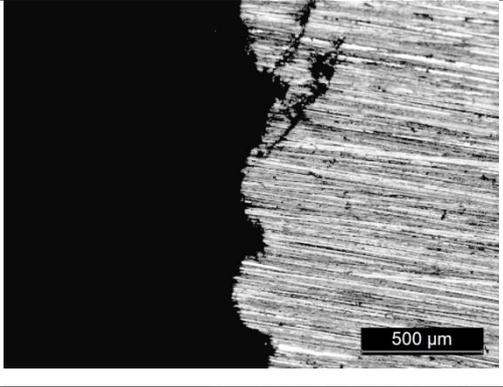
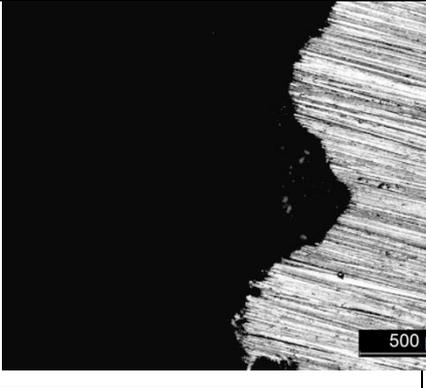
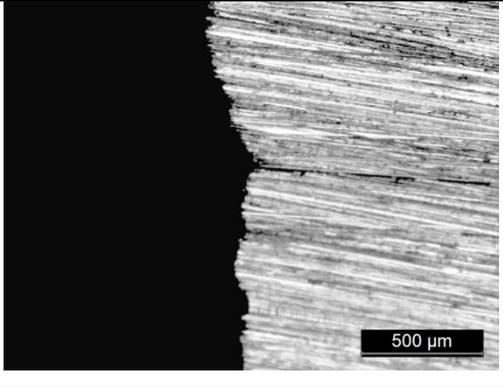
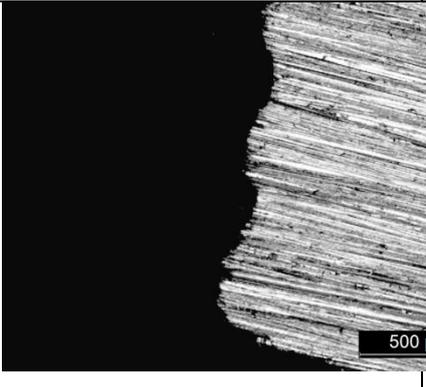
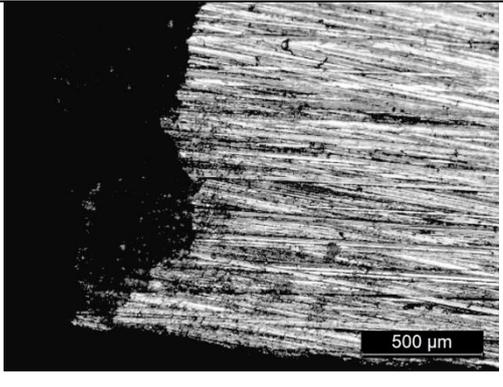
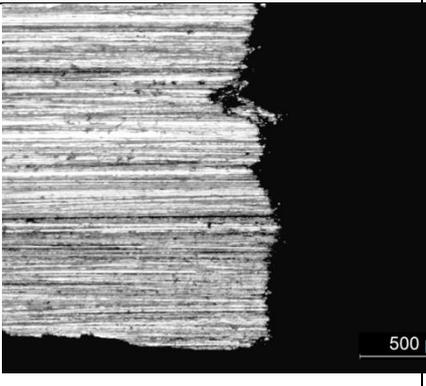
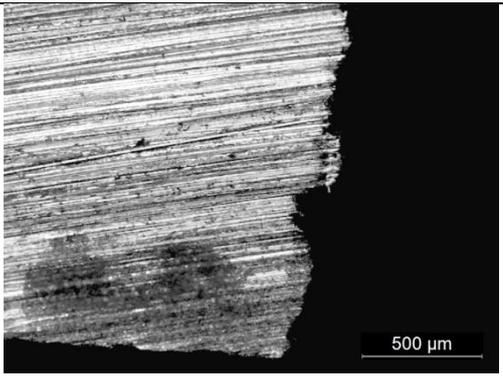


Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2% de resina

25		
26		
27		
28		

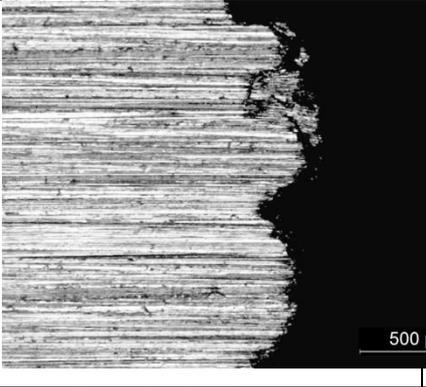
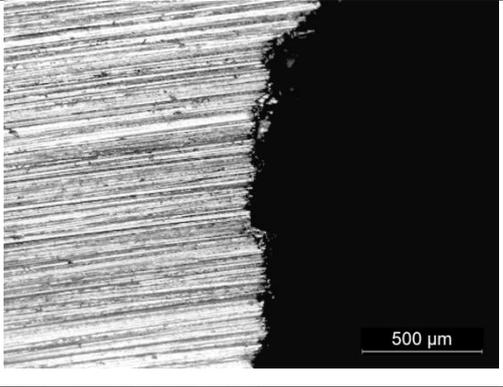
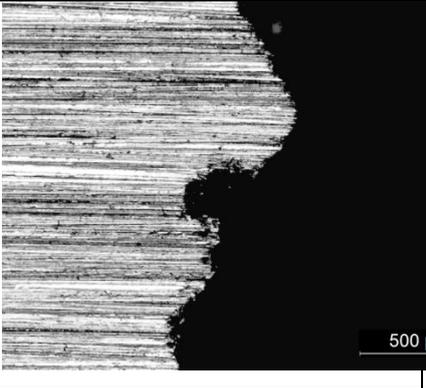
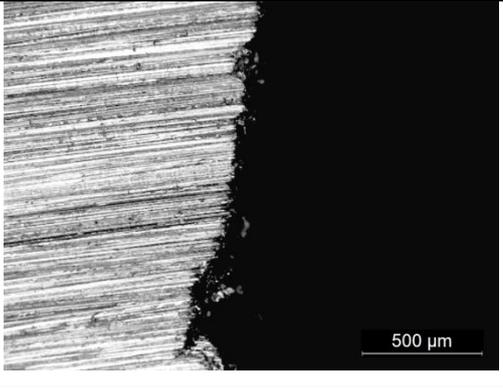
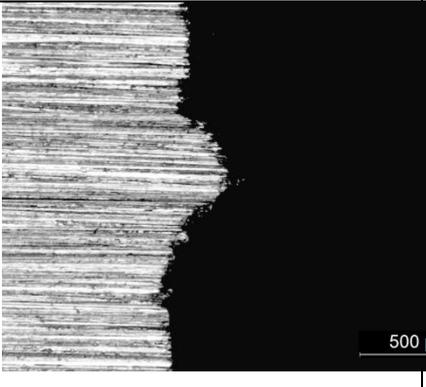
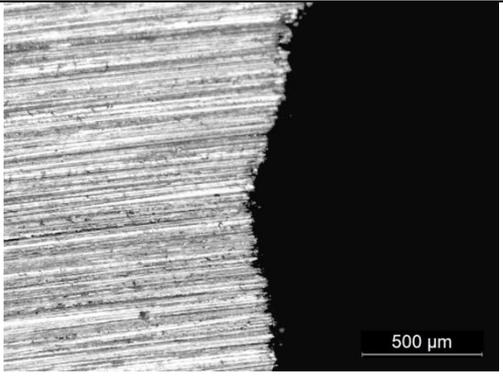
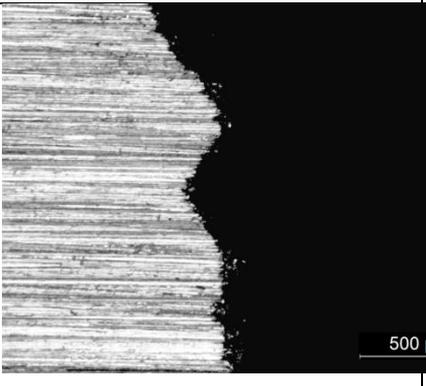
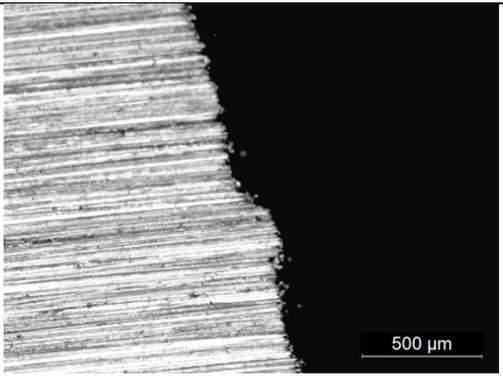


Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2% de resina

29		
30		
31		
32		

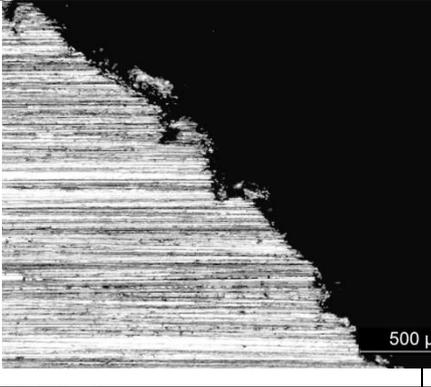
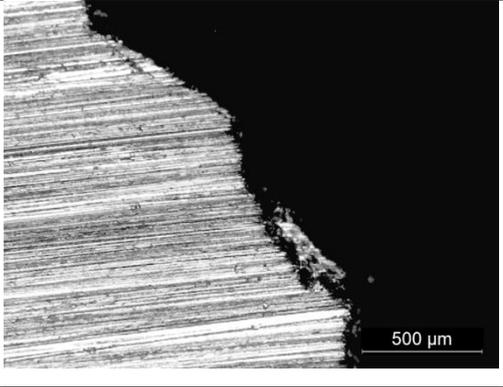
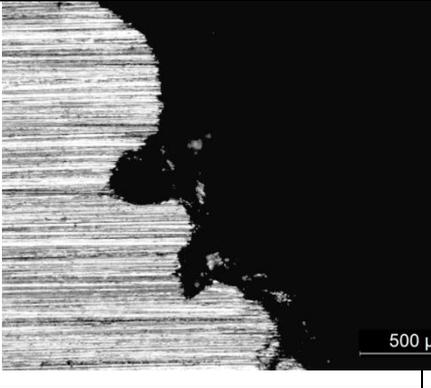
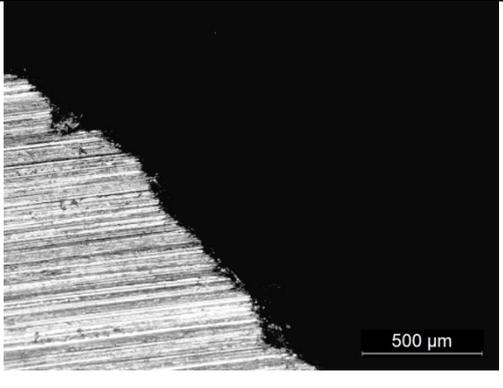
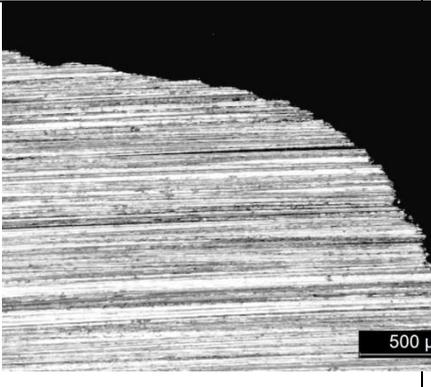
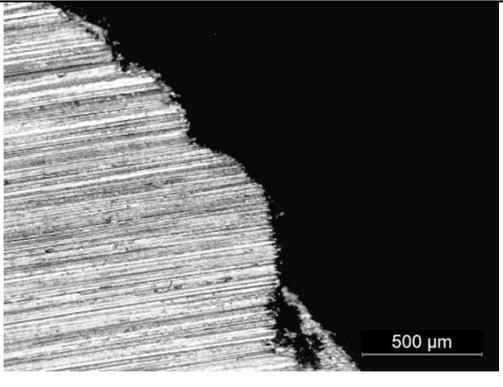
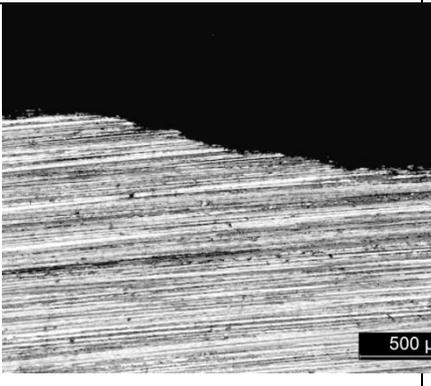
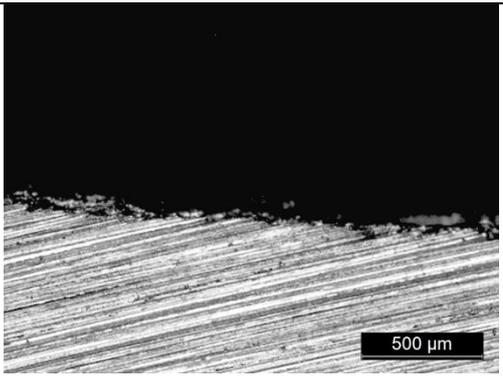


Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2% de resina

33		
34		
35		
36		

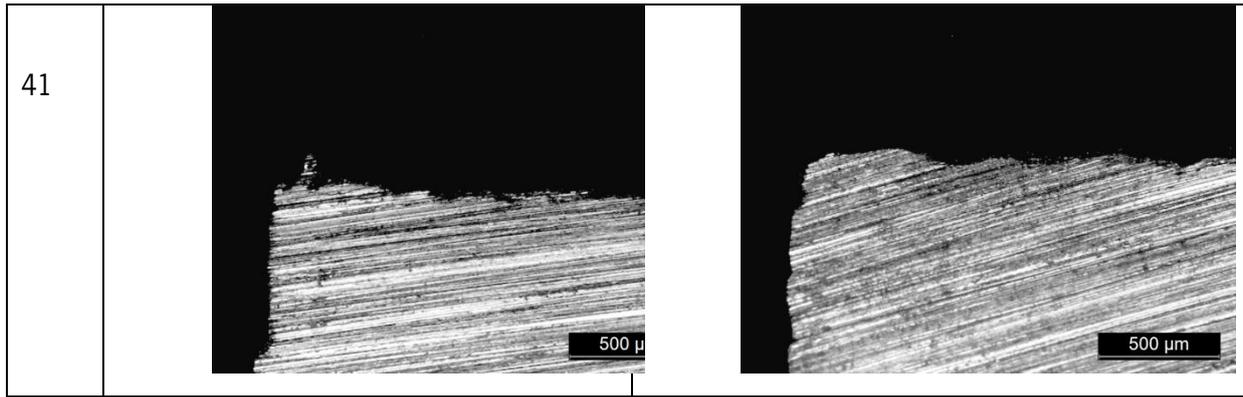


Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2% de resina

37		
38		
39		
40		



Fotografias retiradas da parede interna dos fundidos, aquando a utilização de machos com 1,7 e 2% de resina





## B. Documentação Geral

	<b>MODO OPERATORIO GERAL</b>		Ref. Doc:	MOG-PI-PA_V1
	Posto :	<b>Preparação da Areia</b>	Data:	20-Fev-2013

<b>1</b>	<b>OPERADOR</b>
<p><b>1-1 Formação:</b> Ver tabela de competências.</p> <p><b>1-2 Condições especiais:</b> Exige um porte de carga superior à 25 kg.</p>	

<b>2</b>	<b>POSTO DE TRABALHO / MAQUINA</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Misturadora: <b>MIS-001</b></li> <li>- Temporizadora: <b>TEM-001</b></li> <li>- Balança: <b>BAL-001</b></li> <li>- Mesa de trabalho/controlo: <b>MES-001 e MES-002</b></li> </ul>	

<b>3</b>	<b>FERRAMENTAS</b>
<p><b>3-1 Produção:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recipiente doseador para a areia.</li> <li>- Recipiente doseador para a resina (medida equivalente a 2% da quantidade de areia).</li> <li>- Recipiente doseador para o endurecedor (medida equivalente a 25% da quantidade de resina).</li> <li>- Espátula para limpeza da misturadora.</li> </ul>	

