



M 2019

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO DE MACHOS NA SAKTHI PORTUGAL

PATRÍCIA ALEXANDRA XAVIER LOPES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM 24 DE JUNHO DE 2019

ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS

<i>CANDIDATO</i>	Patrícia Alexandra Xavier Lopes		Código 201406074
<i>TÍTULO</i>	Otimização do processo de fabrico de machos na SAKTHI Portugal		
<i>DATA</i>	24 de julho de 2019		
<i>LOCAL</i>	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Sala F106 DEMM - 09:00h		
<i>JÚRI</i>	Presidente	Professora Laura Maria Melo Ribeiro	DEMM/FEUP
	Arguente	Professor Rui Jorge de Lemos Neto	DEMec/FEUP
	Orientador	Professor Luís Filipe Malheiros de Freitas Ferreira	DEMM/FEUP

Agradecimentos

Gostaria primeiro de agradecer aos meus orientadores: ao professor Luís Filipe Malheiros e ao Engº Marco Cardoso por toda a disponibilidade e orientação durante a realização desta dissertação.

À SAKTHI Portugal, ao Sr. Secundino e a todos os trabalhadores do setor da macharia, por toda a ajuda e conhecimento que me transmitiram. Aos trabalhadores do laboratório pela ajuda na realização dos ensaios.

Ao CINFU, particularmente ao Engº Fernando Barbosa, por toda a disponibilidade demonstrada.

Aos docentes do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelos ensinamentos nestes últimos cinco anos.

Aos colegas do curso e aos meus amigos pelo apoio, partilha e amizade nesta fase importante da minha vida.

Por fim, mas o mais importante, gostaria especialmente de agradecer à minha família pelo amor, apoio e constante encorajamento que obtive ao longo deste tempo, por me permitir a realização deste caminho. Em particular, gostaria de agradecer ao meu namorado Bruno Silveira por todo o apoio e encorajamento não só durante o período desta dissertação, mas durante a realização do curso.

Resumo

O macho é um componente de extrema importância numa moldação, com grande impacto na qualidade do fundido. As suas dimensões têm que apresentar elevada precisão e a sua resistência mecânica deverá ser suficientemente elevada de modo a evitar deformações durante o processo de fundição.

O objetivo desta dissertação prende-se com o estudo da influência da fração de finos da areia, do tempo de mistura dos componentes e dos parâmetros do processo do seu fabrico na resistência mecânica dos machos produzidos na empresa SAKTHI Portugal, tendo por objetivo a otimização do processo. O estudo incidiu sobre o processo de caixa fria, os parâmetros inerentes ao processo e componentes utilizados, nomeadamente a areia, o sistema de ligantes e o catalisador, e respetivas propriedades.

Foram controlados diversos parâmetros, tendo-se começado pela distribuição granulométrica da areia, em que se registou uma variação elevada do seu valor e da fração de finos ao longo do tempo. Concluiu-se que, para um índice de finura AFS mais baixo e com uma baixa fração de finos, se produzem machos com resistência mais elevada. Em relação ao tempo de mistura, conseguiu-se uma redução de 25% para *batches* de 50 kg e de 22,2% para *batches* de 100 kg, sem perda de propriedades dos machos produzidos. No que se refere aos parâmetros analisados (fração de resina, temperatura da amina, tempo de gaseamento e tempo de cura), pode-se concluir que a utilização da amina pré-aquecida se restringe a alguns tipos de caixa de machos. Foi conseguida uma otimização do processo para algumas referências, nomeadamente uma redução média dos consumos específicos de resina (11,4%) e de amina (28,8%), e da duração de cada ciclo (9,1%).

Palavras-chave

Cold box; Areia de macho; Ligante; Índice AFS; Ensaio de flexão; Resina fenólica/amina

Abstract

The core is an extremely important component of a mould due to its great influence in the quality of the castings. Its dimensions have to be very precise and the mechanical resistance high so that it does not suffer distortions during the casting process.

The objective of this dissertation is to study the influence of the fraction of fines in the sand batch, the mixing time and the processing parameters on the mechanical strength of the core produced in SAKTHI Portugal, aiming for the optimization of the process. The cold box process, its inherent parameters and the components used, namely the sand, the binder system and the catalyst, as well as their properties, have been deeply revised.

In this process, several parameters were controlled, starting by the granulometric distribution of the sand, with a high variation of this distribution and the fraction of fines over time. It was concluded that, for a finer AFS fineness index and a low fraction of fines, cores with higher strength are produced. Concerning the mixing time, a reduction of the mixing time was achieved in 25% for batches of 50 kg and 22,2% for batches of 100 kg, without loss of properties of the cores produced. Regarding the analysed parameters (resin fraction, amine temperature, gassing time and curing time), it can be concluded that the use of pre-heated amine is limited to some types of core box. Process optimization was achieved for some references, with an average reduction of the specific consumption of resin (11.4%) and amine (28.8%), and the duration of each cycle (9.1%).

Keywords

Cold box; core sand; binders; AFS index; bending test; phenolic urethane

Índice

1.	Introdução	1
2.	A empresa	2
3.	Fabrico de machos	3
3.1.	História do processo de caixa fria.....	4
3.2.	Mistura	4
3.3.	Enchimento da caixa de machos/Compactação.....	5
3.4.	Processo de presa por gás	5
3.5.	Parâmetros do processo de presa por gás	7
3.5.1.	Pressão de injeção	7
3.5.2.	Pressão de cura.....	7
3.5.3.	Tempo de disparo	7
3.5.4.	Tempo de gaseamento	7
3.5.5.	Tempo de cura.....	8
3.5.6.	Tempo de bancada.....	8
3.5.7.	Tempo de armazenamento	8
3.6.	Resistência mecânica dos machos	8
3.6.1.	Ensaio de flexão	10
3.7.	Componentes para o fabrico dos machos	11
3.7.1.	Areias	11
3.7.1.1.	Parâmetros a controlar na areia	12
3.7.1.1.1.	Humidade	12
3.7.1.1.2.	Impurezas	12
3.7.1.1.3.	pH	13
3.7.1.1.4.	Forma dos grãos das areias de macho	13
3.7.1.1.5.	Análise granulométrica das areias de macho	14
3.7.1.1.6.	Índice de finura AFS	15
3.7.1.1.7.	Temperatura da areia	16
3.7.2.	Ligantes.....	17
3.7.2.1.	Sistema fenólico-uretano	17
3.7.2.2.	Influência da fração de ligante	20
3.7.3.	Catalisadores	20
3.7.4.	Aditivos	21

3.7.5.	Acabamento dos machos	21
3.7.5.1.	Revestimento dos machos	21
4.	Matérias Primas.....	22
4.1.	Areia.....	22
4.2.	Ligantes	23
4.3.	Catalisador	23
5.	Metodologia Experimental	23
5.1.	Ensaio Laboratoriais.....	23
5.1.1.	Análise Granulométrica	23
5.1.2.	Durezas	24
5.1.3.	Ensaio de Flexão	25
5.2.	Ensaio Industriais.....	25
5.2.1.	Modificação dos parâmetros da disparadora de machos	26
5.2.2.	Modificação dos tempos de mistura	26
6.	Resultados Experimentais e Discussão	27
6.1.	Análise granulométrica	27
6.2.	Evolução da dureza dos machos ao longo do tempo	31
6.3.	Influência da temperatura da amina	32
6.3.1.	Caixas de machos verticais	33
6.3.1.1.	Referência A	33
6.3.1.2.	Referência B	34
6.3.2.	Caixas de machos horizontais	34
6.3.2.1.	Referência C	34
6.4.	Variação dos parâmetros de fabrico.....	35
6.4.1.	Referência A	35
6.4.2.	Referência B	38
6.4.3.	Referência C	40
6.4.4.	Referência F	43
6.4.5.	Referência G	45
6.5.	Efeito da pressão de injeção da mistura e da pressão de cura	47
6.6.	Ensaio de flexão	48
6.7.	Tempo de mistura	51
6.8.	Defeitos de machos	53

7.	Conclusões e Trabalhos Futuros	57
7.1.	Conclusões.....	57
7.2.	Trabalhos Futuros	59
8.	Referências Bibliográficas.....	60
	Anexos	62
1.	Manual de procedimentos do laboratório	62
1.1.	Standardized Work: Distribuição Granulométrica	62
1.2.	Standardized Work: Dureza de Machos.....	63
2.	Caracterização das matérias-primas - Fichas técnicas.....	64
2.1.	Isocure 328 Plus/628 Plus	64
2.2.	Isocure 702	66
2.3.	Areia de sílica	68
3.	Resultados da análise granulométrica.....	69

Índice de Figuras

Figura 1 - Esquema do vazamento de uma moldação que engloba um macho. Adaptado de [3].	1
Figura 2 - Unidades fabris da Sakthi Portugal: (esquerda), na Maia; (direita) SP21, em Águeda [4, 5].	2
Figura 3 - Layout da macharia da SAKTHI Portugal (Maia).	3
Figura 4 - Esquema de um misturador de pás [8].	5
Figura 5 - Diferentes etapas do processo de presa por gás. Adaptado de [7].	6
Figura 6 - Rigidez das amostras de machos, 24 h após endurecimento, produzidas com areia de quartzo e sistema de ligante fenólico-uretano [14].	9
Figura 7 - Resistência à flexão das amostras de macho, 24 h após endurecimento, produzidas com areia de quartzo e sistema de ligante fenólico-uretano [14].	10
Figura 8 - Ensaio de flexão em três pontos numa amostra de macho, segundo a norma alemã [13].	10
Figura 9 - Influência do teor de humidade da areia na resistência à flexão de machos, utilizando o sistema fenólico-uretano [10].	12
Figura 10 - Esboços dos grãos de areia segundo os parâmetros de classificação: forma e grau de esfericidade. Adaptado de [19].	13
Figura 11 - Classificação da superfície dos grãos de areia de machos [8].	14
Figura 12 - Agitador de peneiros (à esquerda) e peneiros (à direita) para a análise granulométrica das areias.	15
Figura 13 - Superfície específica dos grãos de uma areia em função do índice de finura AFS e a sua forma, caracterizada através do parâmetro “K” (esférica: K=1; arredondada: K=1,2-1,4; angular: K>1,4) [10].	16
Figura 14 - Representação esquemática da reação de cura do sistema resina fenólica-uretano/amina. Adaptado de [20].	18
Figura 15 - Representação esquemática da reação da água com o poliisocianato [10].	19
Figura 16 - Morfologia do filme de ligante de poliuretano nos grãos de sílica [21].	19
Figura 17 - Fórmula estrutural de uma amina terciária [22].	20
Figura 18 - Corte transversal da superfície do macho com revestimento de duas camadas [25].	22
Figura 19 - a) Durómetro utilizado na determinação da dureza dos machos; b e c) um dos machos que foi alvo de ensaio de dureza.	24
Figura 20 - a) Provete em areia de machos; b e c) equipamento de ensaio à flexão.	25
Figura 21 - Índice de finura AFS das diversas amostras de areia (as linhas vermelhas representam os limites estabelecidos pela empresa (57 e 64 AFS)).	27
Figura 22 - Fração de finos das diversas amostras de areia (a linha vermelha representa o limite estabelecido pela empresa (0,2%)).	28
Figura 23 - Certificado entregue pelo fornecedor de areia e resultados obtidos pelo laboratório para o lote da semana 14.	29

