

Formação de Bolhas em Blocos Cilindros de Ferro Fundido Cinzento

Victor Manuel da Conceição Santos

Dissertação de Mestrado apresentada
à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto no âmbito do Mestrado
Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais sob a orientação do

Professor Doutor Carlos Alberto Silva Ribeiro

Em colaboração com a
Funfrap - Fundação portuguesa S.A.

Porto, 28 de setembro de 2015

CANDIDATO	Victor Manuel da Conceição Santos	Código	200900797
TÍTULO	Formação de Bolhas em Blocos Cilindros de Ferro Fundido Cinzento		
DATA	28 de setembro de 2015		
LOCAL	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Sala F - 103		
JÚRI	Presidente	Professor Doutor Luís Filipe Malheiros	DEMM/FEUP
	Arguente	Professor Doutor Hélder Puga	DEM/UMinho
	Orientador	Professor Doutor Carlos A. Silva Ribeiro	DEMM/FEUP

“Virtus Unita Fortius Agit” - “A união faz a força” - FEUP

“Sapientie Melior Auro” - “A sabedoria vale mais que o ouro” - Universidad de Deusto

Agradecimentos

Quero em primeiro lugar agradecer a Deus e à Virgem Maria por estarem sempre presentes na nossa jornada diária.

Agradeço à minha querida e amada esposa por todo o seu apoio, paciência e muito amor incondicional e aos meus dois homens, luzes dos meus olhos, em quem, também, basta pousar o meu olhar para me fazerem sorrir e alegrar esquecendo-me num ápice de tudo de menos bom que tenha acontecido. Agradeço também aos meus pais por todo o suporte moral, afetivo e não só, que sempre souberam prestar de modo a conseguir levar a bom porto os meus intentos. E ainda às minhas irmãs, sobrinhos, afilhadas, cunhados e restantes familiares: Obrigado!

Não posso deixar passar esta oportunidade sem ainda homenagear os meus distintos e sempre presentes Professores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Doutores do conhecimento e da boa disposição. Bem hajam!

Estou profundamente grato aos meus orientadores, Professor Doutor Silva Ribeiro da FEUP, Engenheiro Martinho Fernandes^(†), Engenheiro João Castro e Mestre Pedro Rocha da Funfrap quem foram timoneiros firmes na direção a tomar.

Agradeço ao pessoal do departamento técnico e de laboratório da Funfrap, Srs. Luís Saraiva, João Diogo, Eduardo Mortágua, Virgílio Ratola, Paulo Silva, Paulo Nunes, José António, Rui Mendes, Mário Jorge, Valentim e restantes colaboradores da Funfrap.

Também quero prestar os meus agradecimentos a Hugo Sousa da SLM - Lda, ao Paulo Aguiar e à Helena Oliveira do CINFU.

A todos respeitosamente *Muito Obrigado!*

† agosto 2015

Resumo

O propósito desta dissertação consistiu em eliminar ou minimizar o aparecimento das bolhas e junta-fria em blocos cilindro de ferro fundido cinzento. Para tal, direccionamos a nossa atenção para a compreensão das causas que estão por trás desse aparecimento. Focámo-nos em fazer a localização relativa das bolhas e junta-fria nos modelos e em analisar as cartas de controlo do processo. De seguida, avançámos quer com a análise do grau de despressurização do sistema quer com estudos de simulação através do software MagmaSoft 5.3.0. E, consoante o melhor resultado desse estudo, validámos experimentalmente a simulação, tendo sempre presente que o tempo de paragem de linha devido a alterações deverá ser feito num curto espaço de tempo de modo a minimizar os custos resultantes dessa paragem.

Os resultados mostraram que a melhor alternativa consistiu em uniformizar os ataques existentes nos canais de distribuição vertical através do uso de nova ferramenta de machos e aumentar em vinte por cento os ataques na placa modelo inferior. Também foi importante direccionar o fluxo metálico de modo a compensar as restrições impostas pela parede do próprio macho e aproximar a área de secção característica do sistema de gitagem ao valor teórico determinado através de cálculos. Também concluímos que era necessário prolongar o canal de distribuição horizontal de modo a minimizar a turbulência do fluido metálico próximo aos mesmos utilizando uma temperatura de vazamento não muito baixa de modo a minimizar os riscos inerentes a esta situação - mormente junta-fria - e não muito elevada de modo a evitar ou reduzir as probabilidades do aparecimento de peças com defeitos devido ao destaque de tinta nos machos ou problemas de sinterização quer na macharia quer na areia de moldação, particularmente o aparecimento de bolhas nas peças.

Abstract

The purpose of this dissertation was eliminate or minimize appearance of blowholes and cold lap in a piece, engine's block in grey cast iron. To do so, we directed our attention to the understanding of the causes behind that appearance. We were focused in making the relative location of the blowholes and cold lap in the models and in analysing the statistical process control. Afterwards, we proceeded with the analysis of the degree of the pressurized system and with the simulation studies that use the MagmaSoft 5.3.0. software. Depending on the best result of that study, we validated the simulation experimentally bearing in mind that stopping the production due to changes should have been done in a short amount of time to minimize the costs caused by that interruption.

The results showed that the best choice was to uniformize the gates in the existing distributional channels located in the vertical runners through the use of new core tools and to increase in twenty per cent the gates in the lower model tier. It was also important to direct the flow to compensate the restrictions imposed by the wall of the core itself and to approximate the choke area of the gating system to the theoretical value determined through calculations. We also concluded it was necessary to extend the horizontal runners to minimize the metallic fluid turbulence next to them by using a not too low pouring temperature in order to reduce the inherent risks - mainly the cold lap- and not too high to avoid or reduce the probability of the appearance of pieces with flaws due to the stand out of the ink in the core or sintering problems, not only in the core but also in the moulding sand in particular the appearance of blowholes.

Palavras-chave

Sucata, defeito, bolha, junta-fria, cartas de controlo do processo, temperatura vazamento, sistema de gitagem.

Índice

Agradecimentos.....	IV
Resumo.....	V
Abstract.....	VI
Palavras-chave.....	VII
Índice	VIII
Figuras.....	X
Tabelas.....	XIV
Equações.....	XV
Tabelas em anexos.....	XVI
Documentos em anexos.....	XVII
1. Introdução.....	1
1.1 A empresa.....	1
1.2 Localização das bolhas e junta - fria.....	3
2. Revisão bibliográfica.....	7
2.1 Defeitos.....	7
2.1.1 Bolhas.....	7
2.1.2 Junta-fria.....	8
2.2 Areia verde.....	9
2.3 Areia de Macho.....	13
2.3.1 Processo de Caixa-fria.....	13
2.3.2 Composição, Rácios e Níveis do Ligante.....	15
2.3.3 Prensos.....	16
2.3.4 Pintura - revestimento.....	17
2.4 Ferro Fundido Cinzento.....	17

2.4.1	Fusão	17
2.4.2	Vazamento	18
2.5	Sistema de gitagem	19
2.5.1	Filtro	21
2.5.2	Sistema despressurizado	22
2.5.3	Respiros	22
2.6	Cartas de controlo - CEP	24
3.	Metodologia experimental	26
3.1	Verificação das cartas de controlo do processo	26
3.1.1	Areia verde	26
3.1.2	Macharia e tinta	28
3.2	Estudo do sistema de gitagem.....	30
3.2.1	Tempo de vazamento teórico	34
3.2.2	Área da seção característica do sistema de gitagem	35
3.3	Simulações	37
3.4	Condições do ensaio	45
4.	Apresentação e discussão dos resultados de validação experimental ..	47
5.	Conclusões	49
6.	Sugestões de trabalhos futuros.....	50
7.	Referências bibliográficas	51
8.	Anexos	A

Figuras

Figura 1 - Vistas em perspectiva do bloco de motor em análise neste estudo.....	3
Figura 2 - Gráfico de barras que permite relacionar a evolução da sucata, em particular a sucata devido às bolhas e junta-fria, no período compreendido entre 2013 a 2014. Os valores relativos a essa sucata encontram-se na parte superior das barras.	3
Figura 3 - Curva a traço interrompido, parte superior do gráfico - Sucata em percentagem relativa à quantidade total de peças em estudo produzidas no período de janeiro a maio de 2015. As outras duas curvas, traço contínuo de cor azul e vermelha, bolhas e junta-fria respetivamente, para o mesmo período em análise..	4
Figura 4 - Localização das zonas de maior ocorrência relativa dos defeitos, Bolhas e Junta-fria, com o recurso às figuras geométricas identificadas na tabela 1. As cores permitem fazer a classificação do grau de ocorrência relativa dos defeitos referenciados, bolhas e junta-fria. O traço descontínuo de “cor” branca localiza a zona do retorno óleo superior ou RO2. Imagem obtida através do software PowerShaped.	6
Figura 5 - Bolhas e respetiva localização na peça.	7
Figura 6 - Junta-fria e respetiva localização em peças. Na imagem superior esquerda o grau do defeito está mais pronunciado [4].....	8
Figura 7 - Processo de moldação em areia. Parte 1 - Mistura da areia verde e obtenção das moldações. Parte 2 - Mistura da areia de macho e obtenção do macho.....	10
Figura 8 - Processo de moldação em areia. Parte 3 - Colocação do macho na moldação e obtenção do fundido após enchimento com metal líquido, respetivo arrefecimento, quebra do gito, granalhagem e restantes operações até obtenção da peça.....	12
Figura 9 - Esquema da ferramenta de machos.....	14
Figura 10 - Esquema do macho “envolto” por metal líquido e respetivo preno em contato com a areia verde. Adaptado de [12].	16
Figura 11 - Vista em corte de uma moldação em areia, na qual estão identificadas e respetivos componentes. Adaptado de [14].	20

Figura 12 - Efeito da variação da velocidade de enchimento e da localização de respiros na formação de bolhas, oriundas do macho, à superfície da peça. Adaptado de [12].	23
Figura 13 - Exemplo de uma carta de controlo. Na parte superior direita deste gráfico, sinalizado com figura ovalizada a traço interrompido de cor azul, existe um ponto que se encontra fora do limite estabelecido estando este afetado por causas especiais de variação. Adaptado de [18].	24
Figura 14 - Cartas de controlo da resistência ao corte e da permeabilidade da areia verde e respetivos limite inferior e superior de controlo, LIC e LSC respetivamente. Os valores entre parêntesis, acima de cada uma das curvas, dizem respeito ao desvio padrão respetivos. Estes ensaios têm uma frequência de controlo de duas em duas horas.	27
Figura 15 - Cartas de controlo de humidade e pó-de-carvão relativo da areia verde e respetivos limite inferior e superior de controlo, LIC e LSC respetivamente. Os valores entre parêntesis, acima de cada uma das curvas, dizem respeito ao desvio padrão respetivos. Estes ensaios têm uma frequência de controlo de duas em duas horas.	27
Figura 16 - Cartas de controlo da perda ao fogo (somente aos machos) e da humidade relativa (machos pintados) e respetivos limite inferior e superior de controlo, LIC e LSC respetivamente. Os valores entre parêntesis, acima de cada uma das curvas, dizem respeito ao desvio padrão respetivos. Estes ensaios têm uma frequência de controlo de uma vez por semana por equipa.....	28
Figura 17 - Gráfico de colunas que relaciona a parte-1 e a parte-2 nos diferentes machos para o período compreendido entre janeiro e maio de 2015.	29
Figura 18 - Gráfico de colunas que relaciona os teores da parte-1 e parte-2 com a quantidade de areia de sílica para o período compreendido entre janeiro e maio de 2015.	30
Figura 19 - Vista lateral dos canais de distribuição horizontal e vertical. As zonas que foram alvo de medidas estão identificadas por um traço interrompido a vermelho e uma letra, estando os seus valores registados nas tabelas acima e abaixo da figura, onde “Real” diz respeito a medidas reais efetuadas in loco no dito sistema de gitagem e “CAD” são as medidas efetuadas através do software no desenho CAD. Imagem e valores obtidos através do software netfabb basic 5.2....	31

Figura 20 - Sistema de gitagem as localizações e registos das áreas dos ataques nas tabelas situadas acima e abaixo da figura. Valores registados a partir de medidas efetuadas quer no sistema de gitagem fundido (medidas reais) quer através do software (medidas CAD). Imagem e valores obtidos através do software netfabb basic 5.2.	33
Figura 21 - Vista em perspetiva onde estão sinalizados com circulo em traço interrompido de cor vermelha os ataques 13 e 20. À frente desses ataques existe o tal obstáculo (parede de macho) à passagem de metal líquido. Imagem obtida através do software netfabb.	34
Figura 22 - Esquema do sistema de gitagem, peça e colher de vazamento. Adaptado de [18].	36
Figura 23 - Vista de baixo das peças, sistema de gitagem e respetiva macharia. Nesta mesma vista, os ataques da PM inferior estão identificados com numeração árabe, estando essa zona delimitada com traço-ponto-traço de cor preta. De modo a indicar que as imagens das próximas duas figuras foram “extraídas” dessa zona. Imagem obtida pelo software netfabb.	37
Figura 24 - Recortes da figura 23. Zona delimitada a traço interrompido. Estão representadas três alterações efetuadas (S2 a S5). S1 representa o sistema de gitagem da primeira simulação. Imagem obtida através do MagmaSoft.	39
Figura 25 - Visualização lateral do enchimento para a primeira simulação (S1) utilizando a função “Fill Tracer” do software. Imagem obtida através do MagmaSoft 5.3.0	42
Figura 26 - Visualização lateral do enchimento utilizando a função “Fill Tracer” do software relativa às simulações 2, 3 4 e 5. Imagem obtida através do MagmaSoft 5.3.0.	42
Figura 27 - Vista de cima do enchimento através da função “air pressure” aos 14,267 s ou 100 % de enchimento relativa à primeira simulação. Imagem obtida através do MagmaSoft 5.3.0.	43
Figura 28 - Vista de cima do enchimento através da função “air pressure” aos 14,267 s ou 100 % de enchimento relativa à s simulações 2, 3, 4 e 5. Imagem obtida através do MagmaSoft 5.3.0.	43

Figura 29 - Vista de cima do enchimento através da função “temperature” aos 13,954 s ou 98,01 % de enchimento relativa à primeira simulação. Imagem obtida através do MagmaSoft 5.3.0	44
Figura 30 - Vista de cima do enchimento através da função “temperature” aos 13,954 s ou 98,01 % de enchimento relativa às simulações 2, 3, 4 e 5. Imagem obtida através do MagmaSoft 5.3.0.	44
Figura 31 - Alteração da placa modelo inferior - A e A*: vista de cima e respetivo pormenor da alteração - aplicação de espessura na seção característica do sistema de gitagem; B e B*: vista de cima e respetivo pormenor da alteração - aplicação de camada de 1 mm em todos os ataques da PM inferior, aumento da área dos ataques 13 e 20 e prolongamento do canal de distribuição horizontal.....	46
Figura 32 - Valores de sucata resultantes da validação experimental. A, B e Série relativos à data de vazamento de 29 de julho de 2015, vide condições de ensaio na tabela 8.....	48
Figura 33 - Localização do defeito (bolha) no modelo 1 relativo à condição B através de um X de cor vermelha. Imagem obtida através do software PowerShape.	48

Tabelas

Tabela 1 - Legenda das figuras geométricas.	6
Tabela 2 - Efeitos do nível de ligante na formação de porosidades. Adaptado de [11].	15
Tabela 3 - Comparação dos regimes ou graus de turbulência do vazamento segundo Jaromír e Cambell [12 e 15].	21
Tabela 4 - Fórmulas que permitem determinar a carta das médias e apresentação do significado das suas incógnitas. Adaptado de [18].	25
Tabela 5 - Relação de gitagem para os ataques	32
Tabela 6 - Média dos ataques agrupados segundo aproximação dos seus valores. Ataques localizados na ferramenta de machos.	33
Tabela 7 - Determinação teórica da área de seção característica pelo tempo de vazamento. Adaptado de [16].	36
Tabela 8 - Parâmetros utilizados nas simulações.	38
Tabela 9 - Condições estabelecidas para os lotes de ensaio A e B em comparação com lotes de série produzidas na data de vazamento de 29 de julho de 2015.	45
Tabela 10 - Resultados quantitativos de peças sucata.	47

Equações

Equação 1 - Equação que permite determinar o grau de turbulência resultante do vazamento. Adaptado de [12].	21
Equação 2 - Determinação da taxa de vazamento. Adaptado de [17].	35
Equação 3 - Determinação da taxa de vazamento corrigida. Adaptado de [17].	35
Equação 4 - Área da seção característica do sistema de gitagem pelo método do tempo de vazamento [16].	35

Tabelas em anexos

Tabela em Anexos 1 - Cálculo do número de Reynold. Adaptado de [15].	A
Tabela em Anexos 2 - Constantes que permitem elaborar as cartas de controlo do processo [18].	B
Tabela em Anexos 3 - Determinação do tempo de vazamento. Adaptado de [17]. ..	C
Tabela em Anexos 4 - Estudo comparativo dos ataques. Medidas efetuadas no cacho e medidas realizadas através de software no desenho CAD 3D.	D
Tabela em Anexos 5 - Medidas do desenho CAD 3D relativo aos ataques utilizados nas cinco simulações (S1, S2, S3, S4 e S5).	E
Tabela em Anexos 6 - Alterações relativa aos ataques efetuadas na PM inferior e medidas com as respetivas áreas efetuadas na ferramenta de machos nova.	F

Documentos em anexos

Documento em Anexos 1 - Pedido para efetuar alterações à placa-modelo inferior. Parte 1 de 2.....	G
Documento em Anexos 2 - Pedido para efetuar alterações à placa-modelo inferior. Parte 2 de 2.....	G
Documento em Anexos 3 - Pedido para efetuar dois lotes de ensaio: A e B.	G

1. Introdução

Ao escolhermos o tema dos defeitos em peças de ferro fundido cinzento, fomos motivados pela vontade de descobrir quais as causas que os provocam e como devemos conduzir uma investigação séria de modo a nos aproximarmos de uma possível solução desse problema que contribui para a criação de enormes quantidades de sucata que equivale a um enorme prejuízo para as empresas que se deparam com este tipo de problemas.

Assim, pretendeu-se com esta dissertação eliminar ou minimizar o aparecimento das bolhas e junta-fria em blocos cilindro de ferro fundido cinzento. Para tal, tivemos a colaboração da empresa FUNFRAP, que nos apresentou o problema e pediu a nossa colaboração na resolução do mesmo. Começámos por direcionar a nossa atenção para a compreensão das causas que estão por trás desse aparecimento. No terreno, focámo-nos em fazer a localização relativa das bolhas e junta-fria nos modelos e em analisar as cartas de controlo do processo. De seguida, avançámos quer com a análise do grau de despressurização do sistema quer com estudos de simulação através do software MagmaSoft 5.3.0. E, consoante o melhor resultado desse estudo, validámos experimentalmente a simulação.

1.1 A empresa

A Funfrap - Fundação Portuguesa S.A. é uma empresa pertencente ao grupo Teksid, localizada em Aveiro, onde são desenvolvidos e produzidos componentes para a indústria automóvel nomeadamente para a Fiat, Iveco, Renault, GM, PSA e Honeywell. Estes componentes podem ser fabricados em ferro fundido cinzento de grafite lamelar, nodular e em Ni-resist. A sua principal produção são os cárteres cilindro ou bloco de motor, caixas diferenciais, cárteres chapéu, turbo-coletores, cárteres turbina, árvores de equilibragem, coletores e cambotas. A sua principal carteira de clientes encontra-se na Europa nomeadamente na Itália, França, Espanha e Alemanha [1-2].

A Funfrap é detida em 84 % pela Teksid sendo o restante capital pertencente a investidores portugueses. Esta empresa encontra-se certificada segundo as normas NP-EN-ISO-14001, ISO/TS-16949, OHSAS-18001 e ISO-50001 [1]. Apresenta uma capacidade produtiva de 45000 toneladas/ano, possuindo os seguintes equipamentos:

- 4 fornos elétricos de indução, de média frequência, com capacidade de 7500 Kg cada;
- Instalações elétricas de 4500 KVA;
- Colher de vazamento com capacidade de 1500 Kg;
- 1 linha de vazamento automático Mezger;
- 1 linha de moldação Osborn - as caixas de moldar apresentam as seguintes medidas: 1000 * 800 * (300 + 300) mm;
- 3 misturadoras para areia de macho Fordath;
- 10 máquinas de macharia caixa-fria (Quikore, BFM, Foundry Auto e Ropper): 2 máquinas de macharia a partir de 150 g até 3 Kg + 8 máquinas de macharia a partir de 2 até 10 Kg;
- 3 estufa a gás natural e 3 estufas elétricas para secagem dos machos;
- 5 linhas de acabamentos (cárteres cilindro, cárteres chapéu, cambotas, caixas diferenciais, árvores de equilibragem e turbinas);
- 2 linhas de pintura robotizadas (cárteres chapéu e cárteres cilindro);
- 1 granalhadora de carga suspensa;
- 3 tornos CNC;
- 1 módulo de pré-maquinação para caixas diferenciais com 4 tornos e 2 fresadoras;
- 2 espectrómetros automáticos;
- Raios-X, ultra-sons e controlo dimensional 3D;
- Simulação Magmasoft;
- Modelação Catia e Unigraphics [2-3].