<b>4</b>	<b>MATERIA PRIMA</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Areia SP45 (Ø290 µm) ou SP55 (Ø245 µm): Embalagens de 25 kg ou Big Bags de 1500 kg.</li> <li>- Resina SANSET031: Embalagens de 25 kg ou Big Bags de 1500 kg.</li> <li>- Endurecedor AT20: Bidon normal de 30 kg ou barril de 200 kg (prazo de validade de 24 meses).</li> </ul>	

Data :	Resp. EMISSÃO:	Data :	Resp. VERIFICAÇÃO:	Data :	Resp. APROVAÇÃO:
	Nome : Rubrica :		Nome : Rubrica :		Nome : Rubrica :



<b>DELABIE</b>	<b>MODO OPERATORIO GERAL</b>		Ref. Doc:	MOG-F1-PA_V1
	Posto :	<b>Preparação da Areia</b>	Data:	20-fev-2013

<b>5</b>	<b>PLANOS E PROCEDIMENTOS DE TRABALHO</b>
<p><b>5-1 Composição da Areia:</b></p> <p>1 Saco Areia SP55          125g Endurecedor AT20          500g Resina SANSET 031</p> <p><b>NOTA:</b> Verificar no Modo Operatório Especifico</p> <p><b>5-2 Preparação da Areia:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar a areia na misturadora;</li> <li>2. Colocar grelha de segurança;</li> <li>3. Colocar em funcionamento a misturadora;</li> <li>4. Adicionar o endurecedor lentamente;</li> <li>5. Deixar misturar durante 1 minuto;</li> <li>6. Adicionar a resina lentamente;</li> <li>7. Deixar misturar durante 2 minutos;</li> <li>8. Despejar a mistura num recipiente apropriado (prazo máximo de utilização de 24h).</li> <li>9. Limpar o posto de trabalho no fim de cada dia de utilização</li> </ol>	

<b>6</b>	<b>MANUTENCAO PREVENTIVA</b>
<p>Manter a misturadora limpa, nunca deixando a areia preparada em espera mais do que</p>	

Data :	Resp. EMISSÃO:	Data :	Resp. VERIFICAÇÃO:	Data :	Resp. APROVAÇÃO:
	Nome : Rubrica :		Nome : Rubrica :		Nome : Rubrica :



<b>DELABIE</b>	<b>MODO OPERATORIO GERAL</b>	Ref. Doc:	MOG-P1-PA_V1
	Posto : <b>Preparação da Areia</b>	Data:	20-Fev-2013

<b>7</b>	<b>HIGIENE &amp; SEGURANCA</b>
<p><b>7-1 Equipamentos de Protecção Individual (E.P.I.):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oculos com protecção lateral.</li> <li>- Luvas resistentes a solvente.</li> <li>- Mascara em caso de manipulação prolongada.</li> <li>- Vestuario protector (Bata).</li> <li>- Sapatos de segurança.</li> </ul> <p><b>7-2 Equipamentos Importantes para a Segurança (E.I.S.):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Chuveiro de segurança.</li> </ul> <p><b>7-3 Primeiros socorros:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Manipulação de areia:</b> Em caso de irritação lavar com água em abundancia e lavar as maos no final de cada sessão de trabalho.</li> <li>- <b>Manipulação da resina SANSET031:</b> Em caso de contacto com os olhos, lavar em abundancia durante 15 minutos. Em caso de contacto com a pele, lavar em abundancia com água e sabao.</li> <li>- <b>Manipulação do endurecedor AT20:</b> Em caso de contacto com os olhos, lavar em abundancia durante 15 minutos. Em caso de contacto com a pele, lavar em abundancia com água e sabao.</li> </ul> <p><b>7-4 Medidas de combate a incendio:</b> Devido ao aquecimento, ter em atenção aos vapores de Formol da resina SANSET031 e aos gases Nitro-celulosicos do endurecedor AT20.</p>	

<b>8</b>	<b>LIMPEZA DO POSTO DE TRABALHO</b>
<p><b>No fim de cada dia de utilização:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpar a misturadora;</li> <li>- Executar a manutenção preventiva;</li> <li>- Limpar e varrer posto de trabalho;</li> <li>- Despejar residuos e embalagens nos contentores apropriados para recolha.</li> </ul>	