Figura 24 - Comparação entre a distribuição granulométrica dos ensaios 15, 16, 17 e a apresentada pelo fornecedor da areia relativamente ao lote da semana 14..	30
Figura 25 - Correlação entre o índice de finura AFS, a fração de finos e a dureza do macho, mantendo os parâmetros de fabrico constantes para uma mesma referência. ..	31
Figura 26 - Evolução da dureza dos machos (referências A, B, C e D) ao longo do tempo após o seu fabrico.	32
Figura 27 - Evolução da dureza do macho em função da temperatura de pré-aquecimento da amina	33
Figura 28 - a) Caixa de machos vertical da referência A, com os machos colocados todos ao mesmo nível; b) e c) macho da referência A.....	33
Figura 29 - a) Caixa de machos vertical da referência B com machos a diferentes níveis; b) à esquerda, macho partido no canhão por excesso de amina e, à direita, macho padrão; c) macho onde se registou deficiência de amina.....	34
Figura 30 - Caixa de machos horizontal e machos da referência C.	35
Figura 31 - Procedimento de fabrico de machos da referência A.....	36
Figura 32 - Variação da dureza de machos da referência A para diferentes condições de teste (as duas linhas vermelhas estabelecem os limites especificados: 2-4,5 mm). ..	37
Figura 33 - Componente obtido no ensaio, em que foram utilizados machos da referência A produzidos segundo a condição 15.	38
Figura 34 - Procedimento de fabrico de machos da referência B.	39
Figura 35 - Variação da dureza em diferentes condições de teste para a referência B (são apresentadas duas linhas vermelhas que estabelecem os limites especificado (3-5,5 mm)).	40
Figura 36 - Método de fabrico da referência C.	41
Figura 37 - Variação da dureza em diferentes condições de teste para a referência C (são apresentadas duas linhas vermelhas que estabelecem os limites especificado (3-5,5 mm)).	42
Figura 38 - Método de fabrico da referência F.....	43
Figura 39 - Variação da dureza em diferentes condições de teste para a referência F (são apresentadas duas linhas vermelhas que estabelecem os limites especificado (3-5,5 mm)).	44
Figura 40 - Método de fabrico da referência G.	45
Figura 41 - Variação da dureza em diferentes condições de teste para a referência G (são apresentadas duas linhas vermelhas que estabelecem os limites especificado (3-5,5 mm)).	46
Figura 42 - Machos da referência E, produzidos para uma pressão de injeção da mistura de: a) 4 kg/cm ² ; b) 2 kg/cm ² ; em c) é visível o defeito associado à má compactação na zona da janela.	47
Figura 43 - Macho produzido para uma elevada pressão de cura.	48
Figura 44 - Método de fabrico da referência H.	49
Figura 45 - Referência H: a e b) Caixa de machos; c) macho e d) provete para ensaio de flexão.	49

Figura 46 - Equipamento para o ensaio de flexão (à esquerda), e provetes após rotura (à direita).	50
Figura 47 - Variação da resistência à flexão em função de: a) tempo de gaseamento; b) tempo de cura; c) fração de resina; d) temperatura da amina.	51
Figura 48 - Resultados da dureza e da resistência à flexão na variação do tempo de mistura num <i>batch</i> de 50 kg de areia e 1,8% de resina.	52
Figura 49 - Resultados da dureza com a variação do tempo de mistura para <i>batch</i> de 100 kg de areia e 1,8% de resina.	52
Figura 50 - a) Má compactação do macho; b) macho com boa compactação após a adição de filtros à caixa de machos.	53
Figura 51 - Macho produzido com a extração desafinada; a) e b) macho da referência B com falta de material; c) peça da referência B com defeito devido à falta de material no macho; d) macho da referência A com excesso de material.	54
Figura 52 - a) Má compactação do macho da referência B; b) defeito provocado na peça.	54
Figura 53 - Defeito no macho provocado por sujidade, pelo próprio processo, acumulada na caixa de machos.	55
Figura 54 - Má compactação de diferentes machos, devido à falta de escape de ar da caixa de machos.	55
Figura 55 - Macho produzido com areia que não foi misturada nas devidas condições.	56

Índice de tabelas

Tabela 1 - Especificação de receção de matérias primas para a areia de sílica nova	22
Tabela 2 - Características do Isocure 328 Plus e do Isocure 628 Plus.....	23
Tabela 3 - Características do Isocure 702 (amina)	23
Tabela 4 - Amostragem da areia nova.....	24
Tabela 5 - Condições testadas para o fabrico de machos da referência A (parâmetros alterados com base no método de tentativa e erro).....	36
Tabela 6 - Condições testadas para o fabrico de machos da referência B (parâmetros alterados com base no método de tentativa e erro).....	39
Tabela 7 - Condições testadas para o fabrico de machos da referência C (parâmetros alterados com base no método de tentativa e erro).....	42
Tabela 8 - Condições testadas para o fabrico de machos da referência F (parâmetros alterados com base no método de tentativa e erro).....	44
Tabela 9 - Condições testadas para o fabrico de machos da referência A (parâmetros alterados com base no método de tentativa e erro).....	46

Glossário

AFS — *American Foundrymen's Society*

AFS — Índice de finura

DMEA — Dimetiletilamina

DMIA — Dimetil-isopropilamina

DMPA — Dimetilpropilamina

TEA — Trietilamina

1. Introdução

Os machos, que são componentes colocados no interior da moldação (Figura 1), permitem a produção de peças complexas ou que apresentam cavidades internas; são constituídos por grãos de areias ligados por uma resina [1, 2]. A utilização de machos permite uma redução do recurso a maquinagem da peça final bem como a produção de peças que, de outra forma, seria impossível.

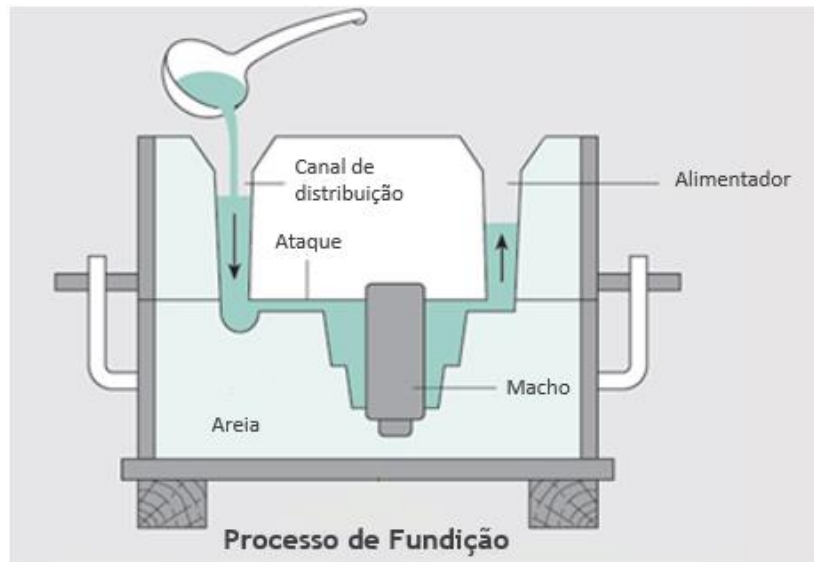


Figura 1 - Esquema do vazamento de uma moldação que engloba um macho. Adaptado de [3].

Os machos são componentes de extrema importância tendo que apresentar resistência mecânica suficiente para serem manuseados, bem como elevada resistência à erosão e à deformação, de modo a poderem suportar os esforços a que são sujeitos durante o vazamento e solidificação do metal. Devem também possuir elevada estabilidade térmica e dimensional. Por outro lado, devem apresentar uma colapsibilidade adequada para permitir a sua remoção do fundido durante o abate da moldação.

A SAKTHI Portugal pretende estudar a influência da fração de finos, do tempo de mistura e do pré-aquecimento da amina na resistência mecânica dos machos produzidos nas suas instalações fabris. Pretende também otimizar a quantidade de amina e de resinas utilizadas. Estas questões prendem-se com o controlo da qualidade dos machos fabricados, o aumento da produtividade, recorrendo à diminuição do ciclo de produção, e a redução dos custos de produção.

2. A empresa

A SAKTHI Portugal S.A. é uma empresa de fundição que produz componentes de segurança crítica para a indústria automóvel em ferro fundido nodular, nomeadamente: travões, caixas diferenciais, suspensões e juntas de direção. A SAKTHI Portugal possui duas unidades fabris: uma situada na cidade da Maia e outra no município de Águeda (Figura 2). Possui também uma unidade fabril de maquinagem, situada na Trofa.

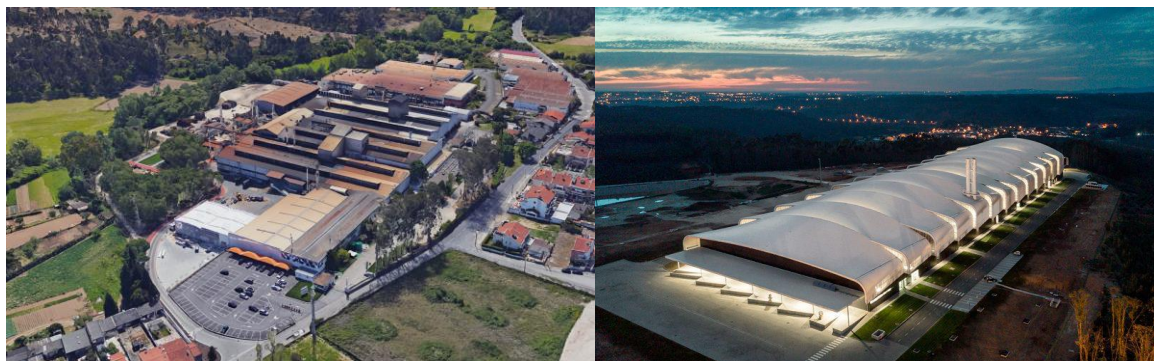


Figura 2 - Unidades fabris da Sakthi Portugal: (esquerda), na Maia; (direita) SP21, em Águeda [4, 5].

A unidade fabril da Maia compreende diferentes setores, nomeadamente: a fusão, a moldação (quatro linhas), os acabamentos, o revestimento de peças, os periféricos (circuito de areia) e a macharia. Possui também o setor de serralharia responsável pela manutenção e alteração das placas molde e das caixas de machos.

O setor da macharia dispõe de seis disparadoras de machos que operam segundo o processo de fabrico por presa a frio, com o sistema de resina fenólica-uretano, usando amina como catalisador. Na Figura 3 está representado o *layout* da macharia, encontrando-se as disparadoras dispostas em linha. O setor da macharia possui dois silos de areia nova de 60 toneladas, situados no exterior da nave fabril. A areia é enviada, recorrendo a ar comprimido (a uma pressão de 4 bar), para um silo interior de 7 toneladas, que se situa por cima da misturadora. Sempre que uma das disparadoras solicita uma carga de areia, as quantidades de areia e de resina, constantes do programa do equipamento, são introduzidas na misturadora e misturadas durante um tempo previamente estipulado. No final desta operação, a mistura é descarregada para um carro de transporte que a leva para a disparadora que pediu a carga.