1.2 Localização das bolhas e junta - fria

As peças que chegam à zona de controlo podem ser inspecionadas visualmente de modo a detetar algum defeito. Sendo este detetado, será feito o respetivo registo do local, tipo, modelo da peça inspecionada (em relação à bacia de vazamento o modelo 1 ou peça 1 encontra-se à esquerda e o modelo 2 ou peça 2 à direita, vide figuras 1 e 4), data, hora e nome do operador para depois serem separadas em contentor próprio, consideradas então como peças sucata. Esta sucata que aparece no fim da linha é considerada sucata interna da empresa.

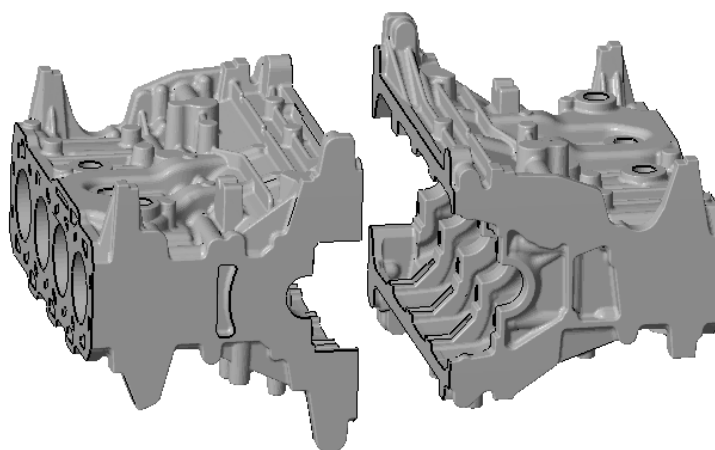


Figura 1 - Vistas em perspectiva do bloco de motor em análise neste estudo.

A sucata interna em 2014, para a peça em estudo, situou-se em valores próximos dos 5,7 pontos percentuais. Deste valor, cerca de um ponto percentual deveu-se às bolhas e cerca de oito décimas percentuais foram devidas à junta - fria, vide figura 2.

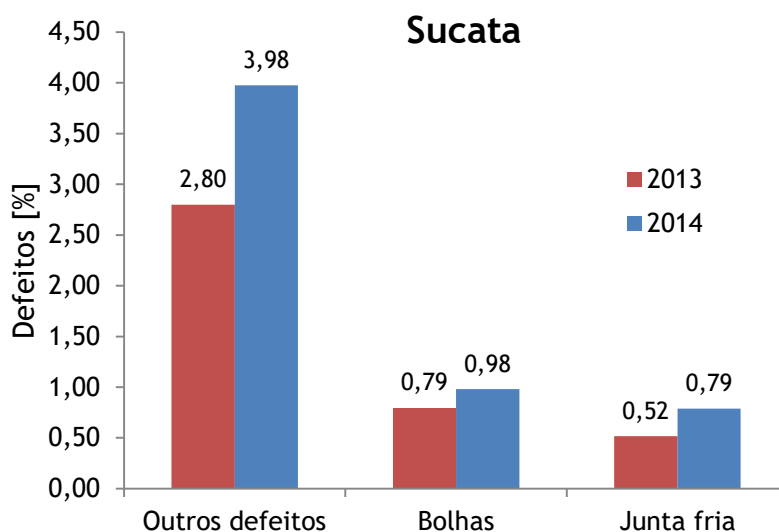


Figura 2 - Gráfico de barras que permite relacionar a evolução da sucata, em particular a sucata devido às bolhas e junta-fria, no período compreendido entre 2013 a 2014. Os valores relativos a essa sucata encontram-se na parte superior das barras.

Feita a análise comparativa da sucata entre o ano de 2013 e 2014, mormente no que às bolhas e junta-fria diz respeito comparativamente aos outros defeitos, constata-se que no primeiro ano, 2013, as bolhas representaram aproximadamente 19,2 % da sucata enquanto no ano seguinte houve um decréscimo de cerca de 2 % da sucata devido a este mesmo defeito. O mesmo não aconteceu para o defeito de junta-fria, havendo um ligeiro aumento de um por cento (passa de 12,6 para 13,7 %), pese embora tenha existido uma redução efetiva da sucata devido ao contributo destes defeitos no conjunto dos defeitos, de 32% (2013) para 31 % em 2014.

Ao analisar a evolução da sucata ao longo dos 5 primeiros meses deste ano verificamos a relação entre a percentagem total de sucata produzida e a sucata especificamente relacionada com os defeitos em estudo, o que é demonstrado na análise do gráfico da Figura 3.

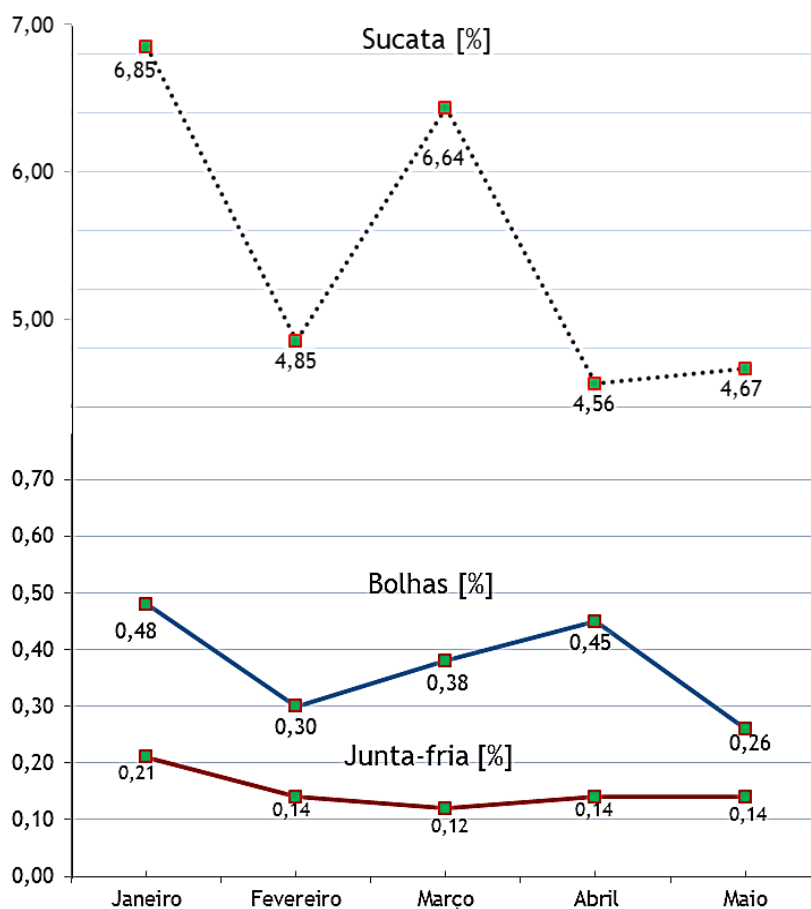


Figura 3 - Curva a traço interrompido, parte superior do gráfico - Sucata em percentagem relativa à quantidade total de peças em estudo produzidas no período de janeiro a maio de 2015. As outras duas curvas, traço contínuo de cor azul e vermelha, bolhas e junta-fria respetivamente, para o mesmo período em análise.

A curva localizada na parte superior da figura, curva a traço interrompido, permite-nos avaliar a evolução da sucata nos primeiros 5 meses do ano de 2015 devido a vários tipos de defeitos, inclusive bolhas e junta-fria.

Enquanto as duas curvas localizadas na parte inferior, do mesmo gráfico, avaliam a evolução das bolhas e junta-fria dentro do conjunto de defeitos.

Na figura 4 podemos constatar através de figuras geométricas planas, vide tabela 1, quadrados e circunferências, que representam os defeitos, respetivamente junta-fria e bolhas, aos quais estão associados quatro cores distintas representando assim a ocorrência relativa só aos defeitos referenciados durante os primeiros meses do ano de 2015. Consideremos, por exemplo, a cor vermelha: cada circunferência ou quadrado desta cor pode apresentar diferentes valores na gama acima de 3 %.

As zonas sinalizadas pela cor verde, amarelo e vermelho representam aproximadamente 78 % dos defeitos acima referenciados enquanto os restantes 22 % dos outros defeitos estão representados pela cor azul.

Da análise da figura 4 podemos constatar que a maior quantidade dos defeitos acima referenciados estão concentrados nas zonas sinalizadas com traço interrompido de cor branca, quer no modelo 1 quer no modelo 2.

Dentro desse “recinto” que corresponde à localização do macho retorno óleo superior ou RO2, existem cerca de 54 % de bolhas e junta-fria. Nesta mesma vista, aproximadamente 29 % desses defeitos estão localizados fora dessa figura geométrica delineada a cor branca, estando os restantes 17 % desses mesmos defeitos localizados em zonas que podem ser visualizadas noutras vistas do desenho 2D. Dentro da primeira percentagem referenciada (54 %), cerca de 28 % dos ditos defeitos estão localizados no modelo 1 (18,1 % bolhas + 10,1 % junta-fria), vide na mesma figura 4, enquanto os restantes 26 % estão localizados no modelo 2 (18,1 % bolhas + 7,2 % junta-fria).

Tabela 1 - Legenda das figuras geométricas.

Junta-fria: □

Bolhas: ○

Percentagem relativa dos defeitos (X):

$X \leq 0,5 \%$

$0,5 \% < X \leq 1 \%$

$1 \% < X \leq 3 \%$

$X > 3 \%$

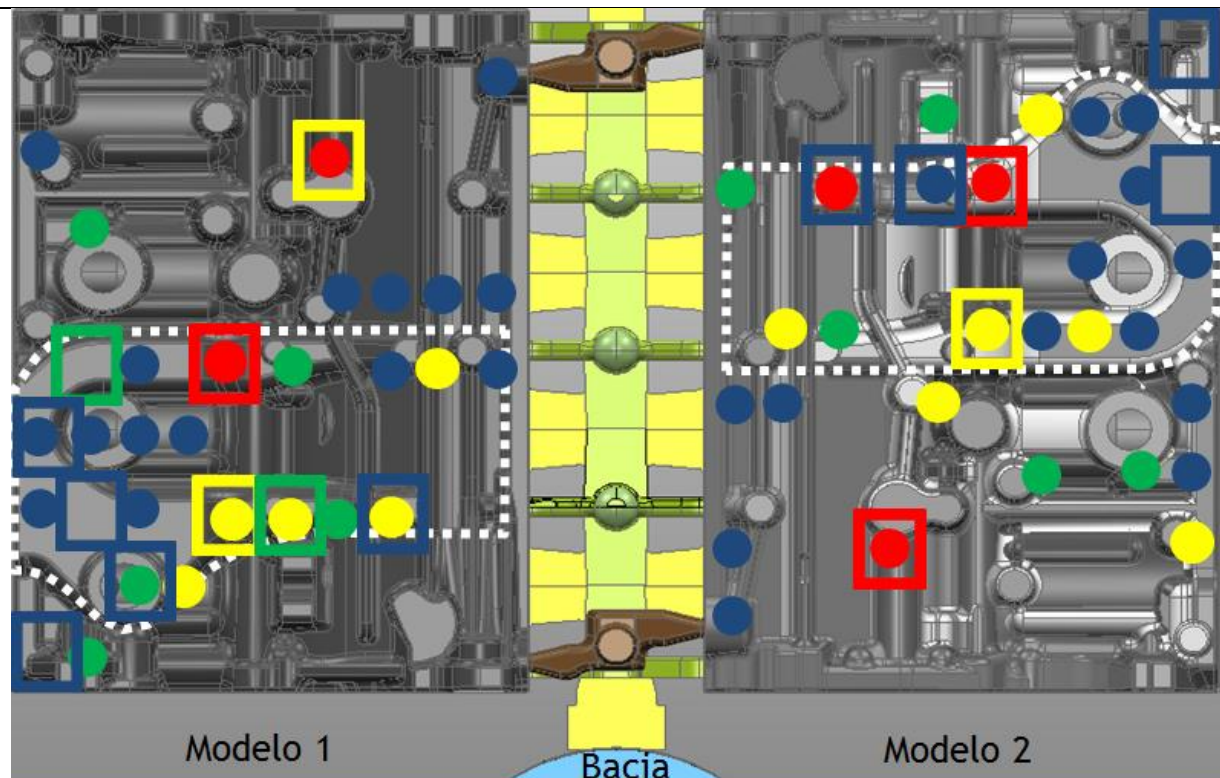


Figura 4 - Localização das zonas de maior ocorrência relativa dos defeitos, Bolhas e Junta-fria, com o recurso às figuras geométricas identificadas na tabela 1. As cores permitem fazer a classificação do grau de ocorrência relativa dos defeitos referenciados, bolhas e junta-fria. O traço descontinuo de "cor" branca localiza a zona do retorno óleo superior ou RO2. Imagem obtida através do software PowerShaped.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Defeitos

Defeito, numa peça fundida, pode ser definido como sendo toda a descontinuidade que não permite o cumprimento dos requisitos definidos pelo cliente sobretudo quando a peça ou componente tem aplicações de caráter crítico (exemplo, motores ou disco de travões, etc) levando assim à sua insatisfação ou rejeição do produto [4-5].

2.1.1 Bolhas

As bolhas ou *blowholes*, segundo designação anglo-saxónica, são defeitos que podem apresentar formas arredondadas ou alargadas e tamanhos distintos, manifestando-se preferencialmente à superfície das peças e cujas superfícies internas são lisas.



Figura 5 - Bolhas e respetiva localização na peça.

Podem ter a sua origem associada ao tipo de carga introduzida na produção do banho metálico, ar aprisionado sobretudo durante a fase de enchimento, tempos de vazamento prolongados os quais favorecem a absorção de gases podendo estes ainda ser o produto da reação na interface metal líquido e areia verde/macho [4]. Em certa medida, a complexidade de geometria da peça pode favorecer este tipo de defeito devido à quantidade de machos introduzidos, espessuras reduzidas de certos machos e à dificuldade na colocação de respiros em certas zonas da peça devido ao tipo de acabamento exigido pelo cliente ou à necessidade de efetuar operações posteriores (sem valor acrescentado) de maquinação os quais encarecem o produto final.

Os gases dissolvidos no banho metálico podem precipitar sob a forma gasosa durante o seu arrefecimento. Em termos de composição química estas bolhas podem ser essencialmente de hidrogénio e azoto ou a combinação destes [5].

2.1.2 Junta-fria

Junta-fria ou *cold lap*, segundo designação anglo-saxónica, pode ser definida como união imperfeita ou descontinuidade metalúrgica devido à convergência de frentes de metal líquido a diferentes temperaturas, podendo estar localizado à superfície ou abaixo desta [6]. Este defeito pode ter a sua origem associada à temperatura de vazamento baixa (o que tem implicações na fluidez do banho metálico), vazamento descontínuo ou interrompido, baixa pressão metalostática,

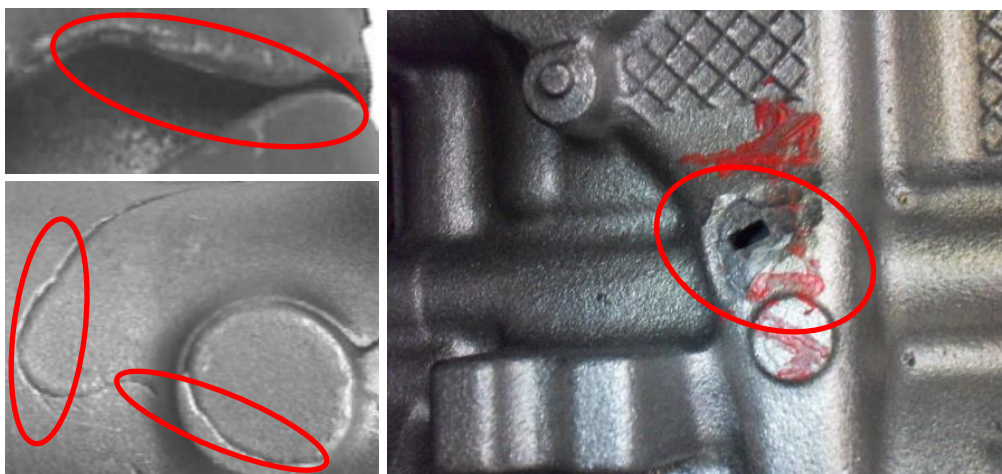


Figura 6 - Junta-fria e respetiva localização em peças. Na imagem superior esquerda o grau do defeito está mais pronunciado [4].

tempo de enchimento excessivo (velocidade de enchimento baixa), seção pequena nos ataques sobretudo em peça de geometria complexa, e elevada pressão interna na cavidade de moldação devido à dificuldade no escoamento dos gases [4-7].

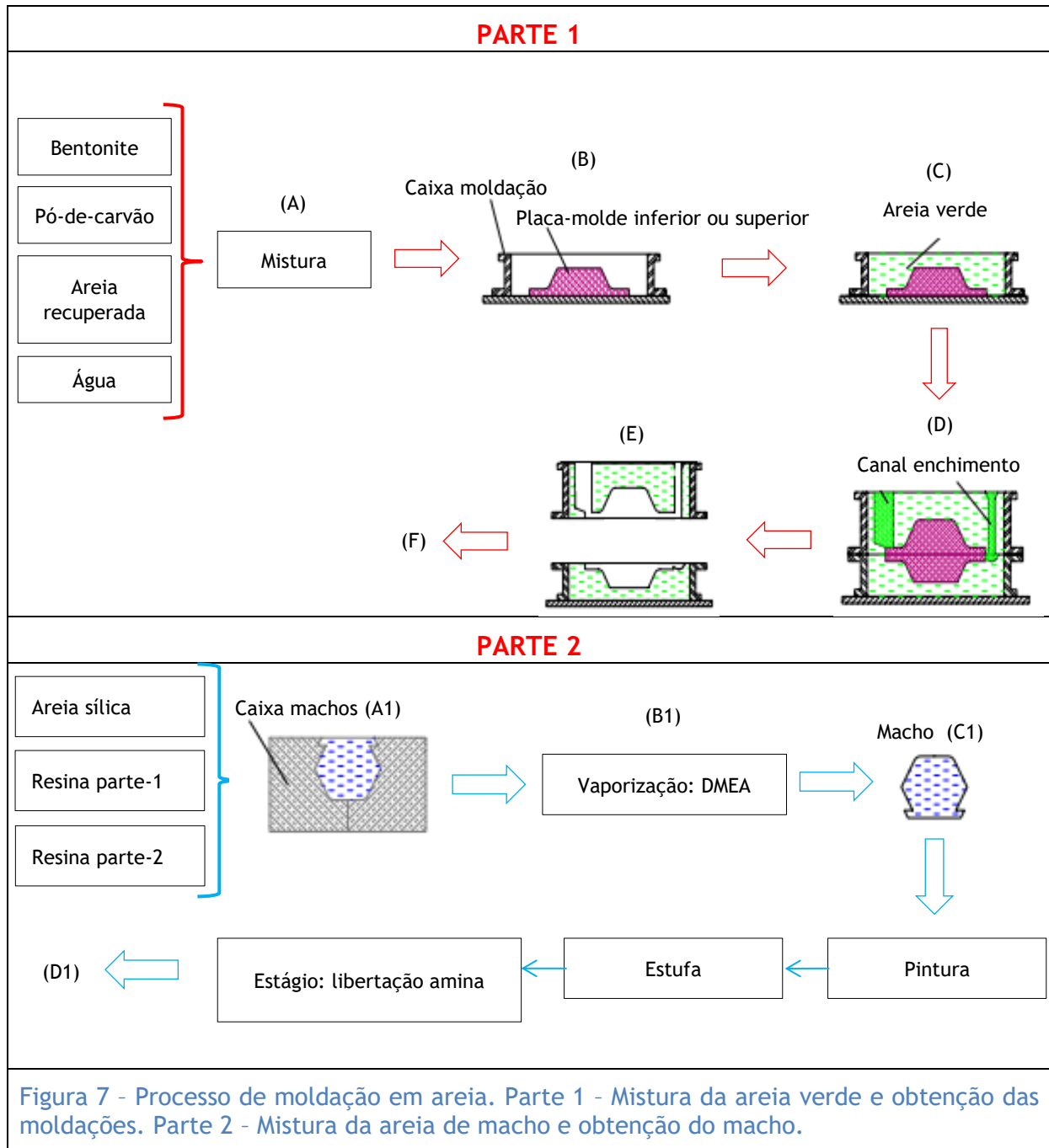
2.2 Areia verde

A fundição em areia verde permite obter peças de pequenas e grandes dimensões desde alguns gramas até várias toneladas, geometrias complexas quer externa quer internamente e espessuras relativamente finas (entre 2,5 a 5,0 mm). Apresentam-se alguns requisitos considerados importantes na areia de moldação:

- É capaz de se deformar, mesmo que ligeiramente, de modo a permitir a desmoldação da placa modelo superior (PM superior) e inferior (PM inferior);
- A resistência da areia compactada deve ser a suficiente para, além de permitir a desmoldação, suportar a pressão metalostática após vazamento do metal líquido (por vezes para contrabalançar a pressão metalostática as moldações fechadas são carregadas com pesos);
- O índice de finura da areia de sílica, nas fundições de ferro fundido, deverá situar-se entre 50 e 60 AFS (relacionado com o tamanho de grão 297 e 250 μm respetivamente). Quanto mais elevado este índice melhor o acabamento superficial do fundido mas vai-se perdendo a capacidade de escoamento dos gases e do ar pois o índice está inversamente relacionado com o tamanho de grão da areia [8 e 9];
- Monroe (2005), demonstrou que duplicando a permeabilidade da areia compactada obteve a metade da pressão que se gera dentro da cavidade de moldação, fruto dos gases formados dentro da mesma após o seu fecho e respetivo vazamento do metal líquido. Assim sendo, aumentando a permeabilidade da areia verde consegue-se aumentar a capacidade da moldação em escoar os gases que entretanto se tenham gerado sendo comuns valores acima de 130. Quanto maior o número de re-utilizações da areia verde maiores os teores de finos (resultantes da bentonite desativada e da queima do pó-de-carvão por ação das elevadas temperaturas de vazamento do metal

líquido) a qual conduz à diminuição da capacidade do sistema em escoar os fluidos gasosos [10].