<b>9</b>	<b>RECICLAGEM / TRATAMENTO DOS RESIDUOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Areia:</b> A reciclagem e eliminação das embalagens devem ser realizadas por uma empresa de gestão de residuos autorizada.</li> <li>- <b>Resina SANSET031:</b> A reciclagem e eliminação das embalagens devem ser realizadas por uma empresa de gestão de residuos autorizada.</li> <li>- <b>Endurecedor AT20:</b> Não há cuidados especiais, pode ser tratado juntamente com os residuos domesticos.</li> <li>- <b>Mistura de areia:</b> A reciclagem e eliminação da mistura devem ser realizadas por uma empresa de gestão de residuos autorizada.</li> </ul>	

Data :	Resp. EMISSÃO:	Data :	Resp. VERIFICAÇÃO:	Data :	Resp. APROVAÇÃO:
	Nome : Rubrica :		Nome : Rubrica :		Nome : Rubrica :



	MODO OPERATORIO GERAL		Ref. Doc: MOG-FI-PA_V1
	Posto :	Preparação da Areia	Date: 20-fev-2013

<b>10</b>	<b>MANUSEAMENTO E ARMAZENAMENTO E CONDIÇÕES ESPECIAIS</b>
<p><u>- Areia:</u> Evitar formação de pó aerotransportado e evitar dispersão. Proteger as embalagens para evitar ruturas. Armazenar as embalagens usadas em recipientes fechados.</p> <p><u>- Resina SANSET031:</u> Acondicionar em lugar fresco &lt;25°C. Proteger do sol directo. Em caso de fuga, utilizar uma base de retenção + areia de retenção.</p> <p><u>- Endurecedor AT20:</u> Proteger das fontes de ignição e manter as embalagens fechadas. Em caso de fuga, utilizar uma base de retenção + areia de retenção.</p> <p><u>- Mistura de Areia:</u> Acondicionar em lugar seco. Utilizar num prazo de 24h.</p>	

Data :	Resp. EMISSÃO:	Data :	Resp. VERIFICAÇÃO:	Data :	Resp. APROVAÇÃO:
	Nome : Rubrica :		Nome : Rubrica :		Nome : Rubrica :



## C. Documentação Peça a Peça

	<b>Modo Operatório Especifico</b>		Ref Doc:	M0E-MM-M1- RP740B_v1
	Posto: MACHARIA	<b>M1-RP740B</b>	Data:	19-Jul-2013

<b>1</b>	<b>PREPARACAO</b>												
<p><b>1-1 Areia a utilizar:</b>          1 Saco Areia SP55          125g Endurecedor AT20          500g Resina SANSET 031  <b>Preparação:</b> Ver "Modo Operatório Geral - Preparação Areia" (5-2)</p> <p><b>1-2 Preparação Máquina:</b>          Programação da máquina a usar :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar programa memorizado ou inserir valores da tabela abaixo;</li> <li>Esperar que as caixas atinjam a temperatura programada para iniciar a produção.</li> </ul>													
Carro Braço	Anda Tapete	Carga Areia	Ensalo Ciclo	Ext. Horl.	Ext. Vert.	Mov. Tapete	Inversão	Cozer	Descarga	Disparo	Descida	Temp Esq.	Temp Dta.
2,1	2,5	0,1	2,3	1,4	0	1,5	1,8	20	1	1,5	1	255	270

<b>2</b>	<b>FABRICO</b>												
<p><b>2-1 Cuidados durante o fabrico:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Verificar a espessura de cozedura ao início da série, conforme o "Modo Operatório Geral – Máquina de Machos" (5)</li> <li>Se os machos saírem sempre com o mesmo defeito, tentar corrigir o que possa estar a causar esse defeito;</li> <li>Verificar se o macho é correctamente extraído, se não for deve colocar-se o desmoldante.</li> </ul>													

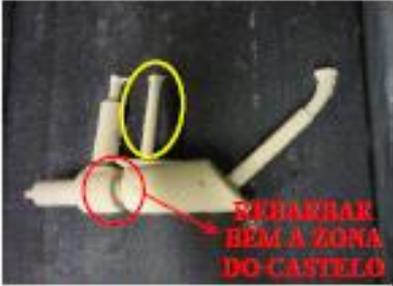
<b>3</b>	<b>CONTROLO</b>												
<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificar a espessura de cozedura a cada arranque, conforme o "Modo Operatório Geral – Máquina de Machos" (5)</li> </ul>													
<p style="text-align: center;"><b>NOK</b></p>							<p style="text-align: center;"><b>OK</b></p>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Registar a cada <b>100 ciclos</b>:</li> </ul>													
A		Espessura de cozedura (4 a 8 mm) – Se <b>NOK</b> ajustar tempo de cozer;											
B		Existência de 15 machos, com defeito, consecutivos – Ajustar a caixa e se o problema persistir remover para reparação;											
C		Total peças N/C.											