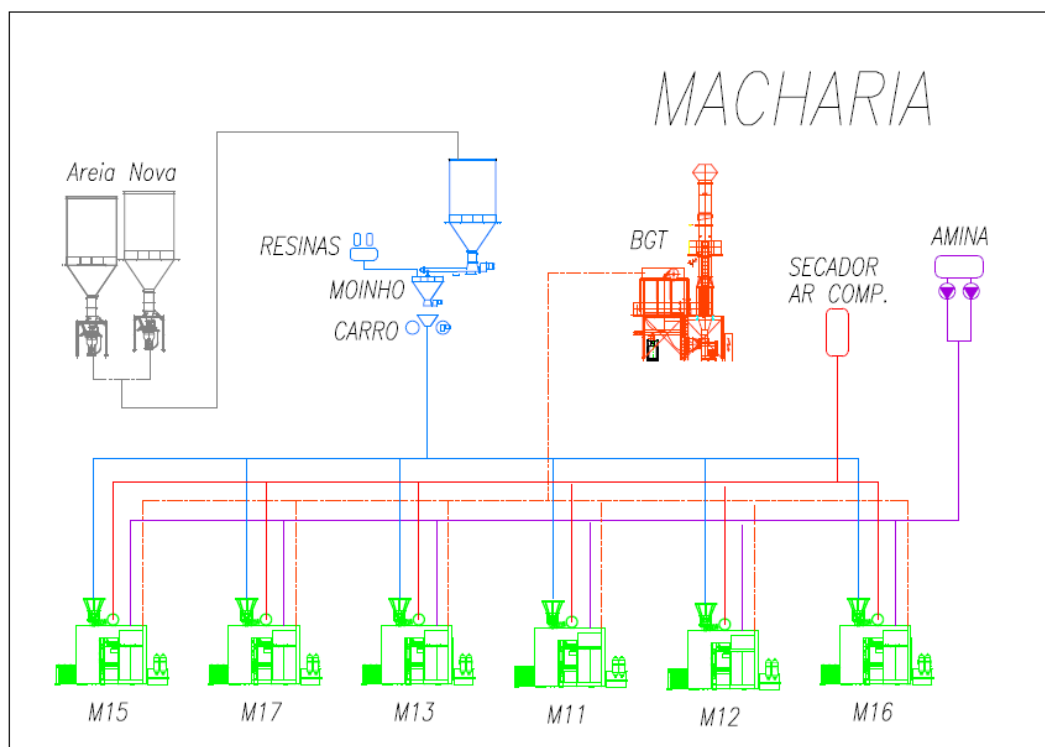


Figura 3 - Layout da macharia da SAKTHI Portugal (Maia).

Durante o fabrico de machos, o excesso de amina recolhida é conduzido, através de um sistema de exaustão, para um banho ácido de modo a neutralizá-la. Na Figura 3 está representada por BGT (empresa que produz este tipo de unidades) uma unidade de limpeza de ar de exaustão para macharia que trabalha com o processo *Cold-Box*. Esta unidade utiliza ácido sulfúrico (H_2SO_4) que reage com a amina formando um sal de sulfato de amina [6]. O setor da macharia apresenta uma taxa de refugo média de aproximadamente 2%.

3. Fabrico de machos

O fabrico de machos pode ser realizado através de diferentes processos, que são classificados segundo o método de cura (polimerização) e o tipo de ligante utilizados. Estes processos compreendem: a presa a frio (*cold setting*), a presa a quente (*hot box*) e a presa por gás (caixa fria - *cold box*) [7].

O metal a vazar, a reatividade dos ligantes com a areia e com o metal e a quantidade de machos a produzir (produtividade) são parâmetros que devem ser tidos em conta aquando da escolha do processo de fabrico de machos [7].

A utilização destes processos implica o recurso a uma caixa de machos que apresenta uma ou várias cavidades moldantes, com a forma do macho desejado. A caixa de machos pode ser fabricada em metal, polímero ou madeira. Dependendo da complexidade dos machos, as caixas podem compreender diversos componentes, tais como, por exemplo, postigos que permitem a criação de canais nos machos. É necessário ter em atenção os problemas de desmoldação dos machos das caixas de macho pois os

ligantes são líquidos viscosos. De modo a minimizar este problema, utilizam-se agentes desmoldantes e/ou extratores para ajudar a desmoldar os machos. Os agentes desmoldantes podem ser adicionados à mistura de areia, durante a sua preparação, ou pulverizados sobre as paredes da caixa de machos imediatamente antes da injeção da mistura. Estes agentes têm que ser quimicamente compatíveis com o ligante. Para minimizar o problema da desmoldação, a caixa de machos deve apresentar uma boa qualidade superficial pois, caso contrário, por mais eficaz que seja o agente desmoldante, não consegue combater a rugosidade da caixa de machos [7, 8]. As caixas de machos devem também apresentar canais (por onde se realiza a insuflação de areia e do catalisador), respiros, filtros e sistemas de extração. A utilização de um canal para injeção de areia o mais largo possível permite que a mistura seja injetada na caixa de machos a uma pressão menor, aumentando assim a duração da caixa devido ao seu menor desgaste. Permite ainda reduzir a acumulação de ligante abaixo da zona de injeção bem como o consumo específico de catalisador. Em relação aos filtros, tem que se ter em consideração que a caixa de machos enche de baixo para cima; logo, para assegurar uma boa compactação, devem-se colocar filtros na parte superior da caixa. No entanto, um número excessivo de filtros na parte superior da caixa faz com que haja fuga de catalisador nesta zona; assim, deve estabelecer-se um compromisso entre uma boa compactação e o menor consumo de catalisador [8].

O processo de caixa fria consiste na mistura dos grãos de areia com ligantes orgânicos cuja cura se processa pelo recurso à injeção de amina. O processo de produção de machos consiste na mistura da areia com os ligantes, seguida da compactação no interior da caixa de machos, consequente catalisação e cura do macho e por fim a extração.

3.1. História do processo de caixa fria

O processo caixa fria surgiu em 1968, na sequência dos trabalhos de Larry Toriello e Janis Robins, e foi introduzida pela Ashland Chemical Co. para a produção de machos em série. O processo de caixa fria permitiu a produção em massa de machos com elevada qualidade [2].

3.2. Mistura

Para a produção dos machos, inicialmente é necessário misturar a areia, o ligante e os aditivos de forma a que a areia fique revestida com a resina e se obtenha uma mistura homogénea e com propriedades uniformes. A mistura é remexida, por recurso a um misturador de pás ou a movimentos vibratórios, durante um período compreendido entre 20 segundos e 5 minutos (tempo de mistura) [7, 8]. Na SAKTHI Portugal, a mistura é remexida com recurso a um misturador de pás, do tipo do representado na Figura 4. A mistura é impelida contra as paredes da misturadora pelo movimento rotativo das pás, pelo que as camadas de mistura são forçadas a subir ao longo das paredes da misturadora até que caem novamente em direção ao seu centro.

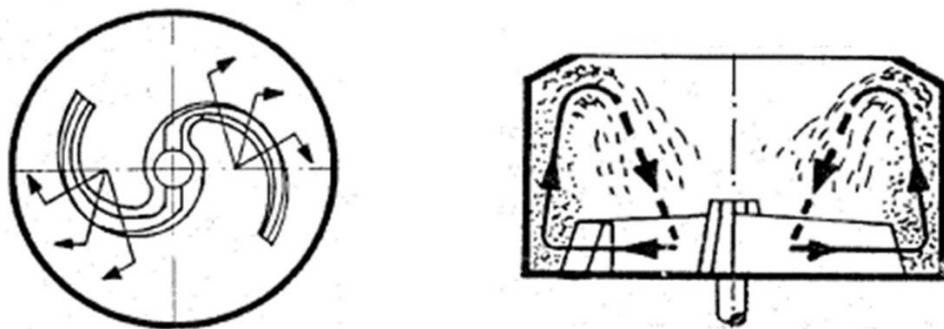


Figura 4 - Esquema de um misturador de pás [8].

Uma vez preparada, a mistura é então transferida para um carro de transporte que faz a descarga sobre a disparadora de machos.

O controlo do tempo de mistura da areia com o ligante reveste-se de capital importância para o processo. Um tempo de mistura excessivo encurta o tempo de bancada da mistura e pode originar uma mistura seca e com grumos, que não pode ser utilizada. Assim, quanto menor for o tempo de mistura, que consiga assegurar uma boa dispersão dos componentes, melhor as propriedades dos machos obtidos [9].

3.3. Enchimento da caixa de machos/Compactação

O enchimento da caixa de machos e a compactação da areia ocorrem praticamente em simultâneo visto que a areia (transportada por ar seco) é insuflada sob pressão na caixa.

Os machos devem ser suficientemente densos de modo a assegurar uma boa ligação entre os grãos de areia, prevenindo assim a penetração do metal aquando do seu vazamento. O grau de compactação a ser aplicado depende do tipo de ligante, do tamanho e forma do macho. Assim, a fim de assegurar uma boa compactação da mistura, temos que ter em atenção a pressão de injeção, a localização dos respiros e os filtros da caixa de machos. Uma baixa compactação, induzida por utilização de uma pressão de injeção baixa ou pela deficiente localização/número de respiros (que faz com que o ar fique aprisionado no interior da caixa de machos), origina machos pouco densos. Assim, poderá assistir-se à penetração do metal vazado, originando um defeito no fundido. No caso de uma elevada compactação, a areia apresentará baixa permeabilidade, podendo o macho não ficar bem curado devido à deficiente penetração do agente de cura [7].

3.4. Processo de presa por gás

No processo de presa por gás, é utilizado um gás que cura o ligante, à temperatura ambiente. Este é injetado na caixa de machos e é forçado a atravessar a mistura areia-ligante que se encontra dentro da caixa de machos. Trata-se de uma polimerização ativada por um gás, onde a cura do ligante é quase instantânea, permitindo obter machos com elevada tolerância dimensional [7].

Na Figura 5 encontram-se representadas as etapas do processo de presa por gás. Inicialmente, é injetada a mistura de areia + ligante na caixa de machos (Figura 5 (a)).

Posteriormente, procede-se à insuflação do catalisador (Figura 5 (b)), seguida de purga com ar, que distribui o catalisador por todo o macho e remove o seu excesso da caixa de machos (Figura 5 (c)); por último, dá-se a desmoldação do macho (Figura 5 (d)) [7, 9].

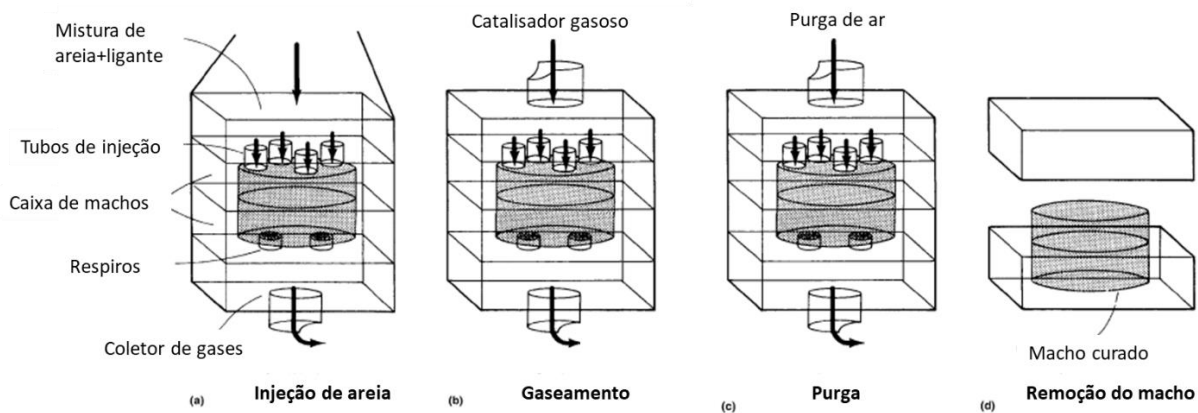


Figura 5 - Diferentes etapas do processo de presa por gás. Adaptado de [7].

A distribuição uniforme do catalisador por toda a mistura de areia é essencial para que a cura ocorra em todas as zonas do macho. Assim sendo, há que ter muita atenção ao projeto da caixa de machos, com particular relevância para a localização dos respiros (*vents*) para a saída do gás [10]. A sua localização vai afetar os tempos de gaseamento e de cura assim como a pressão de injeção utilizada durante o fabrico do macho.

O processo de presa por gás apresenta as seguintes vantagens em relação aos outros processos [8, 10]:

- Elevada fluidez da mistura, e daí um menor consumo de energia para promover a compactação;
- Baixa pressão de compactação;
- Os machos podem ser utilizados logo após a sua desmoldação pois já apresentam elevada resistência mecânica (tempo de cura diminuto);
- Possibilidade de fabricar machos com geometria bastante complexa;
- Elevada produtividade;
- Elevada precisão dimensional;
- Elevada colapsibilidade dos machos produzidos.