Devido à complexidade dum circuito de moldação em areia foi concebido um esquema subdividido em três partes que facilita a visualização do processo de moldação, vide figuras 7 e 8.



Na obtenção da areia verde, vide parte 1 da figura 7, podem ser misturados os seguintes componentes:

- Areia recuperada - composta pela areia que cai das operações de enchimento e de compactação mas que só chega aos silos de armazenamento depois de ser devidamente desagregada, aspergida com água para o seu arrefecimento e devidamente crivada;
- Ligante - a quantidade deve ser a suficiente de modo a envolver e permitir a adesão entre grãos de areia mas possibilitando a existência de algum espaçamento para a passagem do ar e dos gases que se geram na cavidade de moldação. O ligante mais comum é a bentonite;
- Aditivos - geralmente podem ser usados do tipo carbonosos (pó-de-carvão) para o ferro fundido, o qual cria uma atmosfera redutora na cavidade de moldação que leva a uma diminuição da reação entre o metal líquido e as paredes da cavidade. Teores elevados deste aditivo permitem melhor acabamento superficial da peça mas dificultam o escoamento do ar e dos gases;
- O grau de humidificação ou ponto de têmpera das areias pode variar consoante o tipo de bentonite utilizada, sendo admissíveis valores entre 2,00 a 2,80 %. Ao ponto de têmpera corresponde um valor máximo de resistência à compressão [8].

Em “(B)”, vide “(E)” na parte 1 da figura 7, temos a caixa de moldação cujas medidas já foram referenciadas anteriormente e as placas modelo inferior e superior (respetivamente PM inferior e PM superior). Estas têm a finalidade de “imprimir” ou criar a cavidade das peças e da macharia pretendidas, vide “(D)” e “(E)” na dita figura 7.

Na linha de moldação de um modo automático e sequencial pode entrar a PM (inferior ou superior) e respetiva caixa de moldação para ser introduzida e compactada a areia verde.

O grau de compactação será superior na PM inferior para sustentar o “bolo” de areia verde, a macharia e respetiva pressão metalostática do metal líquido e inferior na PM superior de modo a aumentar as probabilidades do sistema em escoar os gases contidos na cavidade de moldação. Convém salientar também que

mesmo na PM superior existem diferentes graus de compactação sendo mais compactada nas zonas afastadas do centro geométrico da PM superior. O objetivo desta diferenciação na PM superior prende-se com o aumentar das possibilidades de escoamento dos gases que se geram dentro da cavidade de moldação (na zona central) e ao mesmo tempo reduzir as hipóteses de desagregação da areia de moldação resultantes da pressão metalostática.

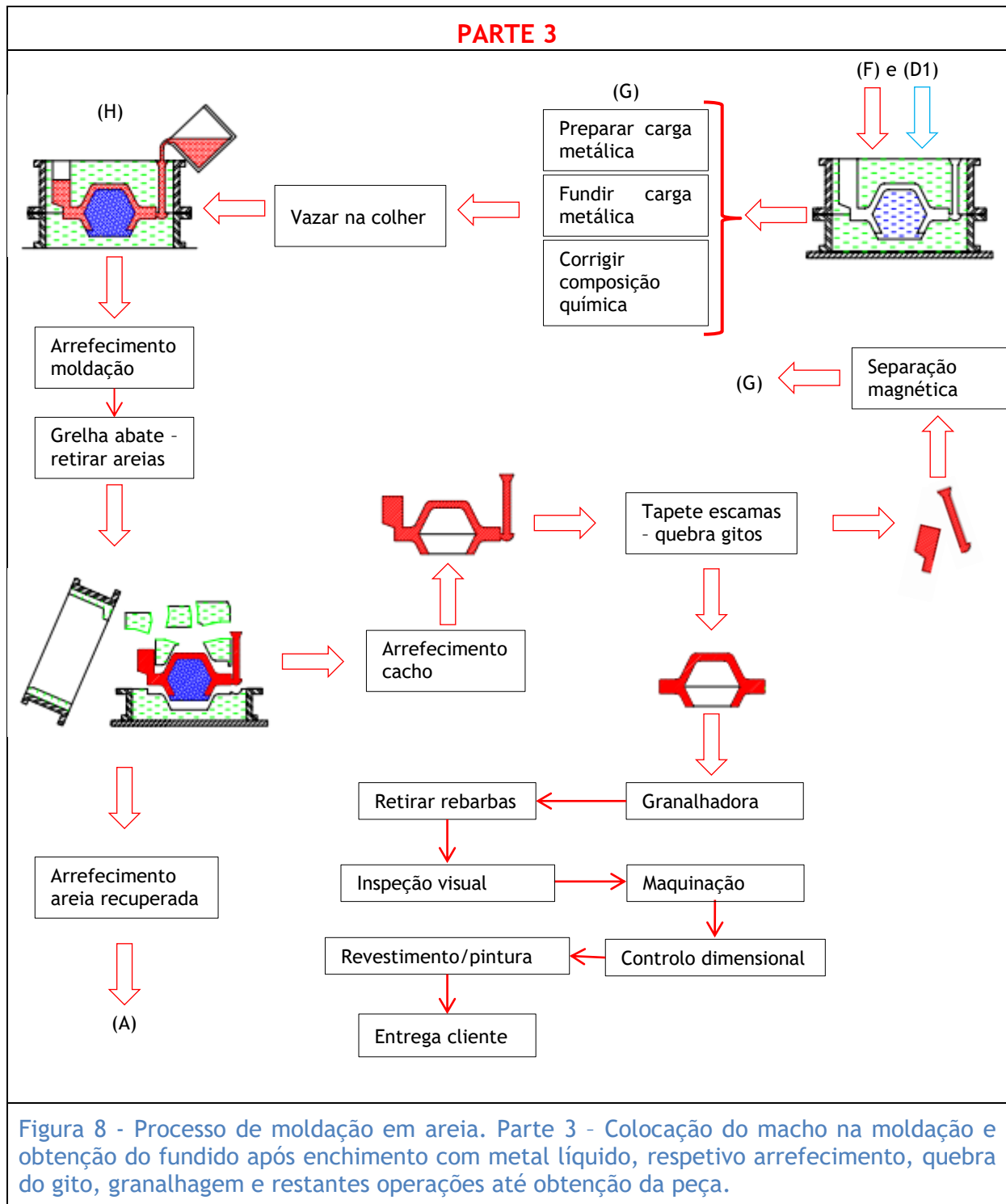


Figura 8 - Processo de moldação em areia. Parte 3 - Colocação do macho na moldação e obtenção do fundido após enchimento com metal líquido, respetivo arrefecimento, quebra do gito, granalhagem e restantes operações até obtenção da peça.

Os respiros serão realizados pela PM superior mas devido à necessidade da dita compactação da areia no momento em que está presente a PM superior existindo assim a possibilidade de “ferir” a mesma no momento de compactação. Um modo de evitar estragos na PM superior será utilizando, *a posteriori*, uma outra ferramenta dita de placa de agulhas. Esta placa tem o mesmo comprimento e largura das caixas de moldação dispondo de agulhas ou estiletos nas zonas dos respiros de modo a permitir o contato do interior da moldação com a atmosfera. Logo de seguida, a bacia de vazamento (“funil” que direciona o metal líquido para o gito de descida) pode ser realizada com o auxílio de uma ferramenta com o perfil da dita bacia. Após colocação dos machos na cavidade de moldação e respetivo fecho das duas moldações, vide parte 3 na figura 8, será introduzido o banho metálico de modo a obtermos o fundido. As várias etapas até obtenção da peça podem ser visualizadas esquematicamente na mesma figura 8.

2.3 Areia de Macho

2.3.1 Processo de Caixa-fria

Existindo na peça zonas ocas, vide parte 2 da figura 7, torna-se necessário o recurso aos machos para tal efeito.

O macho, corpo sólido, vide a parte 2 da figura 7, pode ser obtido após mistura da areia de sílica com resinas. De modo a acelerar a reação entre as partes de resina pode ser utilizado um catalisador: DMEA ou Di-Metilo-Etilo-Amina [8]. Em “(C1)” na parte 2 da dita figura, podemos observar esquematicamente as diferentes etapas até à obtenção do dito macho. Antes da utilização do macho na moldação, este é pintado através de braço robotizado, passa pela estufa sendo armazenado de modo a possibilitar a libertação de amina residual e respetivo arrefecimento.

O processo de caixa-fria (cold-box em denominação anglo-saxónica), ou processo fenólico-uretano gasificado com amina, consiste na mistura da areia de sílica com o ligante parte-1 ou P1 (resina fenólica) e parte-2 ou P2 (poli-isocianato)

e o catalisador DMEA na forma gasosa numa caixa-ferramenta de machos ou molde de machos [11].

Na figura 9, de um modo esquemático, temos os vários componentes de uma ferramenta de machos.

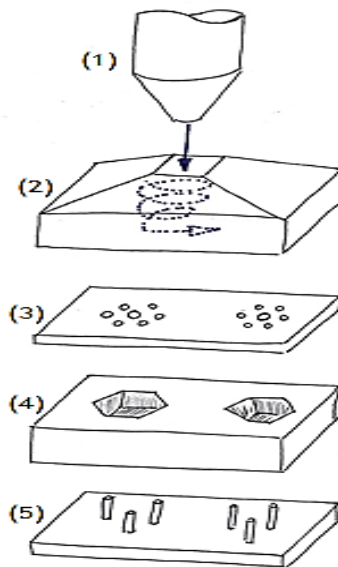


Figura 9 - Esquema da ferramenta de machos

O funcionamento desta ferramenta, basicamente, consiste na entrada ou sopragem da areia previamente misturada com as resinas (P1 + P2) na ferramenta de machos, vide “1” na dita figura. Dentro da câmara desta ferramenta (chamada de “campânula”), vide “(2)” na mesma figura, gera-se um turbilhão com determinada pressão. Esta mistura pressurizada será soprada para as cavidades da ferramenta de machos através de “busetes” (orifícios) de diferentes diâmetros, vide respetivamente “(3)” e “(4)” na mencionada figura. De seguida será feita a descompressão para depois se dar a gaseificação com amina ou DMEA durante determinado tempo. A lavagem da ferramenta, fase posterior, possibilita a extração de DMEA que não foi utilizada na reação. Os ejetores que se localizam na zona posterior da cavidade da caixa de machos, vide “(5)” na dita figura, permitem a extração dos ditos machos. Esta ejeção dá-se após a rotação de 180 ° da ferramenta caso esta esteja na horizontal (caso a caixa de machos esteja disposta na vertical, a rotação da ferramenta será de 90°) permitindo assim a colocação dos machos no tapete para posterior armazenamento em determinada zona da fábrica

utilizando a regra ou método de organização de materiais do FIFO (First In First Out).

2.3.2 Composição, Rácios e Níveis do Ligante

Tal como já referido anteriormente, à areia de sílica será adicionada resina. Este aglomerante orgânico pode ser composto por duas partes. A parte-1 diz respeito à resina fenólica e a parte-2 à resina polimérica (poli-isocianato), também denominado de ligante fenólico - uretano, tendo na sua composição química os seguintes elementos: carbono (72 %), hidrogénio (8,5 %), azoto (3,9 %) e oxigénio (15,5 %), estando o hidrogénio associado à parte-1 e o azoto à parte-2 [11].

Naro (1999) relacionou o efeito dos rácios de ligante (P1 / P2) com a formação de porosidade, vide tabela 2.

Nível de ligante [%]	P1 : P2	Grau do defeito
3	60:40	Resquícios até nada
1,8	60:40	Nada
1,5	60:40	Nada
1,25	50:50	Nada

A parte-1 terá de ser pelo menos igual à parte-2 para se obter peças isentas de porosidade apesar de terem sido encontrados resquícios deste tipo de defeito quando P1 é igual a P2. Os melhores resultados obtidos aconteceram quando a relação utilizada foi de 60:40, i. e., P1 superior à P2. Este mesmo autor recomenda rácios entre 55:45 até 60:40. Mesmo que seja utilizada a relação atrás referida é preciso ter em conta a variabilidade do processo na obtenção dos machos. Por exemplo, se por qualquer razão houver ineficiência na mistura da P1 e P2 com a areia (esta dispersão ou homogeneização do ligante à superfície da areia de sílica), pode ser controlada pelo tempo de mistura pois a dispersão incorreta pode diminuir a resistência das paredes do macho à passagem do metal líquido contribuindo para a introdução, por arraste, de inclusões não-metálicas com o consequente

aparecimento de defeitos no fundido ou descontrolo do bombeamento das resinas quer por falha da bomba quer por baixo ou elevado aquecimento da resina fenólica (o que provoca variabilidade na sua viscosidade), sendo estes alguns dos fatores que podem potenciar o aparecimento da porosidade nas peças fundidas [11].

O autor (Naro, 1999) relacionou também a quantidade de resinas, o nível do ligante (P1 + P2), relativamente à areia utilizada (sílica ou outra) com a formação do defeito acima referenciado, vide também tabela 2. Constatou-se que os melhores resultados (peças sem porosidades) foram alcançados, nos diferentes níveis (exceto no nível máximo: 3,00 %), quando se verificou que $P1 > P2$. Uma boa escolha será o que apresenta o nível mais baixo: 1,25 e 1,50 % de ligante. Também foi referido que, apesar do uso inadequado dos teores de ligante ou não serem aplicadas as melhores práticas na fundição ou no vazamento, é possível a eliminação de defeitos deste tipo adicionando à areia de macho teores (desde 0,25 % com tamanho de grão aproximado de 44 μm ou 325 mesh) de óxido de ferro vermelho (hematite Fe_2O_3) ou óxido de ferro preto (magnetite Fe_3O_4) apesar de este último aditivo não ser tão efetivo como a hematite [10 e 11].

2.3.3 Prensos

Prensos do macho, ou *core print*, em denominação anglo-saxónica, vide figura 10, são as extensões ou zonas que suportam o corpo do macho sendo consideradas caminhos preferenciais da saída de gases pois estão fora do contato com o metal líquido.

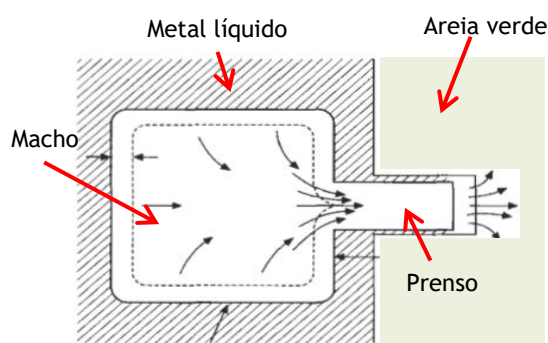


Figura 10 - Esquema do macho “envolto” por metal líquido e respetivo prensa em contato com a areia verde. Adaptado de [12].

O metal líquido exerce uma determinada pressão (chamada de pressão metalostática) à volta da superfície do macho, forçando assim os gases que se geram nessa interface a dirigirem-se para as extremidades dos mesmos [10 e 12]. Caso, os prensos fiquem envolvidos com metal líquido então os gases tenderão a entrar em solução no banho metálico sobretudo quando são praticados tempos de vazamento prolongados ou baixas velocidades de vazamento [12].

2.3.4 Pintura - revestimento

O revestimento pode ter na sua composição sílica, grafite e óxido de ferro, sendo a água o seu solvente. A aplicação da tinta pode ser feita por mergulho com o auxílio de braços robotizados.

A superfície do macho e da cavidade de moldação pode ser revestida por uma fina camada de tinta sendo seu objetivo proporcionar bom acabamento ao fundido (eliminando a penetração do metal pelos interstícios da areia compactada), melhorando a resistência das areias às elevadas temperaturas de vazamento do metal líquido e sobretudo forçando a saída dos gases pelos prensos [13].

Os prensos não são pintados pelo menos numa das zonas. A situação ideal seria não pintar todas as zonas dos prensos mas tal não parece ser possível porque sendo as superfícies pintadas por mergulho, existe a necessidade de segurar a peça numa das zonas. Após a pintura, são feitas furações de modo manual nos machos RO2 para permitir a passagem dos gases e aplicados suportes. Estes suportes metálicos ou “chaplets” em denominação anglo-saxónica têm a finalidade de garantir ou pelo menos minimizar o movimento dos machos resultantes da pressão metalostática salvaguardando assim as espessuras da peça nessa zona específica.

2.4 Ferro Fundido Cinzento

2.4.1 Fusão

No forno, vide “(G)” na figura 8, a carga para a obtenção do banho de ferro fundido pode ser composta por retornos (sucata de fundição), lingotes e sucata de aço. Na obtenção do ferro fundido cinzento de grafite lamelar o banho metálico

terá na sua composição determinados teores de carbono e de silício, ser-lhe-á adicionado inoculante com elevado poder de grafitização e consoante a matriz pretendida, perlítica ou ferrítica, no bruto de vazamento, serão adicionados elementos perlitizantes ou ferritizantes, respetivamente.

Esta classe de ferro fundido apresenta teores de carbono e de silício entre 2,5 a 4,0 e 1,0 a 3,0 % respetivamente, sendo objetivo na adição de inoculante favorecer a precipitação do carbono na forma de grafite (reação eutética estável: $L \Leftrightarrow \gamma + \text{grafite}$). Basicamente, o inoculante consiste num sistema portador (exemplo: ferro - silício e um elemento ativo; exemplo: alumínio, boro, estrôncio, cálcio ou zircónio) sendo aplicado tão tardiamente quanto possível no jato de vazamento devido ao efeito de desvanecimento do inoculante [8].

2.4.2 Vazamento

Ensaios efetuados por Naro (1999) demonstraram que temperaturas de vazamento acima de 1482 °C acentuaram a porosidade nas peças. Nesse mesmo estudo, de modo a considerar o pior cenário possível nos rácios do ligante (nos machos), 35:65, efectuaram-se vazamentos à temperatura de 1482 e 1371 °C. A peça vazada à temperatura mais elevada apresentava alguma porosidade enquanto a peça vazada à temperatura mais baixa estava isenta desse tipo de defeito [11]. Por sua vez, Campbell (2003) refere a necessidade, sobretudo no ferro fundido cinzento, de elevar a temperatura de vazamento de modo a possibilitar o escape da bolha que se tenha gerado na interface metal líquido/macho, tendo tempo suficiente de atravessar o banho metálico antes do início da “camada” de solidificação à superfície da peça [12].

Na figura 8 (parte 3), podemos observar a caixa de moldação com o respetivo macho na sua cavidade. As denominações “(F)” (“criação” da cavidade de moldação) e “(D1)” (fabrico do macho) provem da parte 1 e 2 da figura 7, respetivamente. Após o fecho da moldação dá-se o efeito de condensação devido, sobretudo, às diferenças de temperaturas existentes entre a areia verde e o macho aproximadamente 42 e 25 °C respetivamente [10]. Este efeito poderá ser mais

acentuado se o operador que está na linha de moldação colocar o macho na cavidade de moldação e tiver que pausar por períodos superiores a 30 minutos.

No vazamento, o fluxo metálico deve ser feito ininterruptamente e a velocidades compatíveis com a capacidade de escoamento dos canais da moldação de modo a evitar a absorção de ar ou a erosão das paredes da cavidade de moldação [8]. A temperatura e tempo de vazamento devem ser o mais favorável possível pois temperaturas elevadas favorecem a solubilidade dos gases enquanto tempos prolongados favorecem a absorção de gases ou de ar [11].

Durante o processo de vazamento, o enchimento da bacia de vazamento tem um papel muito importante na pressão metalostática. Se esta pressão (bacia mal cheia) for baixa por decisão do operador, de modo a evitar o “derramamento” do metal para fora das moldações ou pela fuga de metal entre as moldações, pode levar ao incorreto preenchimento da cavidade de moldação e à maior incorporação de ar. Convém salientar ainda que alguns defeitos no fundido surgem próximo à bacia de vazamento devido à dificuldade na colocação de respiros nas proximidades da zona de vazamento. Os ditos respiros podem levar à entrada de metal em vez da saída de gases durante a fase de enchimento.

Após vazamento da moldação e respetiva solidificação, vide “(H)” na figura 8, procede-se à extração da areia na grelha de abate. A areia recuperada será conduzida para “(A)”, vide também parte 1 na figura 7, e devidamente desagregada, crivada, arrefecida e misturada com os respetivos aditivos.