Data :	Resp. EMISSAO:	Data :	Resp. VERIFICAÇÃO:	Data :	Resp. APROVAÇÃO:
	Nome : Marta Gonçalves Rubrica :		Nome : Frederico Coelho Rubrica :		Nome : Rubrica :



<b>DELABIE</b>	<b>Modo Operatório Especifico</b>		Ref. Doc:	M0E-RM-M1-RP740B_v1
	Posto:RETOQUE M.	<b>M1-RP740B</b>	Data:	19-Jul-2013

<b>1</b>	<b>PREPARAÇÃO</b>
<p><b>1-1 Rebarbagem:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Escolher o material mais adequado às zonas a rebarbar (ver "Modo Operatório Geral - Retoque dos Machos"(5));</li> <li>Usar sempre que possível o fio de plano para rebarbar.</li> </ul> <p><b>1-2 Pintura:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Retirar um copo de tinta da lata KOALID 6SR;</li> <li>Escolher o pincel adequado à pintura a fazer.</li> </ul>	

<b>2</b>	<b>FABRICO</b>
<p><b>2-1 Rebarbagem:</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p><b>ANTES DE REBARBAR</b></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><b>DEPOIS DE REBARBAR</b></p> </div> </div> <p><b>2-2 Pintura:</b></p> 	

<b>3</b>	<b>CONTROLO</b>
<p>Verificar se nenhum macho com defeito vai para a fase de vazamento.</p>	

Data :	Resp. EMISSÃO:	Data :	Resp. VERIFICAÇÃO:	Data :	Resp. APROVAÇÃO:
	Nome :Marta Gonçalves Rubrica :		Nome :Frederico Coelho Rubrica :		Nome : Rubrica :



<b>DELABIE</b>	<b>Modo Operatório Especifico</b>		Ref. Doc:	MOE-CG-RP740B_v1
	Posto:CORTE GIT.	<b>RP740B</b>	Data:	22-Jul-2013

<b>1</b>	<b>PREPARACAO</b>
1-1	<u>Verificar se é fita de corte mais adequada:</u>
1-2	<u>Pegar no gabarito da peça</u>

<b>2</b>	<b>FABRICO</b>
2-1	<u>Sequência de Cortes</u>

<b>3</b>	<b>CONTROLO</b>
<p>Verificar se existe defeito nas peças:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rechupes.</li> <li>• Deformações.</li> <li>• Falta de material.</li> </ul> <p>No caso de defeito, parar o corte dessa peça e colocá-la no carrinho, numa caixa á parte.</p>	

Data :	Resp. EMISSAO:	Data :	Resp. VERIFICAÇÃO:	Data :	Resp. APROVAÇÃO:
	Nome : Marta Gonçalves Rubrica :		Nome : Frederico Coelho Rubrica :		Nome : Rubrica :



<b>DELABIE</b>	<b>Modo Operatório Especifico</b>		Ref Doc:	MDE-EX- RP740B _v1
	Posto: Emb.& Exp.	<b>RP740B</b>	Data:	23-Jul-2013

<b>1</b>	<b>PREPARACAO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Preparar caixas de embalagem (conforme "Modo Operatório Geral – Embalagem e Expedição" (5))</li> </ul>	

<b>2</b>	<b>FABRICO</b>
<p>2-1 <u>Retirar do lote peças não conforme</u></p> <p>2-2 <u>Contar e pesar peças a embalar</u></p>	

<b>3</b>	<b>CONTROLO</b>
<p>3-1 <u>Peça NÃO Grenalhada</u></p> <p>3-2 <u>Exemplos Peça Não Conforme</u></p>	
<p>3-3 <u>Exemplo Peça Boa</u></p>	

Data :	Resp. EMISSAO:	Data :	Resp. VERIFICAÇÃO:	Data :	Resp. APROVAÇÃO:
	Nome : Marta Gonçalves Rubrica :		Nome : Frederico Coelho Rubrica :		Nome : Rubrica :