Relativamente às desvantagens, há a considerar [8, 10]:

- Elevado custo das resinas e catalisadores;
- Necessidade de controlo rigoroso da qualidade da areia;
- Necessidade de controlo da temperatura da areia;
- Tempo de armazenamento curto (elevada higroscopia da mistura);
- Custo do sistema de injeção e de purga do catalisador;
- A caixa de machos deve ser metálica devido ao desgaste provocado pela injeção de areia;

- Ambiente de trabalho necessita de ser arejado e com sistema de exaustão, devido ao intenso odor do catalisador;
- Custo das caixas de machos.

3.5. Parâmetros do processo de presa por gás

3.5.1. Pressão de injeção

A pressão de injeção é a pressão a que areia é injetada na caixa de machos. A pressão de injeção controla a compactação final do macho. Uma baixa pressão aplicada (cerca de 2 kg/cm²) provoca uma deficiente compactação do macho, principalmente em zonas que apresentam maiores detalhes. Uma pressão de injeção elevada (cerca de 6 kg/cm²) promove uma boa compactação do macho, muito embora não seja aconselhável utilizar a pressão neste limite pois pode ocorrer a abertura da caixa de machos durante a injeção.

3.5.2. Pressão de cura

A pressão de cura é a pressão a que se faz passar o ar de varrimento (seco) através do macho. Para uma pressão de cura baixa, a amina pode não chegar à zona inferior do macho porque o ar de varrimento não consegue penetrar no macho, daí resultando a sua rejeição. Uma elevada pressão de cura faz com que a zona na qual se injeta o ar fique escavacada.

3.5.3. Tempo de disparo

O tempo de disparo é o tempo durante o qual ocorre a injeção da areia. Caso este seja baixo, pode não haver injeção de areia suficiente para preencher a cavidade da caixa de machos. Por outro lado, caso o tempo seja elevado, há a garantia que há injeção de areia suficiente, mas aumenta-se a duração de ciclo o que diminui a produtividade. Assim sendo, o tempo de disparo tem que ser ajustado em função da dimensão do macho; assim, um macho de dimensões elevadas necessita de um tempo de disparo mais elevado do que um macho de menores dimensões.

3.5.4. Tempo de gaseamento

O tempo de gaseamento é o tempo despendido para a injeção de amina. Quanto maior o tempo de gaseamento, maior será o consumo de amina. A quantidade de amina a utilizar depende das dimensões do macho e da fração de ligante. Quanto maior for o macho e a fração de resina, maior a quantidade de amina que se tem que utilizar. O excesso ou o défice de gaseamento influenciam as propriedades do macho obtido. Um excesso de gaseamento diminui o tempo de armazenamento do macho e a sua resistência. O tempo de gaseamento deve ser o estritamente necessário para assegurar um endurecimento inicial que permita o manuseamento do macho [9]. Segundo o fornecedor da resina e da amina, *ASK Chemicals*, deve-se utilizar uma fração de amina entre 10 e 20% do peso das resinas.

3.5.5. Tempo de cura

O tempo necessário para que o macho atinja resistência mecânica suficiente para ser desmoldado é designado tempo de cura. O seu controlo é fundamental para que o macho apresente boas propriedades mecânicas. O tempo de cura tem que ser ajustado consoante a forma e dimensões do macho a produzir, o tipo de catalisador e a respetiva fração, e o nível de exigência do seu acabamento superficial [7, 11, 12].

3.5.6. Tempo de bancada

Considera-se tempo de bancada o tempo disponível, após misturar a areia com os ligantes, para se injetar a mistura sem comprometer o preenchimento de todos os detalhes da caixa de machos [11]. O tempo de bancada depende do tipo de ligantes utilizados, da temperatura da areia, da temperatura ambiente e do seu grau de humidade. Quanto mais elevada for a temperatura, menor é o tempo de bancada visto que ocorre a vaporização dos solventes dos ligantes. Considera-se que, no processo de presa por gás, o tempo de bancada é longo pois, antes da introdução do gás (agente de cura), o sistema não se encontra completo e não pode reagir [10].

3.5.7. Tempo de armazenamento

O tempo de armazenamento é o tempo que o macho pode estar armazenado antes de ser utilizado, sem prejuízo para a sua resistência. O tempo de armazenamento depende do tipo de ligante utilizado e do teor de humidade da areia quando se prepara a mistura para injetar na caixa de machos. Quanto maior for o teor de humidade, mais curto será o tempo de armazenamento.

3.6. Resistência mecânica dos machos

Os machos, após cura, têm que apresentar uma resistência mecânica suficiente que permita o seu manuseamento e uma elevada resistência à flexão. Os machos têm que conseguir suportar igualmente as forças a que ficam sujeitos aquando do vazamento e arrefecimento do metal.

Têm ainda que apresentar uma elevada resistência à erosão e uma elevada compactação de modo a reduzir ao máximo a penetração do metal vazado. Não devem apresentar nenhuma interação química com o metal a fim de se obter uma boa qualidade superficial do fundido. A resistência mecânica do macho contribui para a precisão dimensional do fundido e para a repetibilidade do processo [13].

A rigidez e a resistência mecânica dos machos estão intimamente relacionadas e são fortemente afetadas pela elasticidade das resinas. As resinas apresentam diferentes graus de deformação (elástica e plástica). Diversas propriedades, como a resistência inicial, a resistência após cura e a resistência a temperaturas elevadas dos machos resultam da interação da matriz de areia com o ligante [14, 15].

Dobosz *et al.* [14] desenvolveram um estudo sobre as propriedades adesivas-coesivas do ligante sobre os grãos de areia de quartzo. O estudo incidiu sobre o processo de presa por gás, tendo sido utilizada amina como catalisador. Os autores assumiram a

não ocorrência de fratura transgranular do grão de areia. A fratura das ligações entre os grãos pode ocorrer segundo diferentes planos, dependendo das forças de coesão (força entre as camadas do ligante) e de adesão (força entre o ligante e a superfície do grão) presentes no macho. Quando as forças de coesão são superiores às de adesão, a fratura ocorre ao longo da interface do ligante com a superfície dos grãos de areia. Normalmente, este tipo de fratura verifica-se em areias de moldação em que se usa um ligante orgânico (resinas sintéticas). Por outro lado, quando as forças de coesão são inferiores às de adesão, a fratura do macho ocorre no seio do ligante. Normalmente, este tipo de fratura ocorre em areias de moldação ligadas com silicato de sódio hidratado (ligante inorgânico). Nos casos em que estas forças são equivalentes, a fratura tanto pode suceder na interface do ligante com a areia como no seio do ligante; é o que se verifica nas moldações em areia verde.

Dobosz *et al.* [14] analisou o efeito da quantidade de resina e da relação entre os dois componentes da resina (resina fenólica- + isocianato) sobre a rigidez da areia. A Figura 6 apresenta os resultados da rigidez dos machos, 24 horas após o seu endurecimento, avaliada através de um ensaio de flexão em 3 pontos (medição da flecha para diferentes cargas). A nomenclatura da amostra 0.8-0.8 diz respeito à mistura de areia de quartzo com 0,8% (ponderal) de resina fenólica e 0,8% (ponderal) de isocianato.

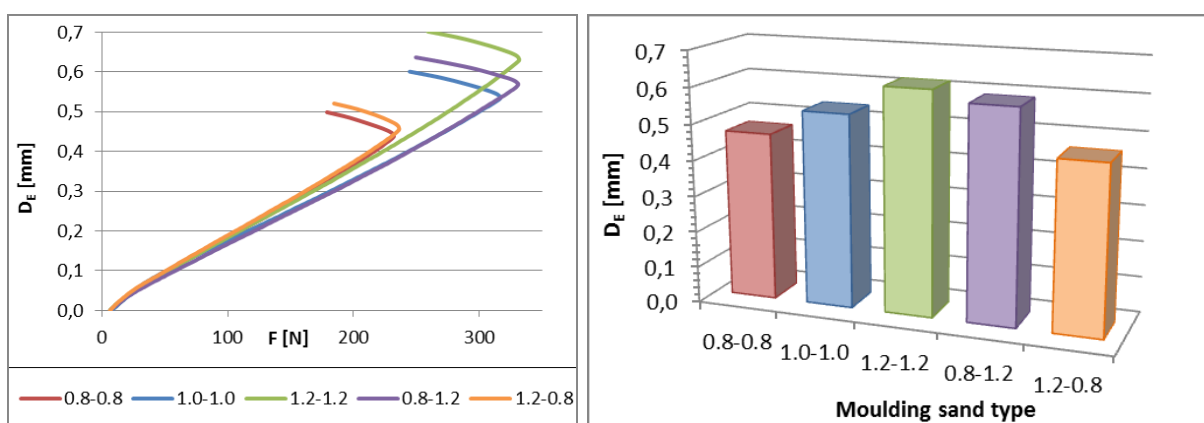


Figura 6 - Rigidez das amostras de machos, 24 h após endurecimento, produzidas com areia de quartzo e sistema de ligante fenólico-uretano [14].

Tal como se poderá observar na Figura 7, a amostra 1.2-1.2 foi a que apresentou maior resistência à flexão, tendo-se registado (Figura 6) o valor máximo de flecha (0,63 mm), para a força mais elevada (325 N) [14].

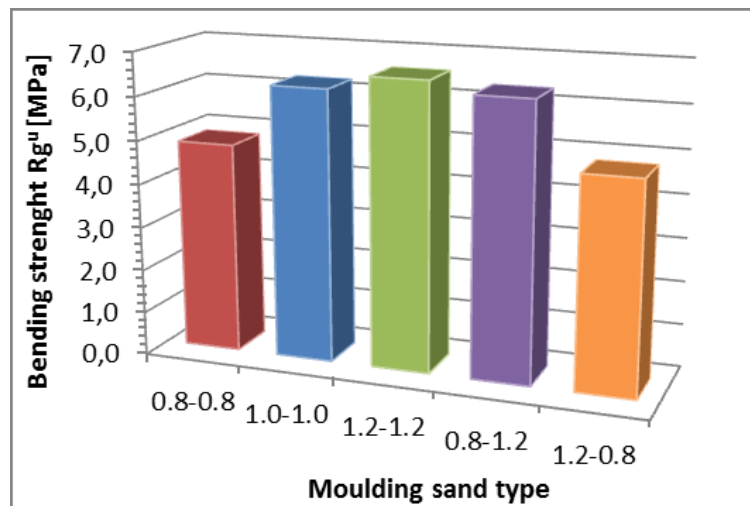


Figura 7 - Resistência à flexão das amostras de macho, 24 h após endurecimento, produzidas com areia de quartzo e sistema de ligante fenólico-uretano [14].

Os resultados da resistência à flexão obtidos são concordantes com os de elasticidade, tendo a resistência à flexão da amostra 1.2-1.2 atingido 6,70 MPa. Analisando os resultados, os autores comprovaram que a rigidez está relacionada com a resistência à flexão da areia de moldação [14].

As propriedades mecânicas dos machos e a sua suscetibilidade à fratura são normalmente avaliadas a partir de ensaios de flexão.

3.6.1. Ensaio de flexão

A Figura 8 apresenta uma imagem da montagem utilizada para o ensaio de flexão em três pontos, que consiste em apoiar um provete de areia em dois suportes e aplicar uma carga no ponto médio entre esses dois suportes. A carga pode ser aplicada até à rotura da amostra ou até se atingir uma determinada flexa no provete [16].

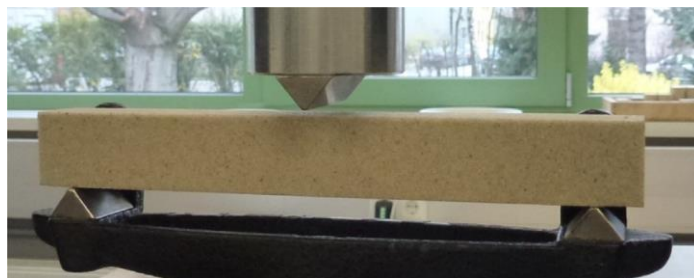


Figura 8 - Ensaio de flexão em três pontos numa amostra de macho, segundo a norma alemã [13].