Depois do cacho ser devidamente arrefecido será conduzido por um tapete de “escamas” para o quebra-gitos. Os gitos entram novamente no circuito de fundição como retornos. A peça sem o sistema de gitagem será granalhada para retirar os resíduos de areia. De seguida através de martelos pneumáticos será feita a rebarbagem.

2.5 Sistema de gitagem

O sistema de gitagem tem uma geometria e dimensão apropriada que lhe permite transportar o metal líquido por ação gravítica para o interior da cavidade

de moldação de modo a que se possa obter o fundido. Basicamente, o sistema atrás referido e tal como podemos observar na figura 11, pode ser composto pela bacia de vazamento, gito de descida, poço do gito de descida, filtro, canais de distribuição, ataques, alimentadores e arrefecedores.

O enchimento da dita cavidade de moldação pode ser efetuada de um modo suave ou laminar, turbulento ou um misto destes. O número de Reynold, parâmetro adimensional, tal como podemos verificar na tabela 3, permite avaliar o grau de turbulência do banho metálico durante a sua entrada na cavidade de moldação.

Quanto maior o dito número, mais turbulenta a frente de avanço do metal líquido e assim maior a possibilidade de erosão e desprendimento de partículas sólidas, nas paredes da cavidade de moldação e dos machos, que serão incorporadas no metal líquido e também maior a probabilidade do aprisionamento de ar ou gases no mesmo banho metálico [12].

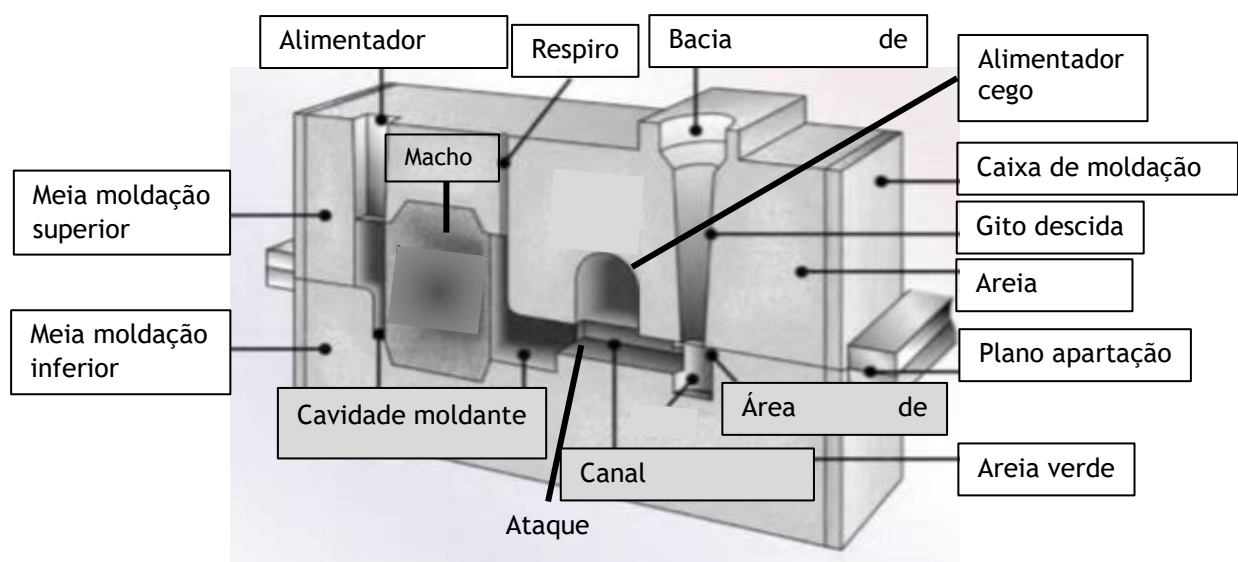


Figura 11 - Vista em corte de uma moldação em areia, na qual estão identificadas e respetivos componentes. Adaptado de [14].

Jaromír (2000) e Campbell (2003) apresentam valores diferentes para indicar o grau de turbulência, vide tabela 3. De qualquer modo, no enchimento laminar o fluido de metal líquido dá-se de um modo paralelo às paredes da moldação (as paredes exercem sobre o fluido forças de inércia ou de atrito capazes de contrabalançar as forças intermoleculares do próprio metal líquido apresentando maior velocidade no centro do caudal do que na periferia do mesmo. Enquanto no fluido turbulento, este caracteriza-se por não apresentar ordem, estar em contínuo

choque entre si e as paredes de moldação, as forças de viscosidade do metal líquido (forças intermoleculares) prevalecem sobre as ditas forças de inércia devido aos movimentos tidos como ondulatórios do fluido [12].

Tabela 3 - Comparação dos regimes ou graus de turbulência do vazamento segundo Jaromír e Cambell [12 e 15].

Tipo vazamento	Jaromír	Campbell
Laminar	Re < 3000	Re < 2000
Transição de laminar para turbulento	3000 < Re < 15000	2000 < Re < 4000
Muito turbulento	Re > 15000	Re > 4000

Campbell (2003), apresenta a equação 1 que permite avaliar o nível de turbulência do fluido metálico durante a operação de enchimento da cavidade de moldação.

Equação 1 - Equação que permite determinar o grau de turbulência resultante do vazamento. Adaptado de [12].

$$Re = \rho * V * R * \mu^{-1}$$

ρ diz respeito à densidade do metal líquido, V representa a velocidade de enchimento da cavidade de moldação, R significa raio do caudal de vazamento e μ representa a viscosidade dinâmica ou absoluta.

O cálculo efetuado tendo por base a equação 1, apresenta o número de Reynold 27184 (informações adicionais na tabela 1 nos anexos), valor que indica um grau elevado de turbulência praticado durante o enchimento do bloco de motor.

2.5.1 Filtro

Os filtros são dispositivos que permitem reter partículas, por exemplo escórias, mas sobretudo permitem fazer uma transição do fluido metálico de turbulento para laminar. Será de esperar que após a passagem pelo filtro o fluido fique novamente agitado, mas numa escala mais pequena [15].

2.5.2 Sistema despressurizado

Na concepção de um sistema de gitagem pode ser aplicado o sistema divergente ou não pressurizado, onde a área de seção característica do sistema de gitagem (A_{scsg}) ou *choke area* em denominação anglo-saxónica (área de choque), fica localizado na base do gito de descida, vide figura 13, pelo qual se pretende que o fluxo ou enchimento da cavidade de moldação seja a baixas velocidades e potencialmente laminar [16].

Diz-se que é um sistema despressurizado porque o somatório (Σ) das áreas dos canais de distribuição (CD) é superior à área de seção característica (A_{scsg}) e por sua vez o somatório das áreas dos ataques (A_t) é superior ao somatório dos canais de distribuição, ou seja, $A_{scsg} < \Sigma \text{ área CD} < \Sigma \text{ área } A_t$ ou ainda mais simples através da relação de gitagem 1 : 1,1 : 1,2 respetivamente $A_{scsg} : CD : A_t$ [16].

O enchimento da cavidade de moldação, feito através dos ataques, pode ser feito em queda quando a cavidade fica localizada abaixo do ataque (o qual apresenta uma velocidade de enchimento constante) e em fonte quando a cavidade fica acima do canal de ataque, o qual por sua vez apresenta diminuição progressiva da velocidade de enchimento pois a altura que está associada à energia potencial vai diminuindo [16].

2.5.3 Respiros

Os respiros são furações efetuadas na cavidade de moldação superior através da PM superior com o intuito de favorecer o escoamento dos gases, pese embora as furações passantes dos respiros (“contato” da cavidade de moldação com o exterior) seja efetuada *a posteriori* com o auxílio de uma placa de agulhas, tal com referido anteriormente (seção da areia verde).

A área mínima total dos respiros pode ser determinada relacionando o caudal volumétrico do metal líquido que entra na cavidade e a velocidade máxima de saída dos gases desse espaço delimitado através desses mesmos respiros [12]. Todavia, mais importante que a capacidade dos respiros em escoar os gases será a sua localização, devendo esta ser feita nas zonas de maior pressão, as últimas zonas a receber o metal líquido e as locadas aos prensos [10 e 12].

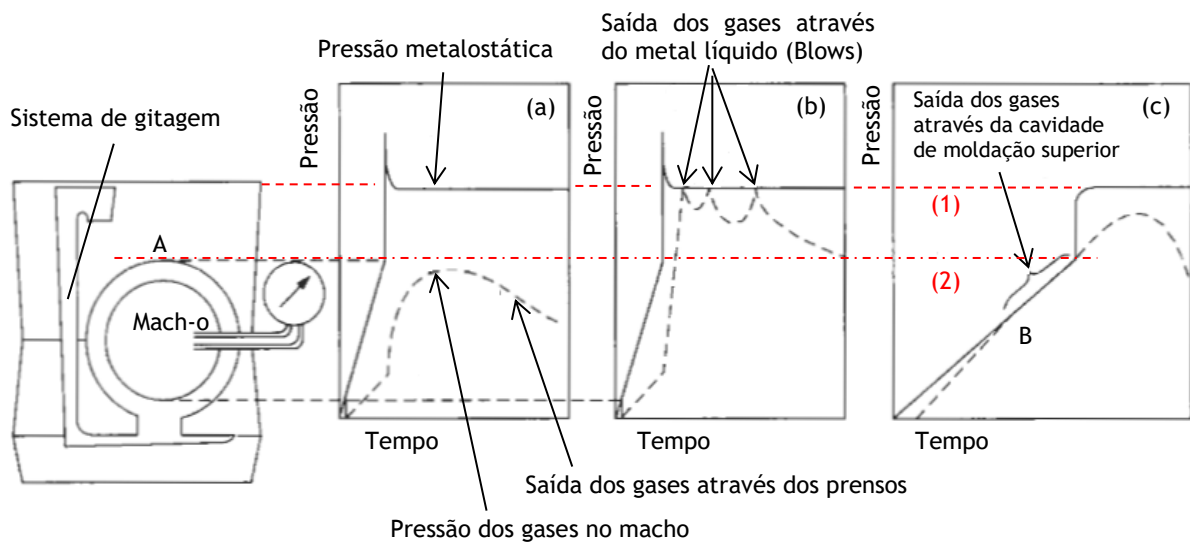


Figura 12 - Efeito da variação da velocidade de enchimento e da localização de respiros na formação de bolhas, oriundas do macho, à superfície da peça. Adaptado de [12].

A localização dos respiros próximo à bacia de vazamento pode levar à entrada de metal em vez da saída de gases durante a fase de enchimento. Assim sendo torna-se importante a colocação de “reservatórios de metal” porque permitem a saída de metal para limpar os gases que se acumulam na parte superior da cavidade de moldação.

Campbell (2003), efectuou um estudo para avaliar a interferência da velocidade de vazamento e localização dos respiros no aparecimento de bolhas no fundido utilizando areia de moldação e areia de macho. Relacionou a pressão dos gases medidos no interior do macho com a pressão metalostática. Como resultado de três situações distintas efectuou três gráficos nos quais relaciona duas curvas de pressão (metalostática e gases gerados no interior ou na interface metal líquido / macho) com o tempo de enchimento, vide “(a)”, “(b)” e “(c)” na figura 13.

Na primeira situação, em “(a)”, os respiros são localizados devidamente na zona dos prensos sendo efectuado um vazamento rápido. A pressão metalostática sobrepõe-se à pressão provocada pelos gases que entretanto se tenham gerado no interior do macho ou na sua interface favorecendo a saída dos gases pelos prensos e respectivos respiros podendo esta situação ser verificada não só durante o vazamento mas também na fase de solidificação.

Na situação em “(b)”, mantém-se o vazamento rápido mas os respiros são localizados fora da zona dos prensos sendo assim favorecida a penetração dos gases

no metal líquido o qual inevitavelmente vai levar ao aparecimento de bolhas no fundido.

Na última situação, em “(c)”, o enchimento da cavidade de moldação é feita de um modo lento sendo os respiros localizados a desfavorecer a saída dos gases. Devido à velocidade de vazamento aplicada, a pressão dos gases gerados no interior do macho ou na sua interface excedem a pressão metalostática em “B”, permanecendo elevada durante uma parte do tempo de vazamento até à sua interseção com a linha horizontal “(2)” identificada a vermelho (traço interrompido). No prolongamento desse traço até ao esquema da cavidade de moldação é possível inferir que a saída dos gases dá-se através da permeabilidade da areia de moldação, vide “A” na mesma figura 13 [12].

2.6 Cartas de controlo - CEP

A carta CEP (controlo estatístico do processo) ou carta de controlo, consiste num gráfico que apresenta a evolução estatística da característica da qualidade em

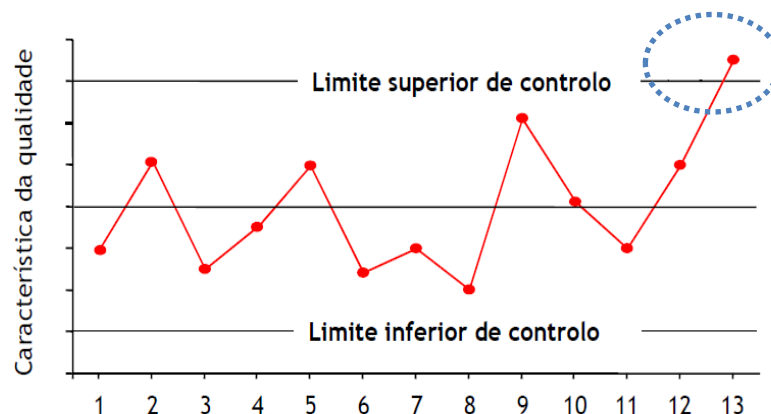


Figura 13 - Exemplo de uma carta de controlo. Na parte superior direita deste gráfico, sinalizado com figura ovalizada a traço interrompido de cor azul, existe um ponto que se encontra fora do limite estabelecido estando este afetado por causas especiais de variação. Adaptado de [18].

estudo estando delimitado inferior e superiormente por limites, respetivamente LIC e LSC, permitindo verificar dum modo expedito a variabilidade do processo. Tratando-se de variáveis quantitativas podem-se aplicar as cartas do tipo de médias [18].

Se os valores observados estiverem dentro dos limites, vide figura 14, admite-se que o processo está sob controlo, está afetado por causas comuns de variação tornando-o num processo previsível. Todavia, caso sejam detetados valores

estatísticos fora dos limites estabelecidos então o processo está afetado por causas especiais de variação tornando-o num processo imprevisível levando à tomada de decisões no sentido de imediatamente implementar ações de caráter corretivo e investigar os motivos especiais de variação.

A tabela 4 apresenta-nos as fórmulas que permitem determinar os limites quer inferior quer superior de controlo do processo e, assim construir os gráficos ou cartas de controlo do processo. Nesta mesma tabela estão apresentados os significados das suas incógnitas.

Tabela 4 - Fórmulas que permitem determinar a carta das médias e apresentação do significado das suas incógnitas. Adaptado de [18].			
	Fórmula	Significado das incógnitas	
Limite superior de controlo (LSC)	$\bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{A}$	$\bar{\bar{X}}$	Média das médias
Limite inferior de controlo (LIC)	$\bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{A}$	\bar{A}	Média das amplitudes
		A_2	Constante dependente da dimensão da amostra
OBS: A constante considerada para A_2 foi 1,880. Vide tabela 2 em anexos.			

3. Metodologia experimental

3.1 Verificação das cartas de controlo do processo

Para cada etapa do processo produtivo foram definidos parâmetros a controlar com os respetivos limites de controlo quer inferior quer superior calculados utilizando as fórmulas e constante da tabela 4.

Após recolha e tratamento dos dados dos parâmetros que pretendemos verificar nos primeiros 5 meses do ano de 2015, nos quais foram realizadas as respetivas médias mensais sendo também determinados os respetivos limites utilizando as fórmulas e constante da tabela 4 conseguiu-se criar gráficos com os respetivos limite.

Façamos a análise das cartas de controlo que digam respeito aos parâmetros mais representativos dos defeitos em estudo.

3.1.1 *Areia verde*

Analisámos alguns parâmetros relativos à areia verde que poderão estar relacionados com a formação de bolhas, nomeadamente: a resistência ao corte, a permeabilidade, o teor de humidade e o teor de carbono.

Podemos constatar que os valores das peças em estudo sucataadas devido às bolhas aumentaram no período de fevereiro a abril, vide figura 3. Se analisarmos a resistência ao corte e a permeabilidade para o mesmo período, vide figura 14, verificamos que os valores da resistência ao corte sobem enquanto os valores da permeabilidade descem o qual se revela consentâneo, ou seja, a capacidade do sistema em escoar os gases que tenham sido aprisionados ou gerados na cavidade de moldação diminui o que conduz ao maior aparecimento de bolhas nas peças. Todavia, a análise relativa ao último período não permite obter uma relação tão linear pois apesar da descida da permeabilidade, a resistência ao corte também desce o que não aconteceu no período anterior. E, ao mesmo tempo os valores das

bolhas para o período em análise indicam uma descida. Este facto aponta para existência de outros fatores que podem favorecer o aparecimento do defeito.

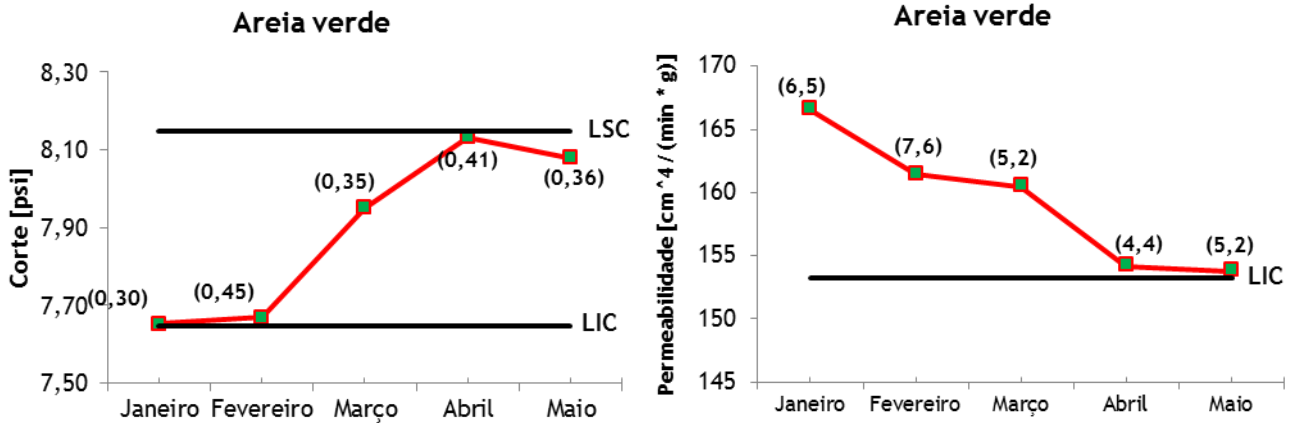


Figura 14 - Cartas de controlo da resistência ao corte e da permeabilidade da areia verde e respetivos limite inferior e superior de controlo, LIC e LSC respetivamente. Os valores entre parêntesis, acima de cada uma das curvas, dizem respeito ao desvio padrão respetivos. Estes ensaios têm uma frequência de controlo de duas em duas horas.

Passemos agora às cartas de controlo relativas à humidade e ao pó-de-carvão, vide figura 15. Para o período de janeiro a maio existe forte correlação entre os valores das bolhas e da humidade ou do pó-de-carvão da areia verde, ou seja, baixar os valores de humidade relativa ou do pó-de-carvão implica baixar a quantidade de peças com bolhas e aumentar os teores de humidade ou do pó-de-carvão conduz a uma maior quantidade de sucata relativo a este defeito.

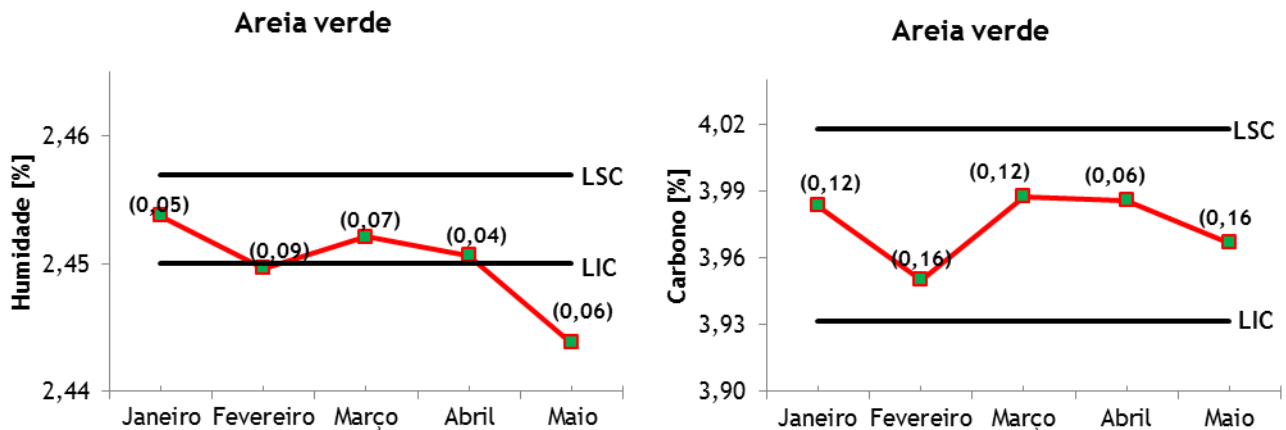


Figura 15 - Cartas de controlo de humidade e pó-de-carvão relativo da areia verde e respetivos limite inferior e superior de controlo, LIC e LSC respetivamente. Os valores entre parêntesis, acima de cada uma das curvas, dizem respeito ao desvio padrão respetivos. Estes ensaios têm uma frequência de controlo de duas em duas horas.

Tal como referido anteriormente, um dos objetivos do pó-de-carvão será criar atmosfera redutora de modo a minimizar a reação do fluido metálico com as paredes da moldação e da macharia. Todavia, em excesso, dificulta o escoamento dos gases. Do mesmo modo, teores de água em excesso implica mais vapor de água e de outros gases que terão certamente dificuldades em serem escoados através da moldação superior devido ao excesso de pó-de-carvão.

3.1.2 Macharia e tinta

O teste de perda ao fogo permite medir a quantidade de matéria volátil existente no macho.

No gráfico de perda ao fogo, na figura 16, podemos observar que para os seus valores percentuais no período compreendido entre janeiro e fevereiro existe um ligeiro aumento enquanto, para o mesmo período, os valores percentuais das peças com bolhas diminui. Mas se atendermos aos valores relativamente elevados da permeabilidade, facilmente concluimos que o sistema foi capaz de escoar os gases que se tenham formado na cavidade de moldação.

Fevereiro a maio corresponde ao período no qual os valores de perda ao fogo reduzem mas a capacidade do sistema em escoar esses e outros gases diminui, o qual, também pode ser verificado no gráfico da permeabilidade.

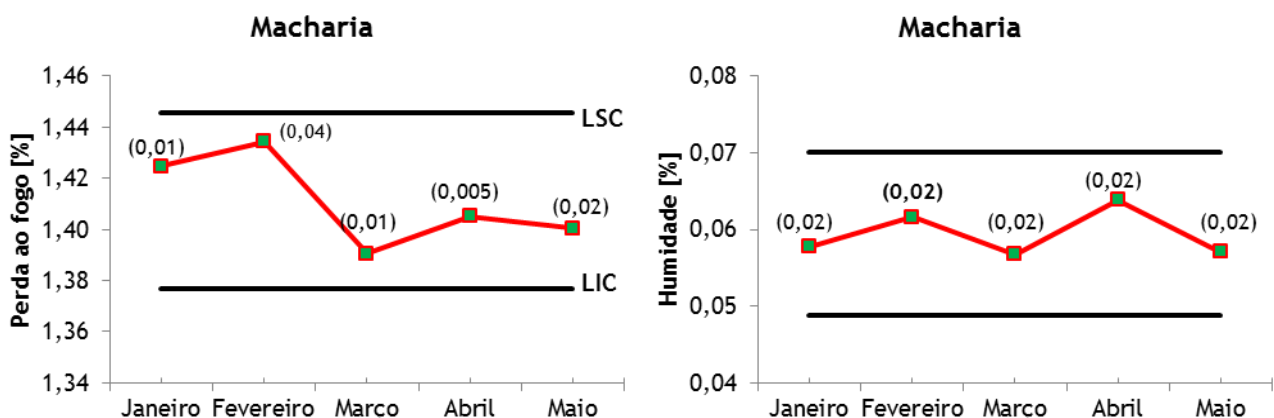


Figura 16 - Cartas de controlo da perda ao fogo (somente aos machos) e da humidade relativa (machos pintados) e respetivos limite inferior e superior de controlo, LIC e LSC respetivamente. Os valores entre parêntesis, acima de cada uma das curvas, dizem respeito ao desvio padrão respetivos. Estes ensaios têm uma frequência de controlo de uma vez por semana por equipa.

Quanto à humidade, vide figura 16, a humidade relativa existente nos machos após o seu revestimento com tinta à base de água, mostra valores muito baixos (a água presente nos machos pintados representa, em média, cerca de 600 ppm) o qual poderá ser um indicativo que a humidade presente nas tintas apresenta muito baixa probabilidade de ser a causa do aparecimento de bolhas nas peças.

Outro aspeto importante a analisar será a razão entre resinas, parte-1 / parte-2, existente nos vários machos do bloco de motor. Da análise da figura 17 podemos constatar que a parte-1 é sempre superior à parte-2, por exemplo: o macho chamado “retorno óleo superior” apresenta um rácio ou razão de 53:47 o qual está conforme a bibliografia, vide também tabela 2.

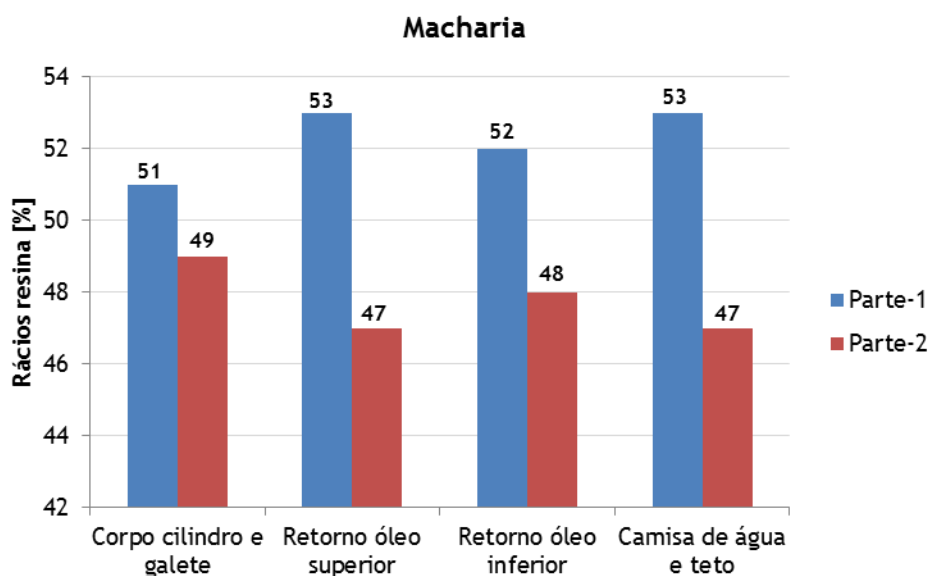


Figura 17 - Gráfico de colunas que relaciona a parte-1 e a parte-2 nos diferentes machos para o período compreendido entre janeiro e maio de 2015.

Quanto aos teores das duas partes ou níveis de resina na areia de macho, vide figura 18, constata-se que os seus valores percentuais se encontram na gama de valores recomendado pela bibliografia, vide também tabela 2.

Poder-se-á questionar a uniformização dos seus valores pois se estes componentes do conjunto da macharia fazem parte da mesma peça porque não utilizar, por exemplo, os teores das duas resinas próximos a 1,3 % uma vez que este procedimento tem impacto nos custos do processo? A resposta é simples: devido à particularidade de forma, comprimento, espessuras de cada um dos machos existe

a necessidade de aumentar os seus teores de modo a melhorar algumas propriedades, sobretudo a resistência à flexão destes componentes.

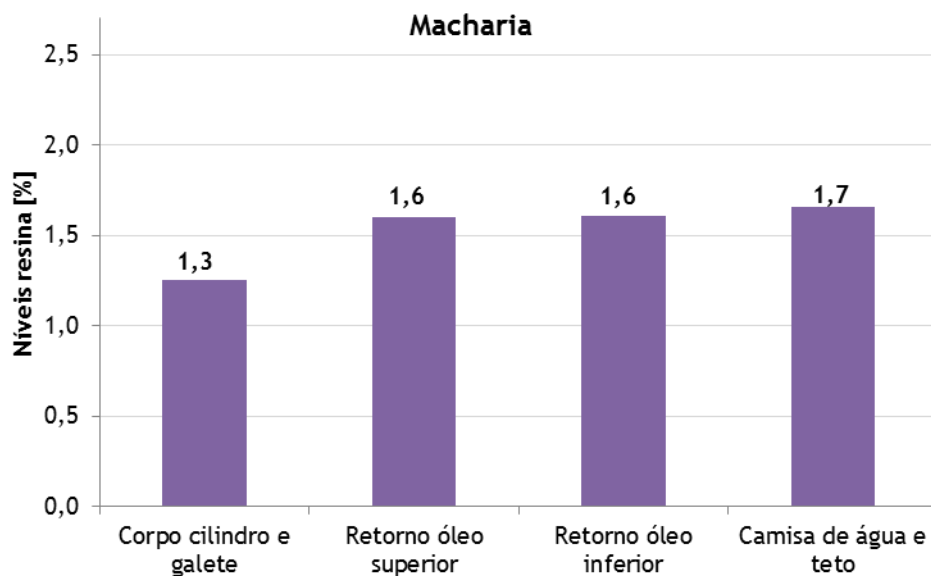


Figura 18 - Gráfico de colunas que relaciona os teores da parte-1 e parte-2 com a quantidade de areia de sílica para o período compreendido entre janeiro e maio de 2015.

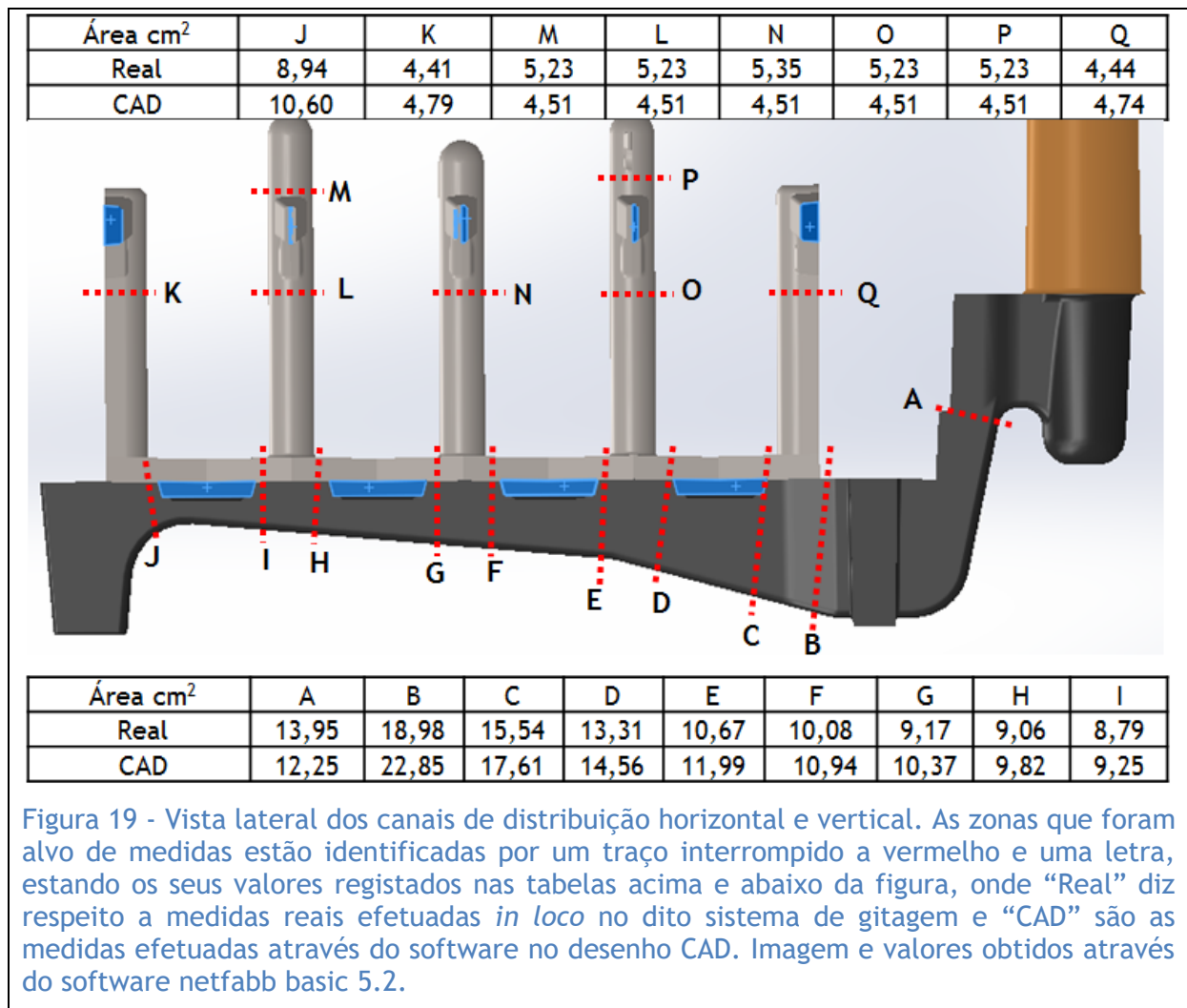
3.2 Estudo do sistema de gitagem

Visto que anteriormente foi demonstrado através das médias dos parâmetros que são de interesse para os defeitos apresentados que o processo estava dentro dos limites (limite inferior e superior de controlo do processo) decidiu-se estudar o sistema de gitagem.

A seguinte abordagem consistiu em comparar medidas do sistema de gitagem CAD (desenho efetuado em computador através de software apropriado - Catia e Unigraphics) ao sistema de gitagem real de modo a despistar incongruências, verificar o grau de despressurização do sistema e assim partirmos para a simulação de um modo mais aproximado à realidade possível.

A “dissecação” do sistema de gitagem aconteceu após a sua separação das peças e respetiva granalhagem. As figuras 19 e 20 permitem-nos observar a complexidade deste sistema de gitagem obtido através do software netfabb. A

figura 19 apresenta a localização e respectivos valores das diferentes áreas dos canais de distribuição.



O ponto de partida para análise poderia ser certamente o canal de distribuição “A”, vide figura 19, pois esta área controla o tempo de enchimento do metal líquido na cavidade de moldação mas iremos abordar primeiro os valores reais para depois fazermos uma comparação com os valores obtidos através do software netfabb basic 5.2.

Na tabela 5, é estabelecida uma relação entre a área de seção característica do sistema de gitagem obtido directamente no sistema de gitagem fundido (A_{scsg}), o somatório das áreas dos ataques que compõem o sistema de gitagem real (A_{t_Real}) e o “suposto” valor que deveria apresentar de modo a respeitar a relação de gitagem de 1:1,1:1,2 ($A_{t_suposto}$), ou seja, vinte pontos percentuais acima da A_{scsg} .

Tabela 5 - Relação de gitagem para os ataques			
	Ascsg	At_Real	At_suposto
Áreas [cm ²]	13,95	31,96	16,74
Relação	1:1	1:2,3	1:1,2

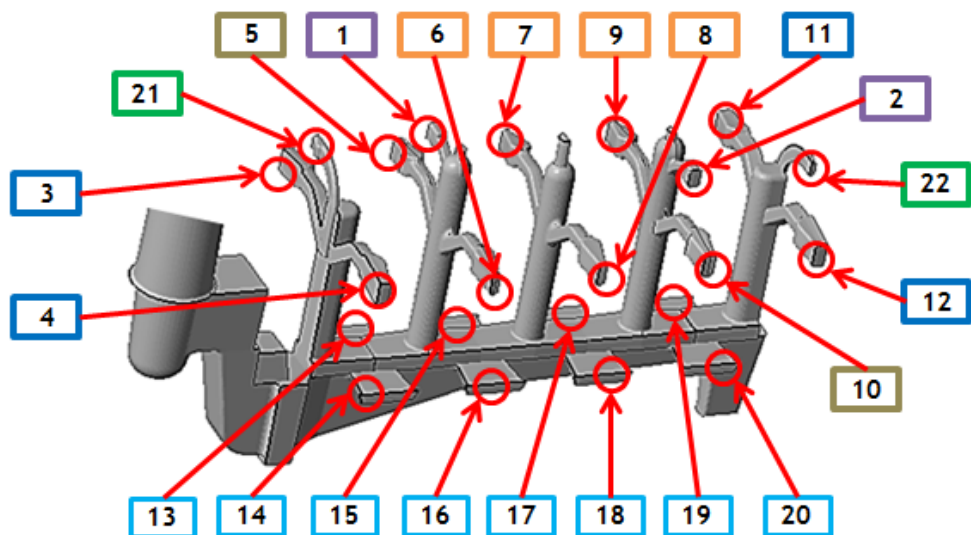
Legenda:
Ascsg: área da seção característica do sistema de gitagem - valor medido no sistema de gitagem fundido;
At_Real: somatório das áreas dos ataques do sistema de gitagem - valores medidos no sistema de gitagem fundido;
At_suposto: área total dos ataques - valor calculado a partir da Ascsg (13,95).

Do somatório das áreas dos ataques medidos (31,96 cm²) e do valor calculado a partir da área de seção característica (16,74 cm²) conseguimos constatar que o sistema está fortemente despressurizado, o qual pode ser confirmado dividindo o valor do somatório pela área de seção característica medida *in loco* (13,95 cm²), ou seja, este sistema não apresenta a relação de 1,2 (referido anteriormente) mas sim a relação de 2,3 para os ataques.

Durante o estudo do sistema de gitagem foram detetadas duas situações de potencial risco.

A primeira situação foi verificada nos ataques situados nos canais de distribuição vertical. A figura 20 apresenta uma “paleta” de cores com o intuito de localizar as zonas com as áreas iguais ou muito próximas entre si. Nos ataques são apresentadas quatro áreas diferentes. Atendendo ao facto de tratar-se de uma peça simétrica, não seriam de esperar ataques tão díspares, sobretudo ao nível dos ataques 1 a 12. Por exemplo, os ataques 3-4-11 e 12 apresentam medidas muito afastadas comparativamente aos ataques 5 e 10, o que pode também ser constatado na tabela 6. Esta discrepância permite constatar que o sistema se encontra descompensado ou desequilibrado. Em contracorrente surgem os ataques 21 e 22 que apresentam áreas abaixo dos ataques 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11 e 12.

Área [cm ²]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Real	1,39	1,32	1,14	1,09	1,36	1,07	1,05	1,04	1,09	1,40	1,13
CAD	1,39	1,42	1,97	1,97	1,90	1,23	1,22	1,23	1,22	1,72	1,97



Área [cm ²]	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Real	1,18	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	0,45	0,45
CAD	1,97	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	0,41	0,41

Figura 20 - Sistema de gitagem as localizações e registros das áreas dos ataques nas tabelas situadas acima e abaixo da figura. Valores registados a partir de medidas efetuadas quer no sistema de gitagem fundido (medidas reais) quer através do software (medidas CAD). Imagem e valores obtidos através do software netfabb basic 5.2.

Ora, esta constatação parece evidenciar que o sistema está desequilibrado, ou seja, em certa medida é favorecida o enchimento em queda em detrimento do enchimento em fonte o qual aumenta as probabilidades do aparecimento de defeitos nas peças.

Tabela 6 - Média dos ataques agrupados segundo aproximação dos seus valores. Ataques localizados na ferramenta de machos.

	Números dos ataques localizados nos canais de distribuição vertical			
	1 e 2	3, 4, 11 e 12	5 e 10	6, 7, 8 e 9
Médias das áreas [cm ²]	1,36	1,14	1,38	1,06

No que concerne a segunda situação, após terem sido feitas várias “montagens” via software, nomeadamente o sistema de gitagem com as peças ou o sistema de gitagem com a macharia, podemos constatar, como observamos na figura 21, que os ataques 13 e 20 encontram um obstáculo (parede do macho) à passagem do metal líquido.

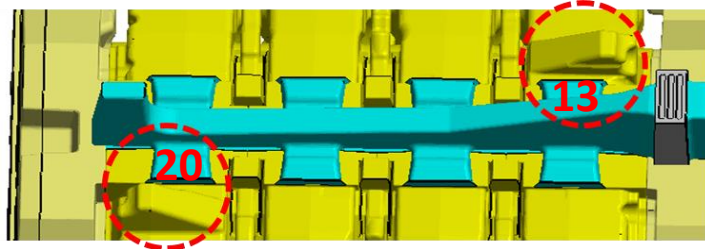


Figura 21 - Vista em perspectiva onde estão sinalizados com círculo em traço interrompido de cor vermelha os ataques 13 e 20. À frente desses ataques existe o tal obstáculo (parede de macho) à passagem de metal líquido. Imagem obtida através do software netfbb.

Quanto às áreas relativas ao canal de distribuição, quer horizontal quer vertical, foi decidido que estas permaneceriam inalteradas pois da análise comparativa entre as seções reais e do desenho CAD não existiam diferenças significativas quanto às suas medidas (a intervenção a efetuar estará relacionada com outros motivos, por exemplo turbulência próximo ao canal de distribuição vertical levou-nos a prolongar o canal de distribuição horizontal mas esta situação será abordada *a posteriori*).

3.2.1 *Tempo de vazamento teórico*

Na projeção de qualquer sistema de gitagem, e conseqüentemente na determinação da área de seção característica do sistema de gitagem, parte-se de pressupostos teóricos sobre o tempo de enchimento e o peso das peças.

Assim sendo, através do software netfabb 5.2 foi possível determinar o volume das peças e do sistema de gitagem e através do software de simulação MagmaSoft 5.3.0 conseguiu-se apurar o valor da densidade do metal a vaziar sendo que o tempo de enchimento foi determinado utilizando o método apresentado por Rashid [17].