A *American Foundrymen's Society (AFS)* e a *German Standard* descrevem o ensaio de forma similar, não sendo necessário proceder ao registo da curva carga aplicada vs. deflexão, registando-se somente a carga (carga máxima aplicada) necessária para obter a flexa desejada ou a rotura do provete. A carga aumenta ao longo do ensaio de uma forma progressiva e suave. A tensão de flexão é calculada a partir da carga máxima aplicada, a partir da equação [13]:

$$\sigma = F \times \frac{3l}{2a^3} \quad (1)$$

em que:

σ – tensão de flexão;

F – carga máxima aplicada;

l – distância entre pontos de apoio;

a – espessura do provete.

3.7. Componentes para o fabrico dos machos

Os componentes utilizados no processo influenciam diretamente a resistência do macho e o grau de acabamento superficial do fundido. No estudo empreendido no âmbito desta dissertação, utilizaram-se areia, ligante, agente de cura e, quando necessário, aditivos [10]. Em alguns casos, terá sido necessário efetuar uma pintura final do macho para melhorar o acabamento superficial do fundido e reduzir o ataque do macho pelo metal. Isto consegue-se com recurso à utilização de uma tinta refratária; logo vai ser considerado igualmente esse componente.

3.7.1. Areias

Os machos vão estar sujeitos a temperaturas elevadas durante o vazamento e solidificação do metal; por isso, quando se escolhe uma areia para o fabrico de machos, esta deve apresentar elevada refratariedade, bem como elevada estabilidade térmica e dimensional.

Podem-se utilizar diferentes tipos de areia para produzir machos, como a areia de sílica (SiO_2), zircão (ZrSiO_4), olivina ($\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + \text{Fe}_2\text{SiO}_4$) ou cromite (FeCr_2O_4). A areia de sílica é a mais utilizada devido à sua elevada refratariedade, ao seu baixo custo e à sua abundância. No entanto, as areias de zircão, olivina e cromite apresentam vantagens, nomeadamente um coeficiente de expansão térmica inferior à da areia de sílica [12, 17].

A areia a ser utilizada deve apresentar uma permeabilidade suficientemente elevada de modo a permitir o escape dos gases (ar e gases resultantes da queima do ligante) do interior da moldação. As areias não devem apresentar componentes que, em contacto com o metal, produzam gases, nem devem reagir quimicamente com o metal, pois os elementos e gases formados podem gerar defeitos nos fundidos, como porosidade. A mistura utilizada para o fabrico de machos deve também apresentar elevada colapsabilidade, para permitir a sua fácil remoção após a solidificação do metal, e reduzida molhabilidade relativamente ao metal fundido, a fim de se obter um bom acabamento superficial devido à baixa penetração do metal. Deve apresentar um pH e uma composição química apropriados e, como é óbvio, o menor custo possível [12, 18].

Na areia, a forma e o tamanho de grão são os parâmetros mais importantes a ter em consideração pois influenciam a quantidade de ligante a utilizar. Areias com grãos mais grosseiros apresentam uma melhor permeabilidade e necessitam de menor quantidade de ligante para serem aglomeradas visto apresentarem menor superfície específica. No entanto, a presença de finos melhora a compactação dos grãos de areia e, por isso, o fundido obtido apresentará um melhor acabamento superficial, muito embora seja necessária uma maior quantidade de ligante para aglomerar os grãos. Tem também

que se ter em consideração a compatibilidade química entre as areias e os ligantes utilizados [1, 7, 12, 18].

Assim, quando se escolhem a areia e o ligante, é importante ter em conta o tipo de metal a ser vazado, a geometria da peça a ser produzida, as areias disponíveis, o equipamento a utilizar no fabrico de machos e os requisitos de qualidade do cliente [12].

3.7.1.1. *Parâmetros a controlar na areia*

3.7.1.1.1. *Humidade*

A presença de humidade na areia é prejudicial ao processo de fabrico de machos pois reduz a fluidez da mistura de areia bem como o tempo de bancada, e provoca o decréscimo da resistência após a cura do macho. O teor de humidade deve ser inferior a 0,20%; teores superiores resultam em taxas de cura e resistências inferiores [9]. Na Figura 9 está representada a influência do teor de humidade da areia na resistência à flexão dos machos.

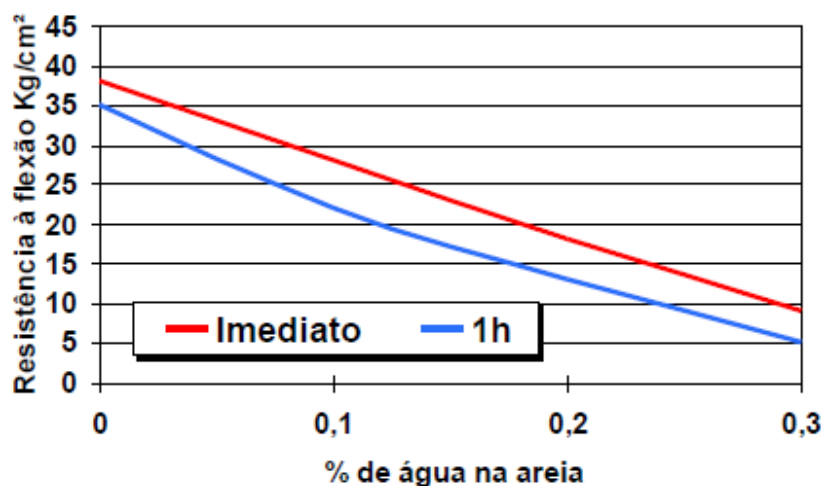


Figura 9 - Influência do teor de humidade da areia na resistência à flexão de machos, utilizando o sistema fenólico-uretano [10].

Verifica-se (Figura 9) uma diminuição da resistência à flexão com o aumento do teor de humidade da areia. Verifica-se também que a resistência à flexão diminui em função do tempo após cura.

3.7.1.1.2. *Impurezas*

A qualidade da areia é afetada pela presença de impurezas, tais como a argila, bentonite, carbonato de cálcio, óxidos metálicos e cimentos, que alteram a quantidade de resina e aditivos a utilizar. A presença de impurezas diminui a aderência da resina aos grãos de areia, provocando uma diminuição da resistência mecânica após cura. A presença de óxidos metálicos alcalinos e de carbonatos afetam a fluidez da mistura e a quantidade de amina requerida pelo processo de presa a frio. Areias que apresentam um teor de argila superior a 5% não podem ser utilizadas para fabricar machos pois requerem uma elevada quantidade de ligante. A presença de impurezas alcalinas reduz o tempo de bancada pois

provocam um aumento da velocidade da reação das resinas. Impurezas ácidas tendem a diminuir a velocidade de cura; por sua vez, as básicas tendem a aumentá-la [7-10].

3.7.1.1.3. pH

Como já referido anteriormente, a presença de óxidos metálicos alcalinos na areia afeta a fluidez da mistura, a quantidade de amina a insuflar e encurta o tempo de bancada. Logo, é importante o controle do pH da areia. Areias neutras normalmente têm um tempo de bancada cerca de 3 h superior ao das areias ácidas ou alcalinas [9].

3.7.1.1.4. Forma dos grãos das areias de macho

A forma e a superfície dos grãos de areia influenciam de forma direta o consumo de ligante devido à variação da sua superfície específica. Os grãos de areia podem ser classificados segundo dois parâmetros: a sua forma (angular ou arredondada), e o seu grau de esfericidade [1]; na Figura 10 são apresentados esboços de diferentes tipos de grãos de areia, segundo a classificação baseada nesses dois parâmetros.

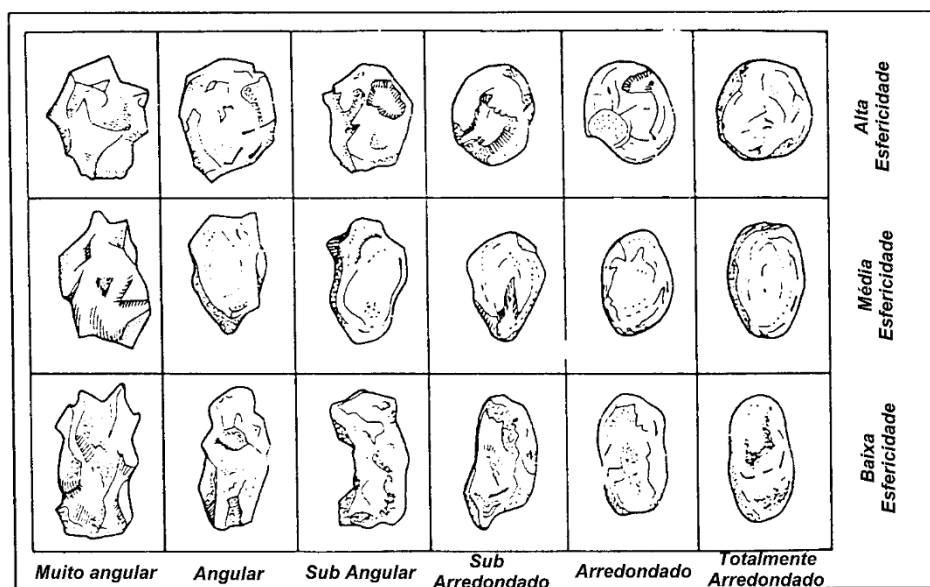


Figura 10 - Esboços dos grãos de areia segundo os parâmetros de classificação: forma e grau de esfericidade. Adaptado de [19].

A superfície do grão pode ser classificada como rugosa, lisa (com microestrutura) ou amorfa ou concoidal altamente fissurada (Figura 11). A superfície do grão também influencia o consumo de ligante; quanto mais rugosa for a superfície do grão, maior é a sua superfície específica [8].