Equação 2 - Determinação da taxa de vazamento. Adaptado de [17].

$$R = \frac{W^P}{(1,34 + \frac{t}{13,77})}$$

W diz respeito ao peso do cacho em kg, P à constante em função do peso, t é a espessura crítica do fundido e R significa a taxa de vazamento.

A taxa de vazamento (ou caudal volumétrico) obtida não teve em conta quer as forças de atrito (f) quer a fluidez (K) do banho metálico logo, na equação 3, é-se sugerido uma pequena correção que tem em linha de atenção os dois fatores atrás referenciados.

Equação 3 - Determinação da taxa de vazamento corrigida. Adaptado de [17].

$$R_c = \frac{R}{(f * \frac{K}{40})}$$

f é uma constante para o tipo de metal a vazar, sendo K uma variável determinada em função da temperatura de vazamento e do carbono equivalente enquanto Rc significa a taxa de vazamento corrigida [17].

O tempo de vazamento será obtido dividindo o peso do cacho pelo último parâmetro determinado (Rc), ou seja, 11,9 s (informações adicionais na tabela 2 nos anexos).

3.2.2 Área da seção caraterística do sistema de gitagem

A área de seção caraterística do sistema de gitagem que tem por finalidade controlar o tempo de enchimento ou entrada de metal líquido na cavidade de moldação pode ser calculada recorrendo ao método do tempo de vazamento apresentado através da equação 4.

Equação 4 - Área da seção caraterística do sistema de gitagem pelo método do tempo de vazamento [16].

$$A_{scsg} = \frac{P}{\rho * t * \alpha * \sqrt{2 * g * M}}$$

P diz respeito ao peso das peças, aproximadamente 103 Kg, ρ significa a densidade do metal no estado sólido, sendo t tempo de vazamento (determinado anteriormente), α diz respeito ao coeficiente da perda de velocidade do fluxo por atrito o qual varia consoante a geometria e complexidade da peça, g é a força gravítica e M representa a altura efetiva de vazamento, vide figura 22, finalmente A_{scsg} será a área de seção característica do sistema de gitagem.

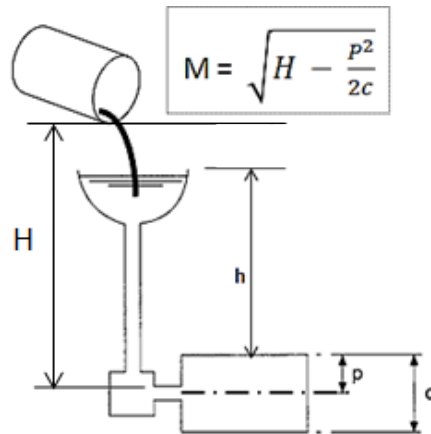


Figura 22 - Esquema do sistema de gitagem, peça e colher de vazamento. Adaptado de [18].

Calculou-se a A_{scsg} teórica (valor de 18,45 cm²) que servirá de comparação com a A_{scsg} real, tal como se apresenta na tabela 7.

Tabela 7 - Determinação teórica da área de seção característica pelo tempo de vazamento. Adaptado de [16].

ρ [$\frac{g}{cm^3}$]	t [s]	α	M [cm]	A_{scsg} [cm ²]
7,20	11,90	0,55	7,13	18,45

Posto isto, avançou-se com as simulações de modo a avaliar a melhor solução para este sistema, tendo sempre presente que qualquer alteração deverá ser efetuada no menor tempo possível de modo a minimizar os custos resultantes dessa paragem.

3.3 Simulações

Atendendo ao fato já referenciado da complexidade deste sistema de gitagem, as primeiras simulações irão focalizar-se nos ataques localizados na PM inferior, nos ataques 13 a 20, pois durante a análise da composição deste sistema no software, anteriormente referenciado, foi detetado que próximo à saída dos ataques existe um obstáculo (a própria parede do macho) existindo assim grande probabilidade de ocorrência de defeitos, sobretudo nas proximidades dessa zona, o qual poderá ser esclarecido através de simulações, vide figura 23. Todavia, de modo a existir um termo de comparação foi decidido iniciar as simulações com o sistema inalterado (S1) tal como apresentado na figura 24 ou em S1 na figura 25.

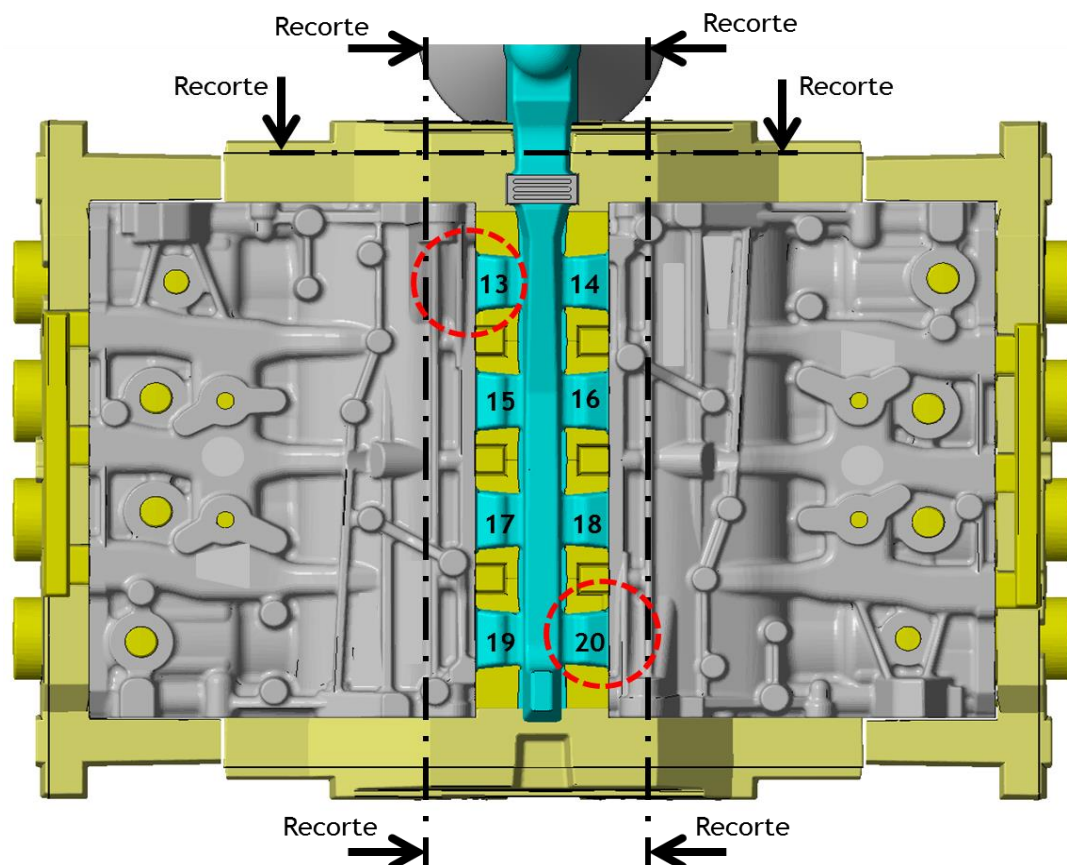


Figura 23 - Vista de baixo das peças, sistema de gitagem e respetiva macharia. Nesta mesma vista, os ataques da PM inferior estão identificados com numeração árabe, estando essa zona delimitada com traço-ponto-traço de cor preta. De modo a indicar que as imagens das próximas duas figuras foram “extraídas” dessa zona. Imagem obtida pelo software netfabb.

Antes de dar início aos resultados convém referenciar que os parâmetros utilizados para cada uma das simulações podem ser consultados na tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros utilizados nas simulações.						
	Parâmetros no software MagmaSoft	S1	S2	S3	S4	S5
Filtro	Espuma de cerâmica reticulada com espessura de 21 mm	✓	✓	✓	✓	✓
Metal enchimento	EN-GJL-250	✓	✓	✓	✓	✓
Areia moldação	Areia sílica + bentonite	✓	✓	✓	✓	✓
Fusão	a) Método inoculação: Muito bom	✓	✓	✓	✓	✓
	b) Rendimento: 100 %	✓	✓	✓	✓	✓
	c) Precipitação grafite: 10 %	✓	✓	✓	✓	✓
	d) Temperatura vazamento máxima: 1400 ° C	✓	✓	✗	✗	✗
	e) Temperatura vazamento: 1420 ° C	✗	✗	✓	✓	✓
Macharia	Areia sílica em caixa-fria	✓	✓	✓	✓	✓
Definição enchimento	Curva de caudal	✓	✓	✓	✓	✓
Temperatura vazamento [°C]	1400	✓	✓	✓	✓	✓
Respiros	Considerar permeabilidade na moldação	✓	✓	✓	✓	✓
	Considerar respiros	✓	✓	✓	✓	✓
Malhamento	Peça e macharia: espessura mínima de parede 4 mm em x, y e z	✓	✓	✓	✓	✓
	Respiros: espessura mínima de parede 2 mm em x, y e z	✓	✓	✓	✓	✓
	Filtro: espessura mínima de parede 1 mm em x, y e z	✓	✓	✓	✓	✓
	Areia moldação: espessura mínima de parede 8 mm em x, y e z	✓	✓	✓	✓	✓
Legenda: ✓ - Sim; ✗ - Não.						

Os resultados da primeira simulação, através da função “Fill Tracer” (o percurso do enchimento pode ser visualizado através de partículas), mostram que existe turbulência ou refluxo do fluido metálico na parte terminal do canal de distribuição principal (canal horizontal) o qual pode levar ao aprisionamento de gases existentes na cavidade de moldação, vide circunferência em traço contínuo

da figura 25. Assim sendo de modo a minimizar esta situação foi decidido aumentar ou prolongar este canal até ao limite da PM inferior, vide S2 na figura 26.

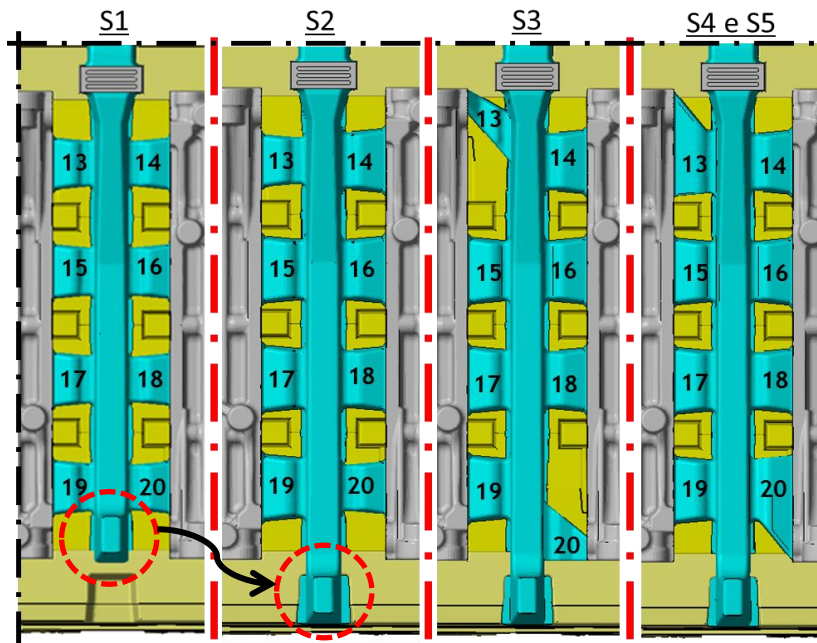


Figura 24 - Recortes da figura 23. Zona delimitada a traço interrompido. Estão representadas três alterações efetuadas (S2 a S5). S1 representa o sistema de gitagem da primeira simulação. Imagem obtida através do MagmaSoft.

Para a segunda simulação (S2) efetuaram-se as alterações acima descritas, ou seja, prolongamento do canal de distribuição principal, vide a circunferência a traço interrompido da figura 24, e de modo a “colmatar” a entrega de metal dos ataques 13 e 20 foi decidido aumentar em cerca de 20 % os ataques 14 a 19 mantendo inalterado os ataques 13 e 20, vide na mesma figura em “S2”. Resultados de S2, vide simulação 2 na figura 26, mostraram persistir problemas no dito refluxo do canal de distribuição principal. O objetivo do prolongamento deste canal foi permitir que o refluxo metálico acontecesse afastado dos canais de distribuição verticais, na parte terminal do dito canal

Uma vez que tal não aconteceu foi decidido manter este prolongamento na simulação seguinte (S3) mas alterar o formato dos ataques 13 e 20 de modo ao metal líquido “contornar” o obstáculo decorrente do próprio macho e podendo ao mesmo tempo existir a probabilidade de minimizar o efeito de refluxo do metal líquido nas referidas zonas.

Relativamente aos defeitos, a função "air pressure" do software permite identificar as zonas sujeitas a grandes pressões devido aos gases gerados e

aprisionados na cavidade de moldação enquanto a função "temperature" permite identificar as zonas mais frias após enchimento da moldação.

As figuras 27 e 29 dizem respeito aos resultados da primeira simulação (S1). A primeira figura mostra o resultado da dita simulação utilizando a função "air pressure". As zonas com tonalidade de azul mais escuro são zonas que apresentam probabilidade de aparecimento de bolhas. Enquanto na segunda figura podemos constatar a função "temperature", a qual mostra com grande probabilidade o defeito de junta-fria nas zonas com tonalidade de azul mais claro (zonas mais frias).

Ao compararmos as figura 27 e 29 com a figura 4, podemos constatar algumas semelhanças entre estas, ao que à localização e frequência dos defeitos diz respeito, mormente bolhas e junta-fria.

Quanto à probabilidade do aparecimento de defeitos, bolhas e junta-fria, na segunda simulação, vide S2 na figura 28, podemos verificar que houve uma substancial melhoria ou redução de bolhas nas peças enquanto na figura 30 podemos constatar que existe maior probabilidade no aparecimento de junta-fria nas peças, quer no modelo1 quer no modelo2, vide S2 na mesma figura.

Devido aos motivos atrás referidos foi decidido continuar a simulação, simulação 3 ou S3, mantendo o prolongamento do canal de distribuição horizontal, a sobre-espessura dos ataques 14 a 19 mas modificando o formato dos ataques 13 e 20, vide S3 na figura 24, por dois motivos: direcionar o fluido metálico de modo a que este possa "contornar" a parede do macho permitindo assim que o dito fluido naquela determinada zona se faça o mais homoganeamente possível, à velocidade semelhante aos restantes ataques (14 a 19) e possa "contribuir" para minimização do refluxo do metal líquido próximo ao canal de distribuição vertical.

Resultados da terceira simulação mostram a existência de maior risco no aparecimento de bolhas nas peças e continuação da probabilidade no aparecimento de junta-fria, vide S3, respetivamente figuras 28 e 30.

Assim sendo para a quarta simulação (S4) foi decidido alterar o formato dos ataques 13 e 20, vide S4 na figura 24, continuar com o prolongamento do canal de

distribuição horizontal, manter os vinte por cento da sobre-espessura nos ataques 14 a 19 e adicionar uma “camada” aproximada de 7 mm.

Resultados da quarta simulação (S4) mostram que existe melhorias quanto à probabilidade no aparecimento dos defeitos quer de bolhas quer de junta-fria, vide S4 nas figuras 28 e 30 respetivamente. Todavia, com o objetivo de melhoria dos resultados foi decidido avançar com outra simulação (S5).

Na quinta simulação (S5) foi decidido manter a modificação nos ataques 13 e 20 e os ataques 14 a 19, continuar com o prolongamento do canal de distribuição horizontal e manter a “camada” no dito canal mas decidiu-se, na zona da área de seção característica do sistema de gitagem, adicionar uma “camada” próxima dos sete milímetros para se aproximar à área teórica (18,45 cm²) calculada anteriormente, vide tabela 4.

Resultados da simulação número cinco (S5) mostram que apesar de continuar a existir melhorias quanto à probabilidade no aparecimento de bolhas nas peças, vide S5 na figura 28, continua a persistir quer o problema do dito refluxo, vide S5 na figura 26, o qual nos leva a desconsiderar a adição da “camada” no canal de distribuição horizontal.

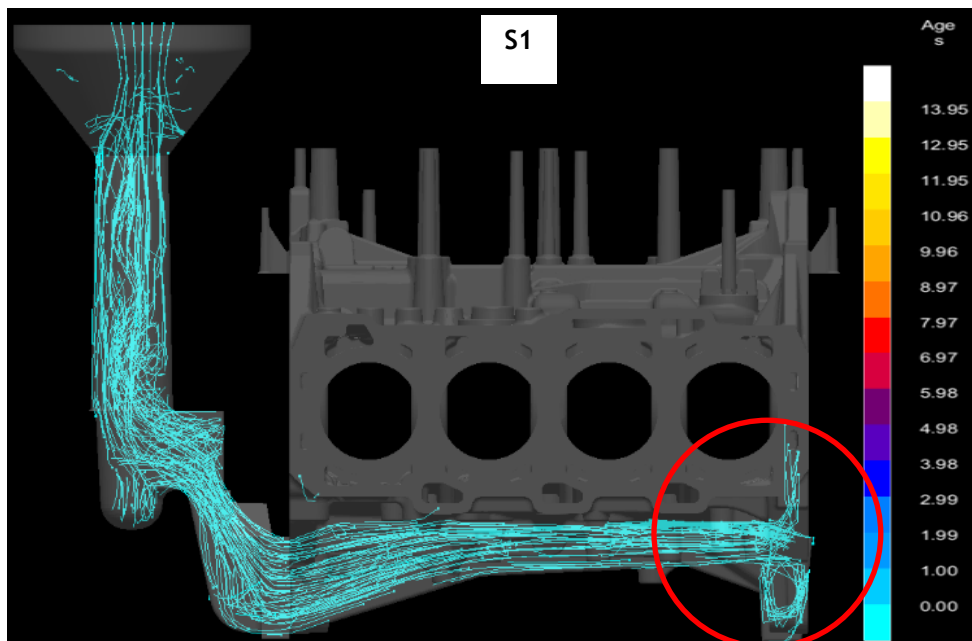


Figura 25 - Visualização lateral do enchimento para a primeira simulação (S1) utilizando a função “Fill Tracer” do software. Imagem obtida através do MagmaSoft 5.3.0

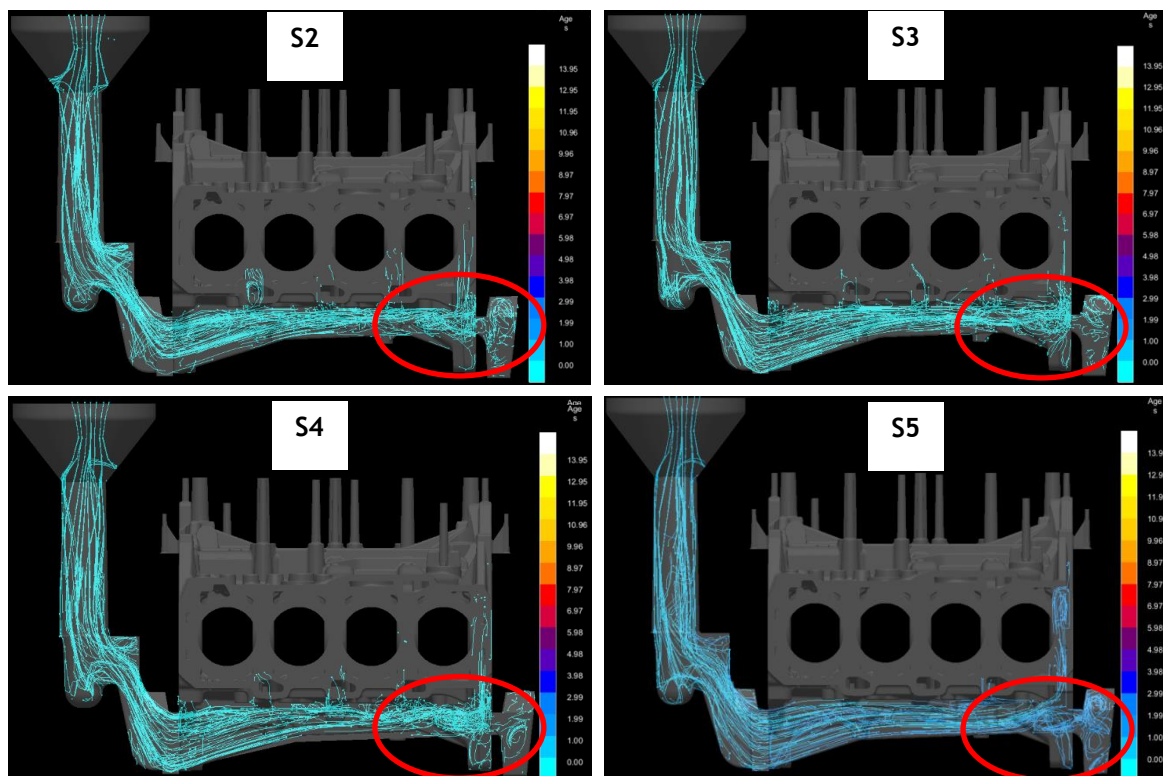


Figura 26 - Visualização lateral do enchimento utilizando a função “Fill Tracer” do software relativa às simulações 2, 3 4 e 5. Imagem obtida através do MagmaSoft 5.3.0.