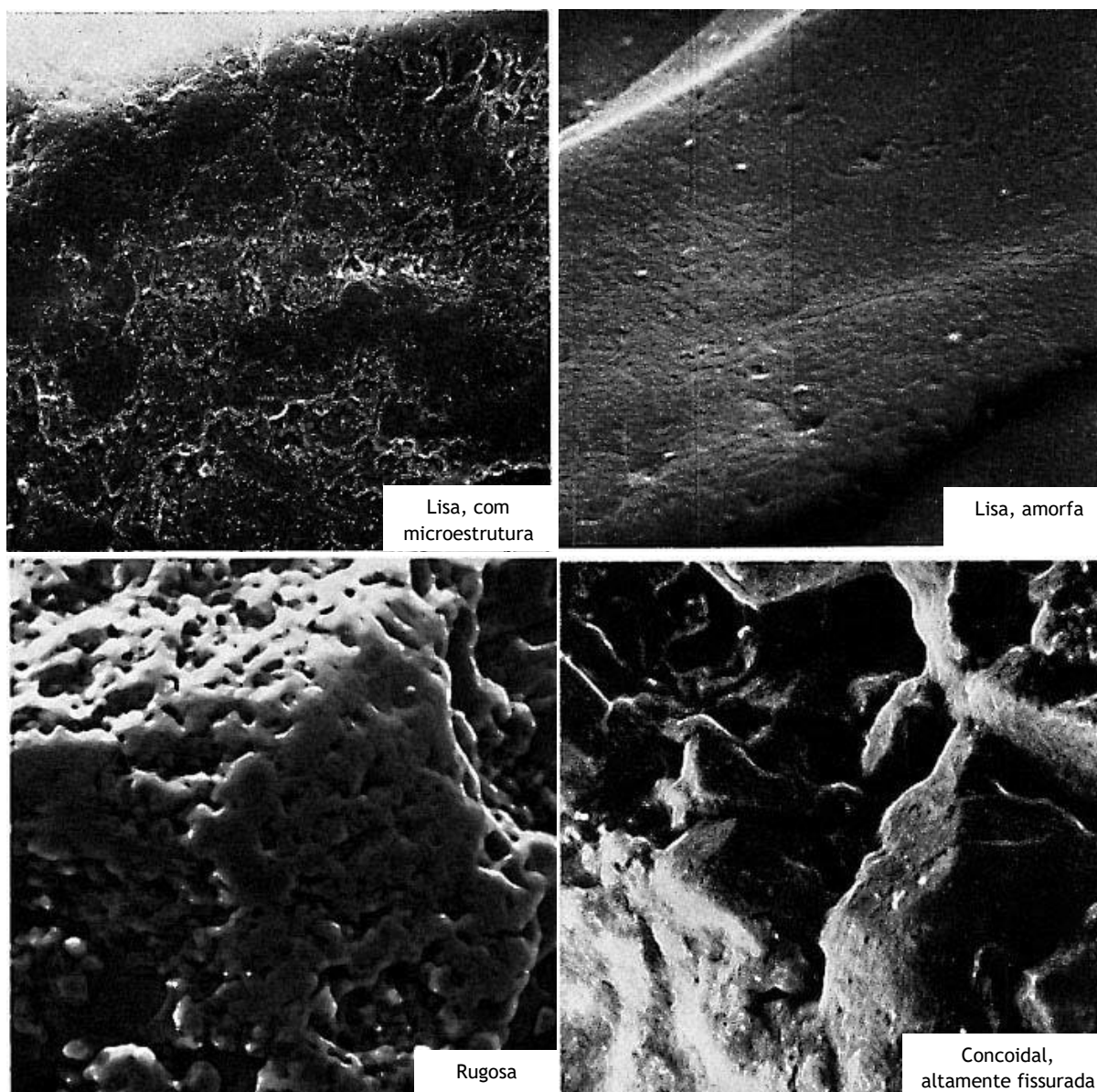


Figura 11 - Classificação da superfície dos grãos de areia de machos [8].

A forma, o tamanho e a superfície dos grãos de areia influenciam a sua superfície específica. Quanto maior for a superfície específica do grão, maior é a quantidade de ligante para aglomerar os grãos de areia convenientemente. A superfície específica influencia também o tempo de cura e o consumo de catalisador visto que estão diretamente relacionados com a quantidade de resina utilizada.

As areias aconselháveis para o fabrico de machos são as que apresentam grãos arredondados visto que esta forma de grão induz uma melhoria da sua fluidez, um aumento da sua densidade após compactação e uma diminuição da sua superfície específica [1, 8, 12].

3.7.1.1.5. *Análise granulométrica das areias de macho*

O controlo da qualidade da areia é um passo de extrema importância pois influencia a qualidade final do fundido. A análise granulométrica destina-se a controlar a qualidade

superficial do fundido, determinada pela rugosidade do macho. Areias mais finas promovem uma menor rugosidade do macho e, conseqüentemente, uma melhor qualidade superficial do macho. Assim, é necessário selecionar um tamanho de grão de areia conveniente à qualidade superficial pretendida, podendo até conseguir-se a eliminação da pintura do macho [1, 12].

De modo a controlar o tamanho médio do grão de areia, realiza-se a análise granulométrica que consiste em peneirar, numa série de crivos com malhas de diferentes dimensões, uma amostra de areia com peso conhecido (Figura 12). Após esta operação, pesa-se a quantidade de areia retida por cada peneiro, só sendo considerados os peneiros que retêm mais de 10% da massa inicial de areia [1, 12].

Uma areia que apresente uma distribuição granulométrica muito apertada (grãos distribuídos por um número reduzido de peneiros) tem uma maior permeabilidade, podendo levar ao aparecimento de defeitos nos fundidos resultantes da penetração pelo metal. Por outro lado, uma areia com uma distribuição por um maior número de peneiros apresenta uma permeabilidade baixa, mas melhor compactabilidade, diminuindo assim a probabilidade do aparecimento de defeitos por penetração de metal; no entanto, aumenta a probabilidade do aparecimento de defeitos provocados pelo aprisionamento de gases. Assim, é necessário garantir uma boa distribuição granulométrica, sendo aconselhável que os grãos de areia se encontrem distribuídos por três ou quatro peneiros [1].



Figura 12 - Agitador de peneiros (à esquerda) e peneiros (à direita) para a análise granulométrica das areias.

3.7.1.1.6. Índice de finura AFS

O índice de finura AFS é definido por Sertucha e Suárez [1] como “o número de aberturas por polegada (25,4 mm) que um peneiro apresenta, através das quais a areia passaria se todos os seus grãos fossem do mesmo tamanho”.

O índice de finura AFS pode ser calculado, com base nos resultados da análise granulométrica, a partir da fórmula:

$$\text{Índice de finura AFS} = \frac{\sum(\text{Quantidade de amostra retida em cada peneiro (g)} \times \text{fator de conversão})}{\sum(\text{Quantidade retida em todos os peneiros (g)})} \quad (2)$$

Um elevado índice de finura AFS corresponde a uma distribuição granulométrica que apresenta grãos mais finos, e um baixo índice de finura AFS indicia exatamente o oposto.

Quanto mais elevado for o índice de finura AFS da areia, maior é a sua superfície específica e, tal como já referido, maior o consumo específico de ligante [1, 12]. Na Figura 13 está representada a relação entre o índice de finura AFS, a forma do grão e a sua superfície específica.

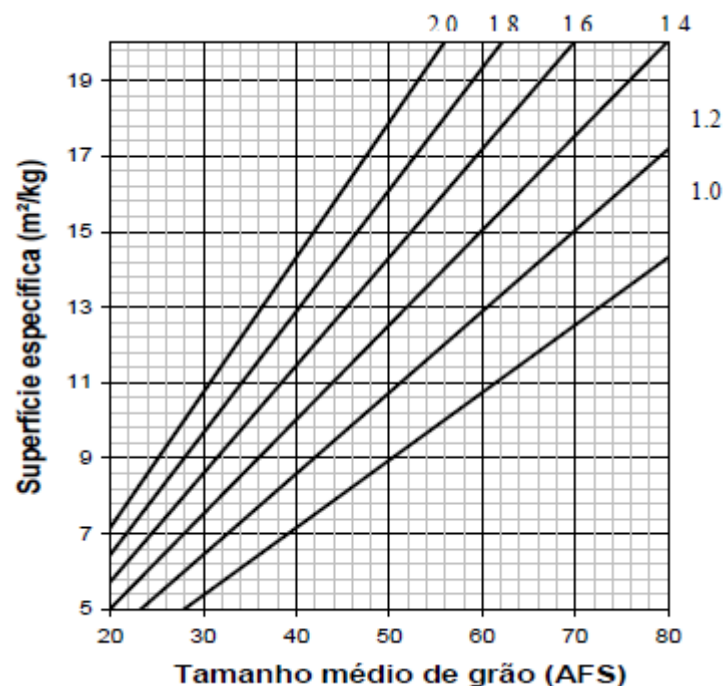


Figura 13 - Superfície específica dos grãos de uma areia em função do índice de finura AFS e a sua forma, caracterizada através do parâmetro "K" (esférica: K=1; arredondada: K=1,2-1,4; angular: K>1,4) [10].

Analisando a Figura 13, observa-se que a superfície específica é mais elevada para maiores índices de finura AFS, ou seja, para distribuições granulométricas mais finas. Também se observa que a superfície específica é mais elevada para grãos com forma mais angular.

3.7.1.1.7. Temperatura da areia

A temperatura da areia é um fator importante a ter consideração pois influencia o tempo de bancada da areia. Quanto maior for a temperatura da areia, menor será o tempo de bancada pois ocorre a evaporação dos solventes da resina, com a consequente degradação das propriedades da mistura, daí podendo resultar machos com superfícies friáveis. A gama de temperaturas aconselhável para a areia varia em função do tipo de

ligante a utilizar; para o processo de presa a frio, a temperatura deve situar-se na gama 10-38°C.

A maior preocupação relativamente à temperatura da areia é que esta se mantenha o mais constante possível (variações inferiores a $\pm 3^{\circ}\text{C}$) de modo a assegurar a estabilidade e controlo de todo o processo. Assim, a variação das frações de ligante e catalisador a adicionar é minimizada durante a produção [9].

3.7.2. Ligantes

A principal função dos ligantes é manter os grãos de areia unidos, conferindo assim resistência mecânica aos machos produzidos. A fração de ligante influencia diretamente a resistência do macho e o seu grau de colapsibilidade. Uma das características que os ligantes devem apresentar é produzirem a menor quantidade de gases possíveis quando entram em contacto com o metal líquido, pois estes gases podem originar defeitos, como *pinholes* e porosidades nos fundidos [7, 18].

O sistema de ligantes utilizado na SAKTHI Portugal é o fenólico-uretano que vai ser discutido de seguida.

3.7.2.1. Sistema fenólico-uretano

O sistema de ligantes fenólico-uretano compreende três partes: uma resina fenólica (parte I), um isocianato (parte II) e uma amina terciária (parte III); a parte I reage com a parte II, atuando a parte III como catalisador da reação. No processo de presa a frio, a resina fenólica e o isocianato polimérico são misturados com a areia numa misturadora e, de seguida, a mistura é injetada e compactada numa caixa de machos na qual se faz passar o gás catalisador (amina) que tem a função de endurecer a mistura. Posteriormente, é injetado ar seco de modo a forçar a amina a atravessar a mistura e promover o endurecimento o mais homogéneo possível do macho [12].

A resina fenólica e o isocianato devem ser utilizados na proporção de 1:1, variando a sua fração entre os 1,2 e 2,0% do peso de areia. A relação resina fenólica/isocianato influencia as propriedades da areia de macho. Por exemplo, quando se utiliza uma mistura de 40% de resina fenólica e de 60% de isocianato, verifica-se uma melhoria do tempo de bancada da mistura e da resistência mecânica do macho durante o armazenamento, mas uma maior propensão ao aparecimento de defeitos causados pela libertação de gases. Quando se utiliza uma mistura de 60% de resina e de 40% de isocianato, há um aumento da resistência inicial do macho e uma diminuição do seu custo e da tendência ao aparecimento de defeitos causados por gás; no entanto, regista-se uma diminuição do tempo de bancada [9, 10].

Um aspeto a ter em consideração na utilização deste sistema é a diferença de polaridade entre a resina fenólica e o isocianato visto que, imediatamente antes de serem misturados com a areia, são dissolvidos em solventes orgânicos de modo a reduzir a sua viscosidade e assim facilitar o revestimento da areia. A diferença na polaridade influencia a escolha de solventes a utilizar pois, para que se consiga alcançar a reação completa e a

cura do ligante, é necessário que os solventes sejam compatíveis com ambos os componentes [8, 12].

A resina fenólica apresenta um carácter de éter benzílico e o isocianato é um oligômero de 2,4 e 4,4-difenilmetanodiisocianato. A reação entre estes dois componentes ocorre entre os grupos hidroxilo da resina fenólica (a azul na Figura 14) e os grupos isocianato (a vermelho na Figura 14), na presença do catalisador amina, formando um poliuretano sólido que vai promover a ligação entre os grãos de areia [12]. Na Figura 14 está esquematizada a reação de cura:

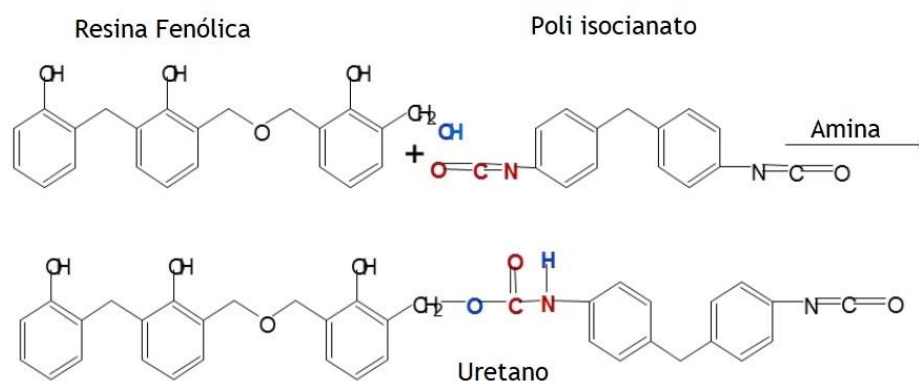


Figura 14 - Representação esquemática da reação de cura do sistema resina fenólica-uretano/amina. Adaptado de [20].

No processo de presa a frio, é importante ter em consideração diversos parâmetros da areia na *performance* da resina; a composição química, a temperatura e o teor de humidade da areia afetam o tempo de bancada da mistura areia-resina. A temperatura da areia recomendada situa-se na gama 20-25°C. Temperaturas mais baixas provocam uma diminuição da eficiência de mistura e um aumento do tempo de cura; temperaturas mais elevadas promovem uma diminuição do ciclo de gaseamento, do consumo de catalisador e do tempo de bancada. Considera-se que, por cada aumento de 10°C, a velocidade de reação entre os dois componentes do ligante duplica. Em relação ao teor de humidade da areia, este deve ser inferior a 0,2%, à temperatura ambiente (20°C); no caso de a temperatura da areia ser de 30°C, a humidade tem que ser inferior a 0,1% para o processo funcionar devidamente. Neste processo, o problema da humidade está relacionado com a reação de uma molécula de água com dois grupos isocianato, reduzindo assim a resistência do macho pois não há isocianato suficiente para reagir com a resina fenólica, reduzindo a aderência do filme de resina aos grãos de areia, originando uma ligação fraca. Na Figura 15 pode observar-se a reação entre o isocianato e a água, formando-se poliureia e CO₂. A poliureia não forma uma ligação estável entre os grãos de areia pelo que o macho não atinge a resistência adequada [8-10, 12].

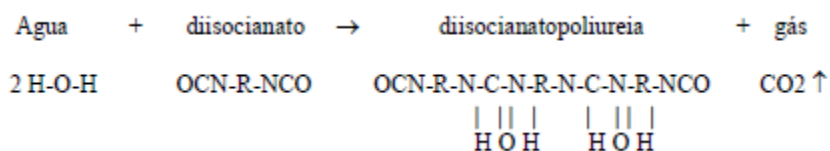


Figura 15 - Representação esquemática da reação da água com o poliisocianato [10].

A presença de humidade, e consequente consumo de isocianato, provoca uma redução da fluidez e da compactação da mistura preparada, uma diminuição da resistência do macho, uma deterioração mais rápida dos machos durante o armazenamento e o aparecimento de defeitos nas peças fundidas devido à libertação de gases [10].

A morfologia do filme de poliuretano obtido pelo processo de caixa fria, utilizando o sistema fenólico-uretano e areia de sílica, foi estudado por Iden [21]. Este concluiu que o filme era constituído por partículas esféricas que se encontram unidas irregularmente e apresentam uma dimensão uniforme (0,1-0,2 µm). Esta morfologia está intimamente associada às propriedades da mistura. Da observação em microscopia eletrónica de varrimento, Iden [21] detetou variações de densidade do filme de ligante (Figura 16), que compreendia quatro zonas, cuja densidade decrescia da zona I para a zona IV (Figura 16).

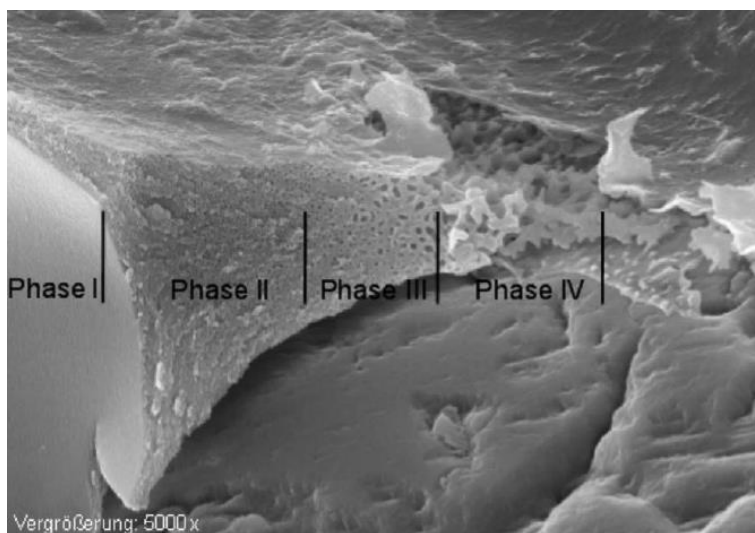


Figura 16 - Morfologia do filme de ligante de poliuretano nos grãos de sílica [21].

Iden [21] procurou explicar esta ocorrência com base em três fatores: o endurecimento direcional, que ocorre pela aplicação do catalisador gasoso (amina), a influência da velocidade de reação e, consequentemente, de endurecimento, e dos solventes utilizados.

O endurecimento diferencial ocorre no processo de presa por gás visto que o catalisador começa por entrar em contacto com a superfície do macho, avançando posteriormente para o seu interior, criando uma zona mais densa à superfície do macho.

Em relação à velocidade de reação, esta pode ser afetada por vários parâmetros, como o tipo de catalisador, a reatividade da resina e do catalisador, e a temperatura da areia. No processo de presa por gás, onde se utilizam aminas terciárias como catalisador,

pode-se recorrer a quatro amins diferentes que apresentam reatividades distintas. Iden [21] verificou que a utilização de diferentes tipos de amina como catalisador induz variações na extensão das quatro zonas identificadas na Figura 16. A velocidade de reação também é influenciada pela reatividade da resina, tendo constatado que a zona I apresenta uma menor densidade quando a resina utilizada é menos reativa.

Verificou ainda que os poros presentes na estrutura do poliuretano são causados por solventes utilizados nas resinas pois, quando se forma o poliuretano, este composto e o solvente tornam-se incompatíveis na transição da fase sólida para líquida. Por isso, pode-se concluir que a quantidade e o tipo de solventes afetam a morfologia do filme de poliuretano [21].

3.7.2.2. Influência da fração de ligante

Quanto maior for a fração de ligante no *batch*, maior será a resistência do macho. No entanto, a utilização de uma maior fração de ligante implica uma maior dificuldade de enchimento da caixa de machos devido a uma menor fluidez da mistura. Consequentemente, torna-se mais complicado preencher de forma eficiente todas as zonas pretendidas, em particular, as de maior dificuldade de enchimento (zonas sombra). A utilização de uma maior fração de resina implica também uma maior acumulação de sujidade na caixa de machos.

3.7.3. Catalisadores

Para os processos de presa a frio, há que utilizar catalisadores para promover uma aceleração do processo de cura do ligante. Os catalisadores normalmente utilizados são ésteres, amins e ácidos, que podem ser adicionados, durante o processo, à mistura areia-ligante, sob a forma de líquido ou gás. A quantidade de catalisador a utilizar varia em função da quantidade de ligante da mistura [12].

No caso do processo do sistema fenólico-uretano, utiliza-se um gás da família das amins terciárias. Estas amins são compostos orgânicos que derivam do amoníaco, sendo os três átomos de hidrogénio substituídos por radicais orgânicos. As amins terciárias que podem ser utilizadas são: a DMEA (dimetiletilamina), a DMIA (dimetil-isopropilamina) e a TEA (triethylamina) [8].

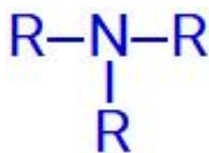


Figura 17 - Fórmula estrutural de uma amina terciária [22].

As amins apresentam baixo ponto de vaporização, e são incorporadas no gás de transporte, provocando uma cura quase instantânea assim que são introduzidas na mistura.

3.7.4. Aditivos

Os aditivos são adicionados na misturadora aquando da preparação da mistura areia-ligante, com o objetivo de melhorar a colapsibilidade dos machos, aumentar a sua resistência ou minimizar o aparecimento de defeitos nos fundidos. Pode também melhorar o acabamento superficial do fundido devido ao aditivo ser constituído por partículas finas; no entanto, promove um aumento do consumo de resina. Tem como outras funções aumentar a fluidez da mistura areia-ligante, evitar que a mistura de areia fique agarrada à caixa de machos, e que a mistura seque excessivamente antes de ser utilizada [9].

Podem-se adicionar finos de sílica à mistura para aumentar a resistência a quente do macho pois colmatam os vazios entre os grãos de areia. Também se pode adicionar serrim e finos resultantes de operações de corte de madeira para aumentar a colapsibilidade do macho [7].

3.7.5. Acabamento dos machos

Após a desmoldação dos machos, estes podem ser alvo de vários passos de acabamento antes da sua colocação nas moldações. Por vezes, apresentam saliências e rebarbas que têm que ser removidas por desbaste. De seguida, alguns machos têm que ser revestidos de modo a aumentar a sua refratariedade e, assim, minimizar a penetração do metal, melhorando o acabamento superficial do fundido. Para se obter um fundido de acordo com as especificações dos clientes, impõe-se que seja realizado um controle dimensional e da qualidade dos machos [18].

3.7.5.1. *Revestimento dos machos*

O revestimento dos machos tem como principal objetivo aumentar a resistência do macho à penetração do metal, melhorando assim o acabamento superficial do fundido. Isto leva a uma melhor separação do macho do fundido, aquando do abate das moldações, e à redução do tempo de maquinagem e, conseqüentemente, do desgaste das respetivas ferramentas. Pode também aumentar a refratariedade da areia do macho pois engloba materiais refratários na sua constituição. O revestimento do macho pode ser aplicado recorrendo à imersão/pintura dos machos ou à sua deposição por pulverização [7, 18, 23]. É importante assegurar que o revestimento do macho esteja totalmente seco antes da sua colocação na moldação [7].

O revestimento dos machos apresenta desvantagens como o custo dos materiais, a dificuldade em controlar a espessura do revestimento, podendo originar defeitos no fundido, ocupação de espaço para a aplicação do revestimento e sua secagem, e a diminuição da produtividade [23].

Os revestimentos aplicados são normalmente constituídos por [23]:

- partículas de óxidos refratários, de granulometria inferior a 50 µm;
- um sistema transportador, que tem que ser removido após a aplicação do revestimento. Este pode ser água ou álcool e hidrocarbonetos cloretados,

sendo que os dois últimos estão a cair em desuso devido ao seu elevado impacto ambiental;

- agente de suspensão, que mantém a dispersão do refratário uniforme;
- ligante;
- diversos agentes químicos como surfatantes, antiespumantes e bactericidas.

Robert Downing [24] desenvolveu um revestimento compreendendo duas camadas com o objetivo de aumentar a resistência e refratariedade dos machos e, ao mesmo tempo, assegurar uma boa colapsibilidade e uma baixa penetração pelo metal. A primeira camada aplicada contém componentes refratários de modo a colmatar os poros da superfície do macho e assim minimizar a penetração pelo metal. A segunda camada é mais macia de modo a permitir uma remoção mais fácil do macho após a solidificação do metal. A segunda camada apresenta tipicamente uma espessura de 0,1 mm, sendo composta por mica, incluindo por vezes um ligante orgânico, como resina fenólica, a fim de aumentar a aderência à primeira camada [25]. Na Figura 18 está representado um corte transversal da superfície do macho, com um revestimento de duas camadas, em que D representa o corpo do macho, H a primeira camada e T a segunda camada do revestimento.

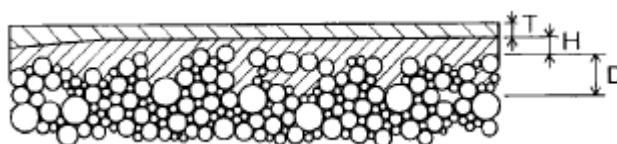


Figura 18 - Corte transversal da superfície do macho com revestimento de duas camadas [25].