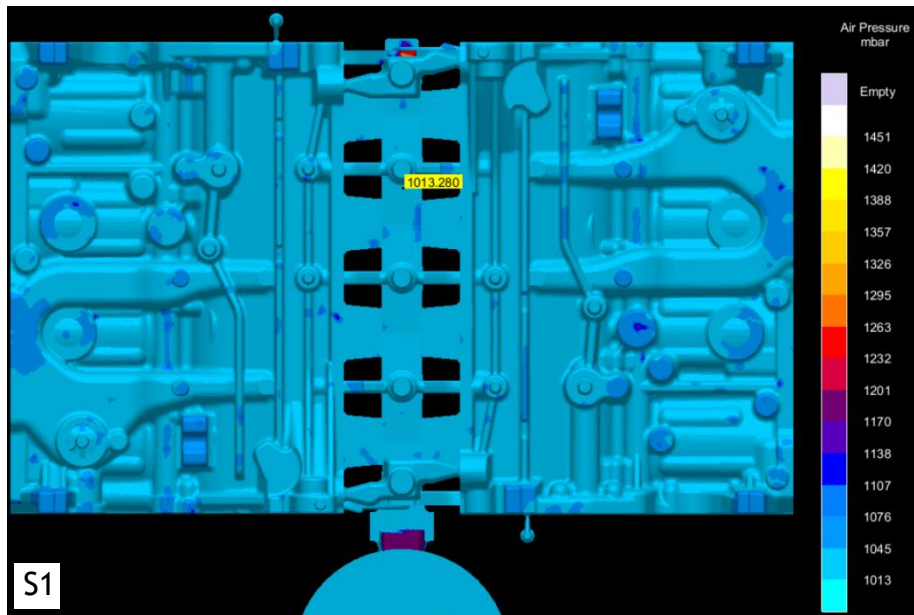


Figura 27 - Vista de cima do enchimento através da função “air pressure” aos 14,267 s ou 100 % de enchimento relativa à primeira simulação. Imagem obtida através do MagmaSoft 5.3.0.

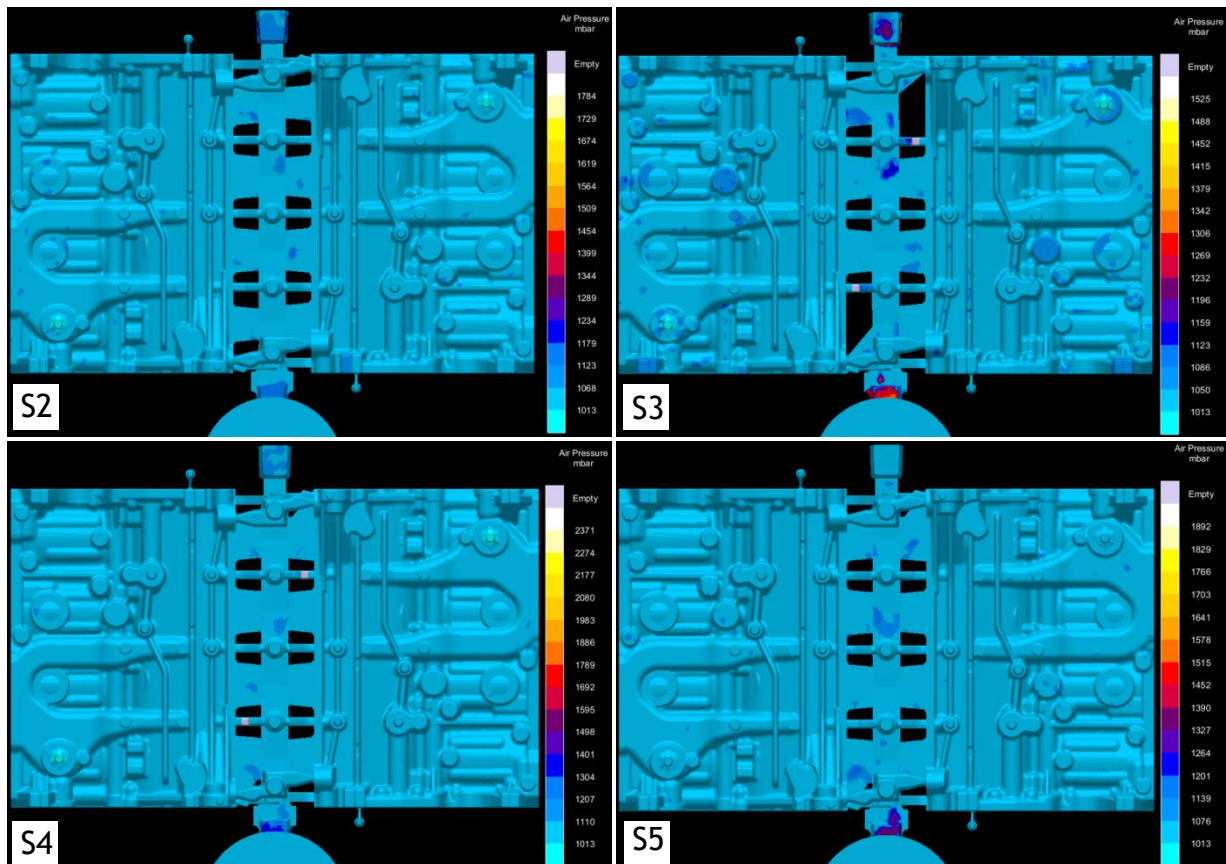


Figura 28 - Vista de cima do enchimento através da função “air pressure” aos 14,267 s ou 100 % de enchimento relativa à s simulações 2, 3, 4 e 5. Imagem obtida através do MagmaSoft 5.3.0.

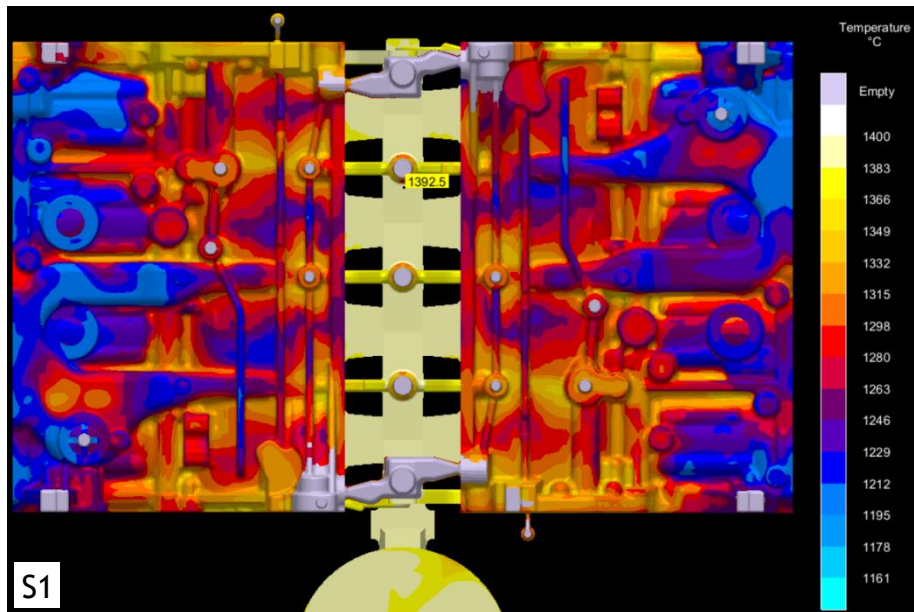


Figura 29 - Vista de cima do enchimento através da função “temperature” aos 13,954 s ou 98,01 % de enchimento relativa à primeira simulação. Imagem obtida através do MagmaSoft 5.3.0

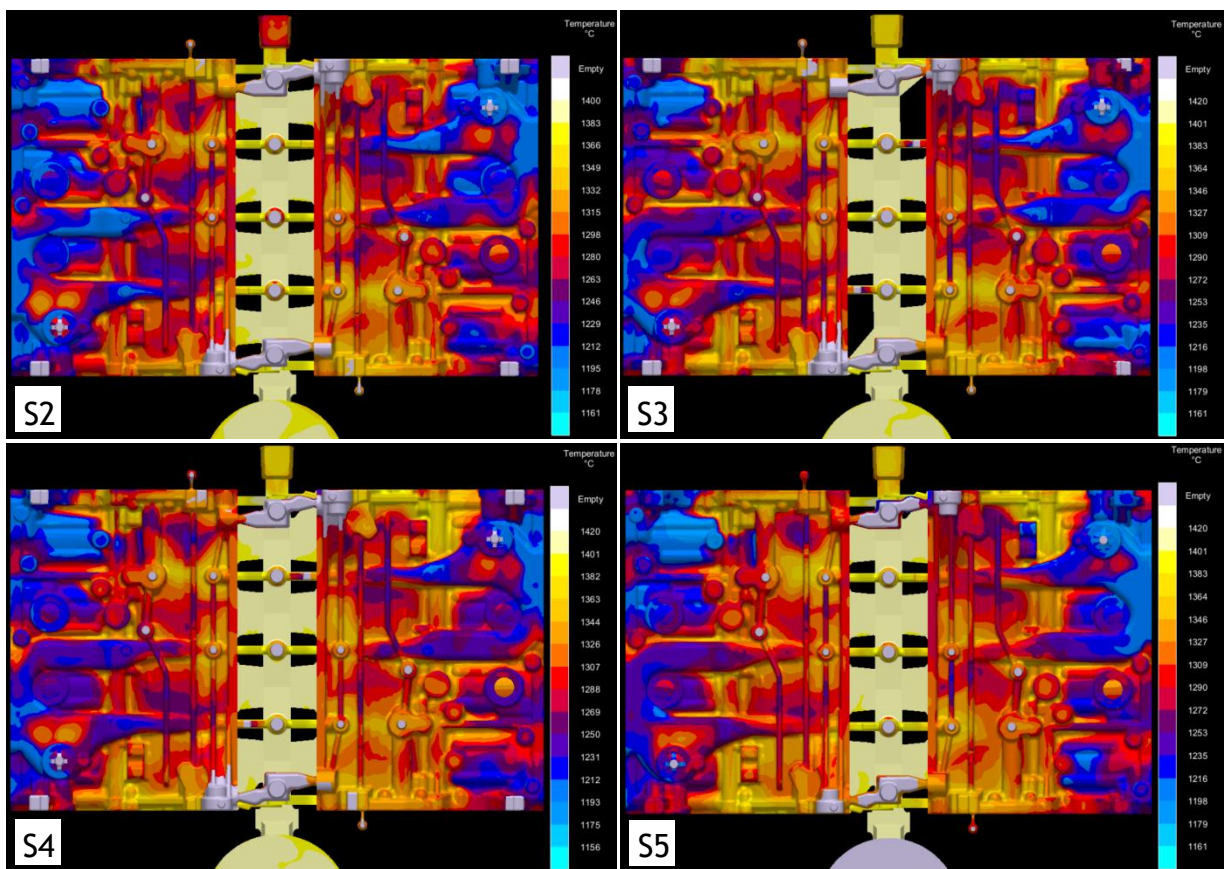


Figura 30 - Vista de cima do enchimento através da função “temperature” aos 13,954 s ou 98,01 % de enchimento relativa às simulações 2, 3, 4 e 5. Imagem obtida através do MagmaSoft 5.3.0.

3.4 Condições do ensaio

Com base nos últimos resultados foi decidido avançar com a validação experimental. Todavia, antes de se avançar com as condições de ensaio convém salientar que a partir do momento que foi detetada a discrepância nas áreas dos ataques localizados nos canais de distribuição verticais foi decidido utilizar uma nova ferramenta de machos. Os valores das áreas podem ser consultados nas tabelas 4 e 5 dos anexos.

Na tabela seguinte, número 9, foram estabelecidas três condições: A, B e Série.

A terceira condição, Série, diz respeito não a um lote de ensaio mas à série de peças em produção no dia de ensaio, o qual tem o propósito de servir como comparação com a condição de ensaio A e B.

As modificações realizadas na PM inferior podem ser consultadas nos documentos 1 e 2 em anexo (pedido de alteração da PM inferior), documento 3 também em anexo (pedido para realização de dois lotes de ensaio) e também na figura 31.

Tabela 9 - Condições estabelecidas para os lotes de ensaio A e B em comparação com lotes de série produzidas na data de vazamento de 29 de julho de 2015.				
Condição	Ferramenta machos	Placa-modelo inferior	Temperatura vazamento [°C]	Nº colheres
A	Nova	Com modificação	1410 ± 10	3
B	Nova	Com modificação	1390 ± 10	3
Série	Nova	Sem modificação		-
OBS:	Nº de moldações (ou nº peças vazadas) obtidas em A: 31 (62); Nº de moldações (ou nº peças vazadas) obtidas em B: 33 (66); Nº de moldações (ou nº peças vazadas) obtidas em Série: 570 (1140).			

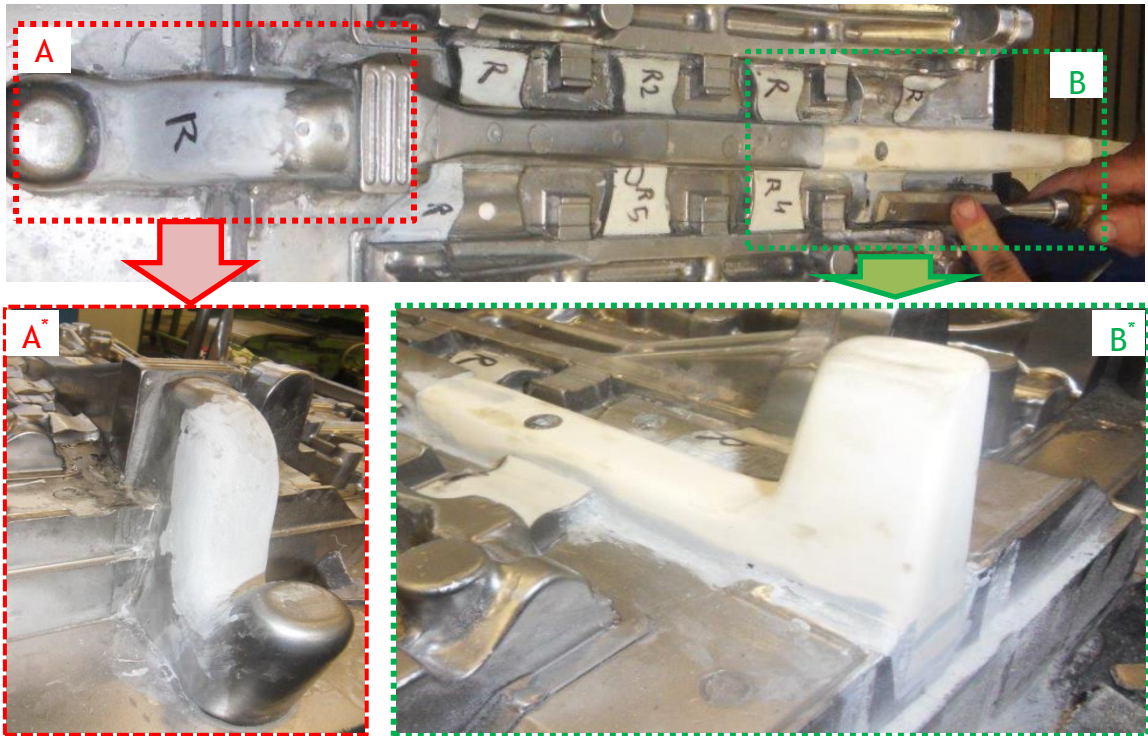


Figura 31 - Alteração da placa modelo inferior - A e A*: vista de cima e respetivo pormenor da alteração - aplicação de espessura na seção característica do sistema de gitagem; B e B*: vista de cima e respetivo pormenor da alteração - aplicação de camada de 1 mm em todos os ataques da PM inferior, aumento da área dos ataques 13 e 20 e prolongamento do canal de distribuição horizontal.

4. Apresentação e discussão dos resultados de validação experimental

Na tabela 10 estão apresentados os resultados quantitativos das peças com defeitos relativo aos ensaios e à série em produção à data do ensaio. Todavia, a figura 32 fornece a mesma informação mas em termos percentuais.

A percentagem de bolhas na condição “B”, vide figura 32, apresenta o valor de 1,52 %. Apesar de ser considerada sucata para efeitos de estudo (certificarmos da real existência de peças com os defeitos em análise) de facto a peça foi recuperada através de determinados processos. Por um lado, podemos considerar que esse valor faz parte dos valores de defeitos porque de facto aparece na peça mas, por outro lado, não deverá ser considerado sucata pois a peça foi recuperada pelo processo já referido. Este mesmo defeito na condição de série apresenta o valor de 0,44 %.

Tipo de sucata	Quantidade de defeitos		
	Ensaio		Série
	A	B	
Bolha	0	1	5
Junta-fria	0	0	4
Areia	1	3	30
Macho partido	0	0	6
Matraqueada	0	0	1
Moldação defeituosa	0	0	1
Quebrada	0	0	3
Rebarba de macho	0	1	0
Número peças sucataadas	1	5	50
Número peças vazadas	62	66	1140

Se compararmos os resultados da condição “A” com a “B”, vide figura 32, verificamos que a primeira condição apresenta melhores resultados. Esta tem a particularidade de não apresentar qualquer dos defeitos em análise, bolhas e junta-fria. Apesar do defeito areia (inclusão não metálica) estar presente neste gráfico e como tal não faz parte do estudo, procurou-se fazer um reparo pois de momento constitui um sério problema.

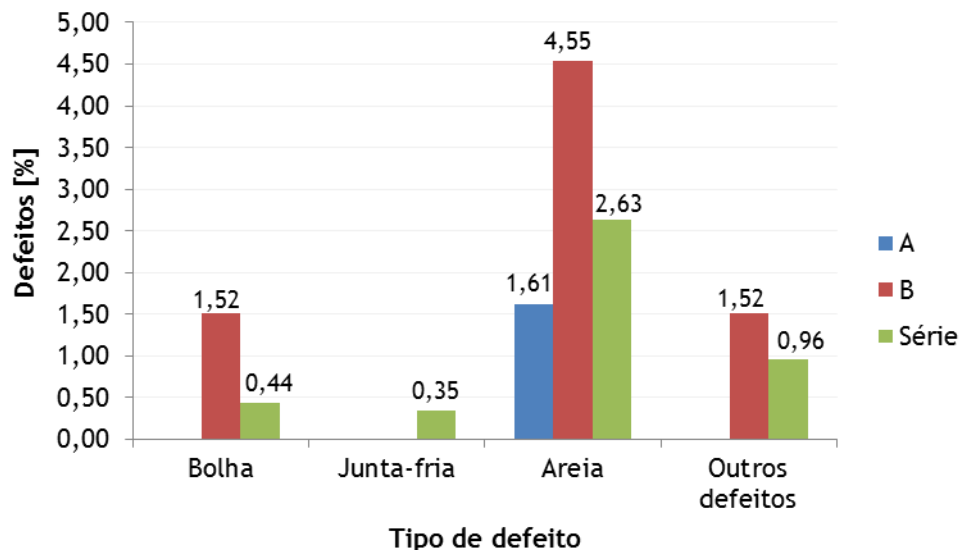


Figura 32 - Valores de sucata resultantes da validação experimental. A, B e Série relativos à data de vazamento de 29 de julho de 2015, vide condições de ensaio na tabela 8.



Figura 33 - Localização do defeito (bolha) no modelo 1 relativo à condição B através de um X de cor vermelha. Imagem obtida através do software PowerShape.

5. Conclusões

Os resultados mostraram que a melhor solução consistiu em:

1. Uniformizar os ataques existentes nos canais de distribuição vertical através do uso de nova ferramenta de machos;
2. Aumentar em vinte pontos percentuais os ataques localizados na placa do modelo inferior;
3. Direcionar o fluxo aumentando a sua área de modo a compensar as restrições impostas pela parede do próprio macho, aproximar a área de seção característica do sistema de gitagem ao valor teórico (determinado através de cálculos);
4. Prolongar o canal de distribuição horizontal de modo a minimizar a turbulência do fluido metálico próximo ao canal de distribuição horizontal;
5. Utilizar uma temperatura de vazamento não muito baixa de modo a minimizar os riscos inerentes a esta situação mormente junta-fria e não muito elevada de modo a evitar ou reduzir as probabilidades do aparecimento de peças com defeitos devido ao destaque de tinta nos machos ou problemas de sinterização quer na macharia quer na areia de moldação e mormente o aparecimento de bolhas nas peças.

6. Sugestões de trabalhos futuros

Seria interessante repetir a condição de ensaio A mas numa quantidade maior, por exemplo 100 moldações, de modo a aumentar a representatividade da amostra e verificar/estudar as causas que estão por trás do defeito de inclusões não metálicas (areias) pois este surge destacado. Também seria interessante parametrizar o Magmasoft de modo a aproximar os resultados deste *software* ao que realmente acontece nas peças fundidas, mormente o aparecimento de defeitos.

7. Referências bibliográficas

- [1] Funfrap - Fundação portuguesa. Teksid Group. 2015. Acedido a 18 de abril de 2015. www.teksid.com/stabil/aveiro.htm;
- [2] APF - Associação Portuguesa de Fundição. 2015. Acedido a 18 de abril de 2015. www.apf.com.pt/ficha_funfrap.html;
- [3] Concessão de Licença Ambiental. 2009. Acedido a 18 de abril de 2015 http://ladigital.apambiente.pt/2.4/Funfrap%20Fundição%20Portuguesa/247_2009%20LA%20FUNFRAP%202.4.pdf;
- [4] Azterlan. 2015. Apontamentos da formação na Azterlan. Centro de investigación metalúrgica - Durango;
- [5] Orlenius et al. 2008. “Gas absorption in grey cast iron during mould filling”. International Journal of Cast Metals Research. Volume 21. Nº 6. pp 427-434;
- [6] Beeley, Peter. 2001. “Defects in castings”. Foundry Technology, 241. Índia: Butterworth Heinemann. 2ª edição;
- [7] Kambayashi, H. e Y. Kurokawa. 2005. “Observation of Defects in Cast Iron Castings by Surface Analysis”. American Foundry Society;
- [8] Ribeiro, Carlos A. S.. 2014. “Fundição”. Apontamentos das aulas da unidade curricular de Fundição do curso de Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. FEUP;
- [9] Brown, John R.. 2000. “Sands and green sand”. Em Ferrous Foundryman`s Handbook. Capítulo 12. Edição 17. Foseco.
- [10] Monroe, R. 2005. “Porosity in castings”. Em AFS Transactions. Volume 113. pp 519-546;
- [11] Naro, R. L.. 1999. “Porosity Defects in Iron Castings from Mold-Metal Interface Reactions”. Em AFS Transactions. Volume 107. pp 839-851;

- [12] Campbell, John. 2006. "Entrainment defects - Materials perspective". Em Castings - The New Metallurgy of Cast Metals. Volume 22. Nº 2. pp 128; 2ª Edição. Editor: n. d.;
- [13] Soares, Gloria de Almeida. 2000. "Fundição - Mercados, Processos e Metalurgia". Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Editor: n. d.;
- [14] Kalpakjian, Serope e Steven R. Schmid. 2009. "Metal - Casting Process and Equipment". Manufacturing Engineering and Technology. Capítulo 11. 6ª edição. Editor: Prentice Hall;
- [15] Roucka, Jaromir et al. 2000. "Limitation of Turbulence". Casting alloy filtration. Capítulo 2. Edição: Czech Foundry Society;
- [16] Ribeiro, Carlos A. S.. 2014. "Sistema de gitação". Apontamentos das aulas da unidade curricular de Projeto do curso de Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. FEUP;
- [17] Rashid, B.. 2013. "Design of Gating System". Department of Materials and Metallurgical Engineering - BUET, Dhaka;
- [18] Brown, John R.. 2000. "Filtration and the running and gating of iron castings". Foseco Ferrous Foundryman`s Handbook. Capítulo 17. Edição 17. Editor: n. d.;
- [19] Ribeiro, Laura. 2014. "Gestão da qualidade". Apontamentos das aulas da unidade curricular de Gestão da Qualidade do curso de Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. FEUP;
- [20] Hildebrand, J. H. and R. H. Lamoreaux. 1976. "Viscosity of metals: An interpretation". Chemistry. Volume 73. Nº 4. pp 988 - 989. Department of Chemistry of California.

8. Anexos

Tabela em Anexos 1 - Cálculo do número de Reynold. Adaptado de [15].

μ [Pa * s ⁻¹]	ρ [Kg * m ⁻³]	P [Kg]	t [s]	V [m * s ⁻¹]	D [m]	Re [**]
$4,9 * 10^{-3}$ ⁽¹⁾	6915,0 ⁽²⁾	145	12,6	0,7	$5,5 * 10^{-2}$	27184

Legenda:

μ : Viscosidade dinâmica ou absoluta;

ρ : Densidade no líquido;

P: peso médio do cacho;

t: tempo médio de vazamento;

V: velocidade de enchimento;

D: Diâmetro do caudal de vazamento; $D \approx m$;

Re: número de Reynold;

** : adimensional;

(1): valor obtido em [20];

(2): Valor obtido nas propriedades do GJL 250 no software MagmaSoft versão 5.3.0.

Quadro 1 - Valores de constantes úteis para a elaboração de gráficos de controlo por variáveis.

n	Gráficos das médias			Gráficos das amplitudes						
	(limites)			(linha central)		(limites)				
	A	A ₂	A ₃	d ₂	1/d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	2,121	1,881	2,659	1,128	0,8865	0,853	0,000	3,686	0,000	3,267
3	1,732	1,023	1,954	1,693	0,5907	0,888	0,000	4,358	0,000	2,574
4	1,500	0,729	1,628	2,059	0,4857	0,880	0,000	4,698	0,000	2,282
5	1,342	0,577	1,427	2,326	0,4299	0,864	0,000	4,918	0,000	2,114
6	1,225	0,483	1,287	2,534	0,3946	0,848	0,000	5,078	0,000	2,004
7	1,134	0,419	1,182	2,704	0,3698	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	1,061	0,373	1,099	2,847	0,3512	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	1,000	0,337	1,032	2,970	0,3367	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	0,949	0,308	0,975	3,078	0,3249	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,905	0,285	0,927	3,173	0,3152	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	0,866	0,266	0,886	3,258	0,3069	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	0,832	0,249	0,850	3,336	0,2998	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	0,802	0,235	0,817	3,407	0,2935	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672
15	0,775	0,223	0,789	3,472	0,2880	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653
16	0,750	0,212	0,763	3,532	0,2831	0,750	1,282	5,782	0,363	1,637
17	0,728	0,203	0,739	3,588	0,2787	0,744	1,356	5,820	0,378	1,622
18	0,707	0,194	0,718	3,640	0,2747	0,739	1,424	5,856	0,391	1,608
19	0,688	0,187	0,698	3,689	0,2711	0,734	1,487	5,891	0,403	1,597
20	0,671	0,180	0,680	3,735	0,2677	0,729	1,549	5,921	0,415	1,585
21	0,655	0,173	0,663	3,778	0,2647	0,724	1,605	5,951	0,425	1,575
22	0,640	0,167	0,647	3,819	0,2618	0,720	1,659	5,979	0,434	1,566
23	0,626	0,162	0,633	3,858	0,2592	0,716	1,710	6,006	0,443	1,557
24	0,612	0,157	0,619	3,895	0,2567	0,712	1,759	6,031	0,451	1,548
25	0,600	0,153	0,606	3,931	0,2544	0,708	1,806	6,056	0,459	1,541

Tabela em Anexos 2 - Constantes que permitem elaborar as cartas de controlo do processo [18].

Tabela em Anexos 3 - Determinação do tempo de vazamento. Adaptado de [17].

V1 [cm ³]	V2 [cm ³]	Contr [%]	ρ [$\frac{g}{cm^3}$]	W [Kg]	t [mm]	R [$\frac{Kg}{s}$]	f	K	R_c [$\frac{Kg}{s}$]	t_ench [s]
13701,00	3738,00	4,25	6,92	125,72	4,00	6,88	0,73	36	10,5	11,9

Legenda:

V1 - Volume das peças;

V2 - Volume do sistema gitagem;

Contr - Contração do metal. Valor em função dos teores de alguns elementos da liga, módulo da peça e da temperatura de vazamento do metal líquido;

ρ - Densidade do metal a vaziar;

W - peso do cacho;

t - espessura crítica do fundido;

R - taxa de vazamento;

f - constante para o tipo de metal a vaziar;

K - variável determinada em função da temperatura de vazamento e do carbono equivalente;

Rc - taxa de vazamento corrigida;

t_ench - tempo de enchimento.

Tabela em Anexos 4 - Estudo comparativo dos ataques. Medidas efetuadas no cacho e medidas realizadas através de software no desenho CAD 3D.

Zona	Medidas		Áreas	
	Reais [mm]	CAD 3D [mm]	Reais [cm^2]	CAD 3D [cm^2]
A				
1	20,10 * 6,90	15,57 * 8,92	1,39	1,39
2	20,70 * 6,40	16,07 * 8,84	1,32	1,42
3	21,80 * 5,25	20,81 * 9,47	1,14	1,97
4	20,20 * 5,40	20,81 * 9,47	1,09	1,97
11	19,20 * 5,90	20,81 * 9,47	1,13	1,97
12	20,10 * 5,85	20,81 * 9,47	1,18	1,97
5	22,00 * 6,20	19,59 * 9,70	1,36	1,90
10	22,30 * 6,30	19,54 * 8,81	1,40	1,72
6	21,70 * 4,95	20,50 * 6,00	1,07	1,23
7	20,20 * 5,20	19,82 * 6,18	1,05	1,22
8	20,40 * 5,10	20,50 * 6,00	1,04	1,23
9	21,40 * 5,10	19,82 * 6,18	1,09	1,22
21	11,20 * 4,00	12,11 * 3,37	0,45	0,41
22	12,20 * 3,70	12,11 * 3,37	0,45	0,41
B				
13	35,00 * 6,00	37,41 * 5,44	2,10	2,04
14	35,00 * 6,00	37,41 * 5,44	2,10	2,04
15	35,00 * 6,00	37,41 * 5,44	2,10	2,04
16	35,00 * 6,00	37,41 * 5,44	2,10	2,04
17	35,00 * 6,00	37,41 * 5,44	2,10	2,04
18	35,00 * 6,00	37,41 * 5,44	2,10	2,04
19	35,00 * 6,00	37,41 * 5,44	2,10	2,04
20	35,00 * 6,00	37,41 * 5,44	2,10	2,04

Legenda:

A - Ataques localizados na ferramenta de machos;

B - Ataques localizados na PM inferior.

Tabela em Anexos 5 - Medidas do desenho CAD 3D relativo aos ataques utilizados nas cinco simulações (S1, S2, S3, S4 e S5).

Zona	S1 [cm^2]	S2 [cm^2]	S3 [cm^2]	S4 [cm^2]	S5 [cm^2]
A					
1	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
2	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
3	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97
4	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97
11	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97
12	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97
5	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
10	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72
6	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
7	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
8	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
9	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
21	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
22	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
B					
13	2,04	2,04	2,94	> 3,65	> 3,65
14	2,04	3,65	3,65	3,65	3,65
15	2,04	3,65	3,65	3,65	3,65
16	2,04	3,65	3,65	3,65	3,65
17	2,04	3,65	3,65	3,65	3,65
18	2,04	3,65	3,65	3,65	3,65
19	2,04	3,65	3,65	3,65	3,65
20	2,04	2,04	2,94	> 3,65	> 3,65

Legenda:

A - Ataques localizados na ferramenta de machos;

B - Ataques localizados na PM inferior

Tabela em Anexos 6 - Alterações relativa aos ataques efetuadas na PM inferior e medidas com as respetivas áreas efetuadas na ferramenta de machos nova.


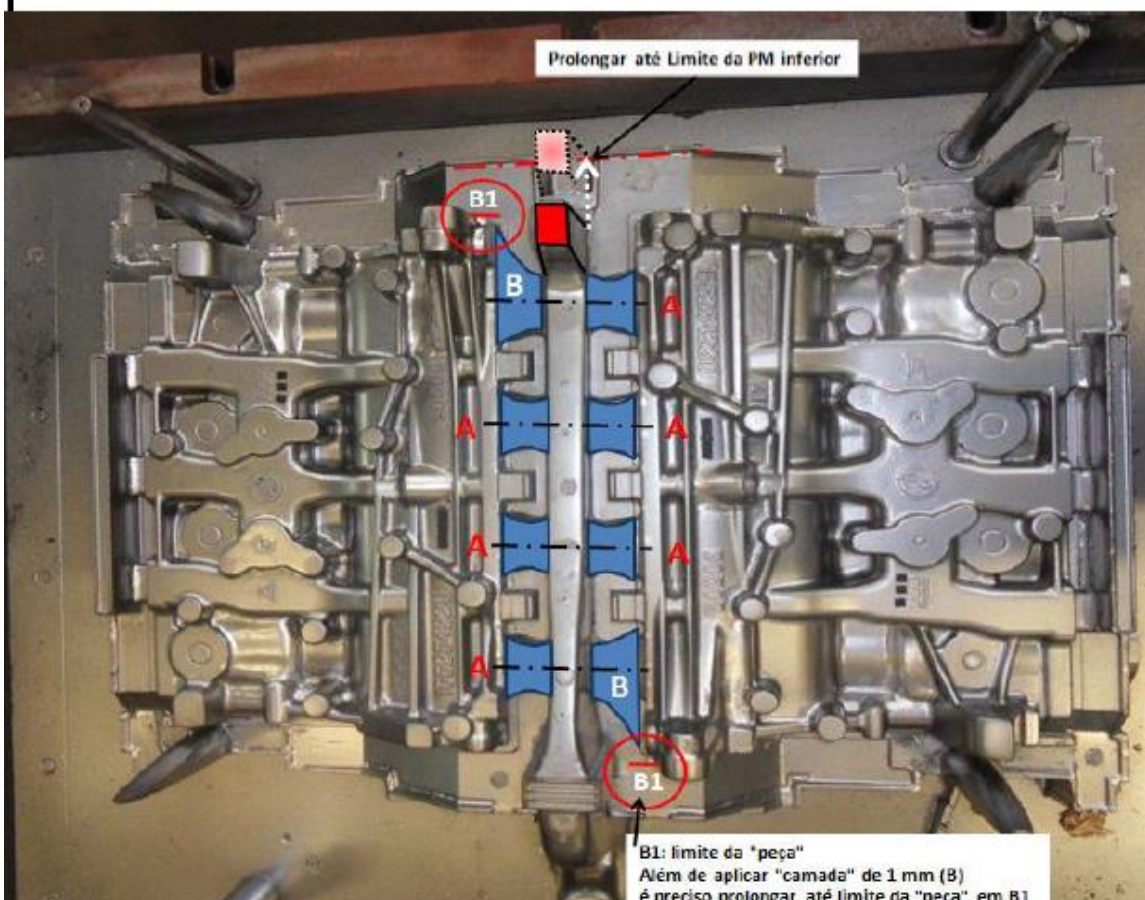
	Medidas Reais [mm]	Areas Reais [cm ²]
A		
1	20,00 * 8,00	1,60
2	20,00 * 8,00	1,60
3	20,00 * 7,00	1,40
4	20,00 * 7,00	1,40
11	20,00 * 7,00	1,40
12	20,00 * 7,00	1,40
5	20,00 * 7,00	1,40
10	20,00 * 7,00	1,40
6	20,00 * 7,00	1,40
7	20,00 * 7,00	1,40
8	20,00 * 7,00	1,40
9	20,00 * 7,00	1,40
21	12,10 * 3,40	0,41
22	12,10 * 3,40	0,41
B		
13	> 3,65	> 3,65
14	48,0 * 7,60	3,65
15	48,0 * 7,60	3,65
16	48,0 * 7,60	3,65
17	48,0 * 7,60	3,65
18	48,0 * 7,60	3,65
19	48,0 * 7,60	3,65
20	> 3,65	> 3,65

Legenda:

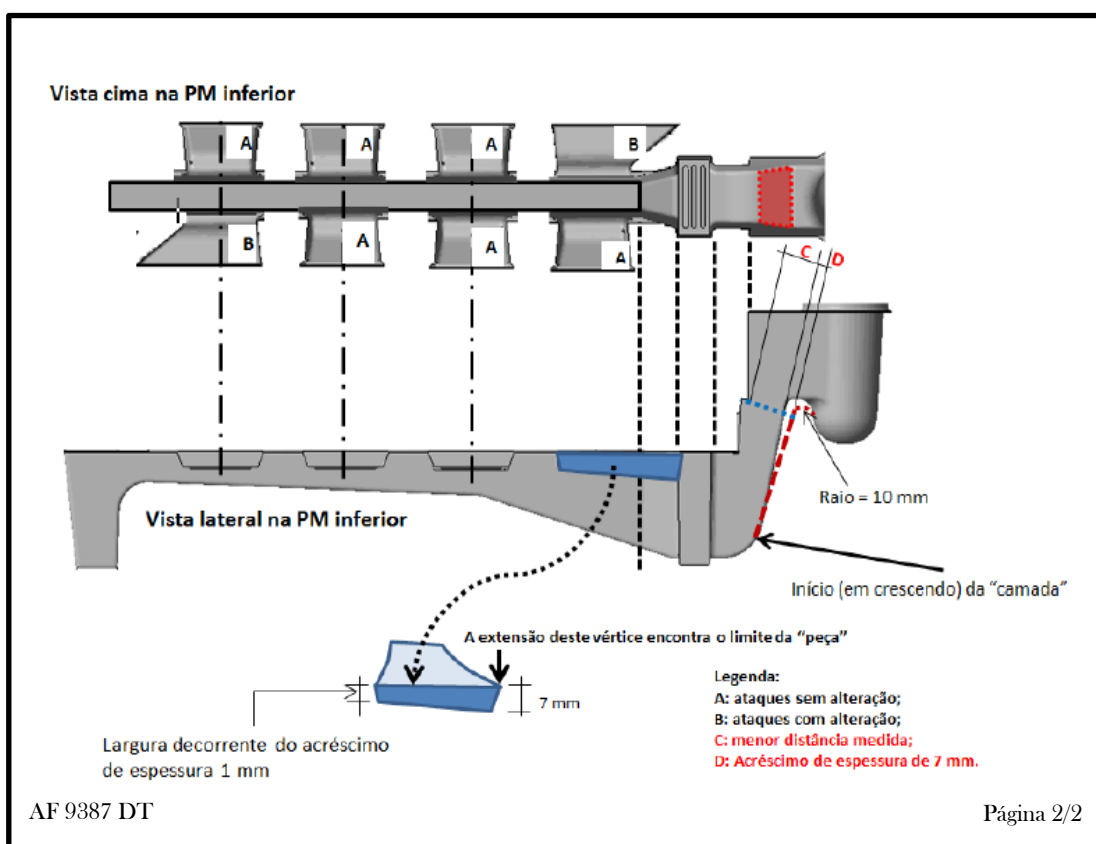
A - Ataques localizados na ferramenta de machos;

B - Ataques localizados na PM inferior


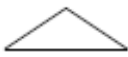
Documento em Anexos 1 - Pedido para efetuar alterações à placa-modelo inferior.
 Parte 1 de 2.

		<h2 style="margin: 0;">PEDIDO DE AFINAÇÃO</h2>		N° Folha: 01/01	
DESIGNAÇÃO DA PEÇA: Carter Cilindro			DESTINO: Resp. de Desenho Resp. de Modelagem		
AFINAÇÃO: DEFINITIVO <input type="checkbox"/> ENSAIO <input checked="" type="checkbox"/> PROVISÓRIO <input type="checkbox"/>			INFO: Direcção Técnica Direcção Qualidade Direcção de Fabricação Direcção Geral		
Controlar as primeiras peças? Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		Finalizado em: _/ _/ _ Ass. Modelagem: _____ Ass. Responsável: _____			
Implicações Ferramenta Corte? Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>					
<u>DEFEITO</u>	Defeito em C23		<u>PRAZO</u>	Proxima DV	
TRABALHOS A EFECTUAR					
Placa modelos inferior					
Aplicar alteração para o LE5449DT					
					
Página 1/2					
RESPONSÁVEL: Victor Santos		BLOQUEAR FERRAMENTA? SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>		DATA: 27/07/2015	

Documento em Anexos 2 - Pedido para efetuar alterações à placa-modelo inferior.
Parte 2 de 2.



Documento em Anexos 3 - Pedido para efetuar dois lotes de ensaio: A e B.

	<p align="center">LOTE DE ENSAIO N°:LE 5449 DT</p>	<p>Destino: DIRECÇÃO TÉCNICA DIRECÇÃO DA QUALIDADE DIRECÇÃO DA FABRICAÇÃO DIRECÇÃO GERAL</p> <p>Chefes de UET: UET Q1 – (Laboratório) UET Q2 – (Metrologia) UET Q3 – (Audit. Produto)</p> <p>CTP MACHARIA CTP MOLDAÇÃO CTP FUSÃO CTP ACABAMENTOS MODELAGEM</p>
<p>DESIGNAÇÃO DA PEÇA: <u>Carter Cilindros</u></p>		
<p>FINALIDADE: Ensaiar sistema de vazamento alterado AF9387DT com variação da temperatura de início de vazamento, T=1410°C a 1390 °C</p>		
<p>MEIOS A UTILIZAR: Placa molde n° 1 N° MOLDAÇÕES: <u>64</u> COMPOSTAGEM: SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/></p>		
Modelagem	Efectuar AF 9387DT	
Macharia	- Série	
Moldação	<p>Para 3 primeiras colheres, Lote "A", 31 moldações - Marcar as moldações com Axx (xx hora de produção)</p>	
Fusão	<p>Para as 3 seguintes colheres, Lote "B", 33 moldações - Marcar as moldações com Bxx (xx hora de produção) Retirar alteração AF9387DT</p>	
Acabamento	<p>Para 3 primeiras colheres, Lote "A", 31 moldações - Temperatura início de vazamento T=1410 ± 10 °C - Registrar tempos de vazamento a 2 colheres Para 3 seguintes primeiras colheres, Lote "B", 33 moldações - Temperatura início de vazamento T=1390 ± 10 °C - Registrar tempos de vazamento a 2 colheres - Restantes parâmetros de série</p>	
Qualidade	- Registrar a sucata com as horas de produção	
Métodos	- Série	
	- Seguimento do ensaio	
 Secção responsável da execução	DV 28/07/15	