4. Matérias-Primas

As matérias-primas utilizadas para o fabrico dos machos analisados são a areia de sílica, os ligantes (sistema fenólico-uretano) e o catalisador (amina).

4.1. Areia

No Anexo 2.3. é apresentada a especificação de receção de matérias-primas - areia seca (areia de sílica) e a correspondente especificação (Tabela 1). A areia é utilizada em *batches* de 50, 100 ou 125 kg.

Tabela 1 - Especificação de receção de matérias primas para a areia de sílica nova

Parâmetro	Especificação
Humidade	< 0,15%
Granulometria 1 (G1)	Sobrecrivo > 0,50 mm: < 3,0%
Granulometria 2 (G2)	Sobrecrivo > 0,25 mm: 10-25%
Granulometria 3 (G3)	Sobrecrivo > 0,18 mm: 45-65%
Granulometria 4 (G4)	Sobrecrivo > 0,125 mm: 10-25%
Fração de finos (< 0,063 mm)	< 0,2%
Índice de finura AFS	57-64

4.2. Ligantes

No Anexo 2.1. é apresentada a ficha técnica dos ligantes utilizados. O Isocure 328 Plus corresponde à resina fenólica (parte I) a ser adicionada à parte II (Isocure 628 Plus - isocianato) na proporção de 55:45. As características das resinas utilizadas estão patentes na Tabela 2.

Tabela 2 - Características do Isocure 328 Plus e do Isocure 628 Plus

	Fenol livre (%)	Formol livre (%)	Densidade (a 20°C)	Viscosidade a 25°C	Azoto (%)
Isocure 328 Plus	4,9 máx.	0,03 máx.	1,040-1,090	100-200	—
Isocure 628 Plus	—	—	1,089-1,100	—	6,6-7,0

4.3. Catalisador

No Anexo 2.2. encontra-se a ficha técnica do catalisador utilizado. O Isocure 702 é a amina DMEA (dimetiletilamina), devendo ser utilizado na proporção de 10 a 20% do peso da resina. As características da amina utilizada pela empresa SAKTHI Portugal são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Características do Isocure 702 (amina)

	Densidade (a 20°C)	Teor de humidade (%)	Pureza (%)
Isocure 702	0,672 - 0,681	0,2 máx.	99,0 mín.

5. Metodologia Experimental

5.1. Ensaios Laboratoriais

5.1.1. Análise Granulométrica

Tendo por objetivo a análise do excesso de finos e da fratura da areia provocado pelo seu envio para o silo interno do setor da macharia, realizou-se uma análise granulométrica, tendo-se recolhido a amostra de areia imediatamente antes da sua entrada para a misturadora onde se realiza a mistura. O índice de finura AFS e a fração de finos foram determinados de acordo com o procedimento da *Standardized Work*: Distribuição granulométrica (Anexo 1.1).

Para realizar a análise granulométrica, uma amostra de areia com 25 g, foi peneirada, a uma ampliação de vibração de 1,0, numa série de crivos, com diferentes dimensões de malha, durante 12 minutos a intervalos de vibração de 30 segundos e pausa de 1 segundo para deixar a areia repousar. Uma vez terminada esta operação, pesou-se a quantidade de areia relativa ao sobrecrivo de cada peneiro e calculou-se o índice de finura AFS através da fórmula (2). Em termos da fração de finos, esta corresponde à fração de areia com grãos de granulometria inferior a 0,063 mm.

Para a realização da análise granulométrica, utilizaram-se os peneiros com malha de 1,4 mm, 1 mm, 0,71 mm, 0,5 mm, 0,355 mm, 0,25 mm, 0,18 mm, 0,125 mm, 0,09 mm e 0,063 mm.

Na Tabela 4 é apresentada a amostragem realizada para os ensaios granulométricos da areia nova.

Tabela 4 - Amostragem da areia nova

Mês	Fevereiro																															
Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
Ensaio																									1		2					
Mês	Março																															
Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Ensaio	3					4		5			6		7		8			9		10		11			12		13		14			
Mês	Abril																															
Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Ensaio	15		16		17			18		19		20			21		22					23		24		25			26			
Mês	Maio																															
Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Ensaio			27										28		29		30			31		32		33			34		35		36	

5.1.2. Durezas

Os ensaios de dureza foram realizados segundo o procedimento experimental da *Standardized Work*: Dureza de Machos (Anexo 1.2). A dureza refere-se à resistência do macho à penetração de uma fresa; quanto mais baixo for o valor lido, maior é a resistência do macho à penetração da fresa, apresentando assim o macho uma dureza mais elevada. Na Figura 19 são apresentadas imagens do durômetro utilizado nos ensaios e um macho onde foi medida a dureza, no qual é bem visível a marca da penetração resultante.



Figura 19 - a) Durômetro utilizado na determinação da dureza dos machos; b e c) um dos machos que foi alvo de ensaio de dureza.

O ensaio de dureza consiste em mover cinco vezes, para a frente e para trás, a fresa do durômetro numa superfície plana do macho, obtendo-se a profundidade de penetração da fresa (em mm) diretamente no equipamento.

5.1.3. Ensaio de Flexão

Após a modificação dos parâmetros de fabrico dos machos, analisou-se a sua influência na resistência à flexão do macho. Desta forma, foram realizados ensaios de flexão sobre provetes com 172×22×20 mm, tendo-se variado diversos parâmetros como a fração de resina, a temperatura da amina, o tempo de gaseamento e o tempo de mistura de um *batch* de 50 kg. Os provetes foram produzidos utilizando uma caixa de machos que possuía uma cavidade própria para a sua produção.

Para determinar a resistência à flexão, realizou-se o ensaio de flexão em três pontos que consiste em apoiar o provete em dois suportes e aplicar uma carga no ponto médio entre esses suportes, até à sua rotura. Na Figura 20 está presente um provete de areia e a montagem de um ensaio de flexão. O valor da resistência à flexão é lido diretamente sobre o equipamento em N/cm².

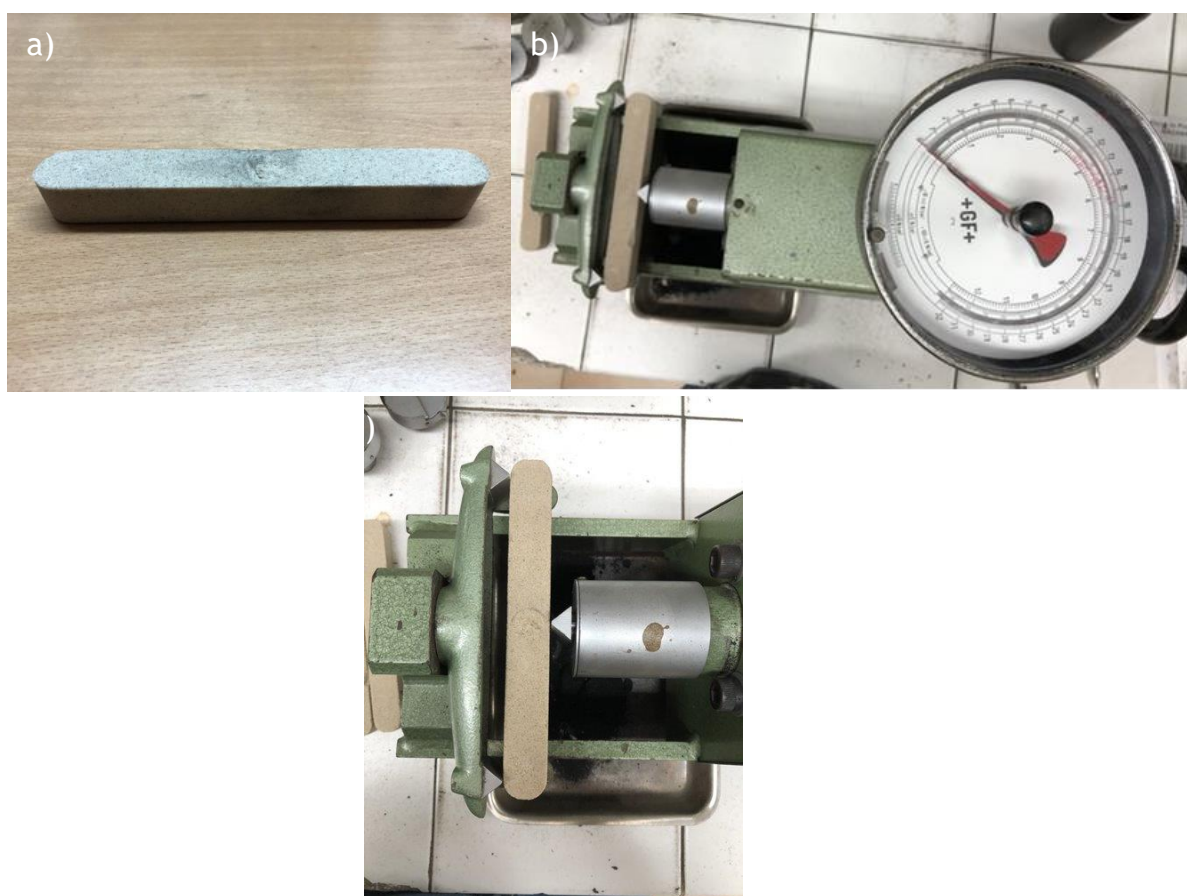


Figura 20 - a) Provete em areia de machos; b e c) equipamento de ensaio à flexão.

5.2. Ensaio Industriais

No setor da macharia da SAKTHI Portugal, a preparação da areia é efetuada num sistema automático que possui uma misturadora e um carro de transporte que alimenta todos as disparadoras. A misturadora opera em função da necessidade de areia, sendo capaz de preparar três *batches* diferentes (50, 100 ou 125 kg). O *batch* preparado é selecionado de acordo com a respetiva referência, em função do seu tamanho e da quantidade de areia por injeção, de forma a que a areia seja gasta o mais rapidamente

possível. A adição das partes I e II da resina na misturadora é controlada por um sistema de bombas volumétricas. As resinas são adicionadas de modo a que o seu teor fique compreendido no intervalo de $1,7\% \pm 0,3$, para uma relação de 55:45 de resina fenólica e de isocianato, respetivamente. Desta forma, existem diferentes programas disponíveis que resultam das combinações possíveis entre os *batches* de areia e a fração de resina.

Após a mistura, procede-se à descarga no silo de alimentação da disparadora, de onde foi requisitado o *batch*. Para cada referência produzida, utilizaram-se parâmetros de fabrico diferentes que estão enunciados no procedimento de fabrico dessa referência.

De modo a controlar a qualidade dos machos, foram realizados ensaios de dureza, segundo o procedimento apresentado no Anexo 1.2.

No decorrer dos ensaios, procedeu-se ao acompanhamento do controlo dos parâmetros, nomeadamente:

- a) Índice de finura AFS e fração de finos;
- b) Parâmetros associados ao fabrico dos machos, tendo em consideração o método de fabrico;
- c) Dureza de macho produzido internamente.

Os ensaios industriais podem se subdivididos em dois grupos, envolvendo a modificação: dos parâmetros de fabrico, e do tempo de mistura.

5.2.1. Modificação dos parâmetros da disparadora de machos

Após a seleção de algumas referências de machos, foram modificados vários parâmetros da disparadora, tais como a temperatura da amina, o tempo de gaseamento, o tempo de cura e a fração de resina utilizados, com o objetivo de analisar a sua influência nas propriedades do macho, melhorar a produtividade e reduzir custos. Para realizar as modificações seguiram-se os seguintes passos:

1. Pré-aquecimento da amina;
2. Redução da fração de resina;
3. Redução do tempo de gaseamento;
4. Redução do tempo de cura.

Após validar as condições (variação dos parâmetros), reduziu-se novamente a fração de resina, tempo de gaseamento e tempo de cura até se obterem os melhores resultados possíveis dentro do limite especificado para a dureza. As referências onde se realizaram as modificações de parâmetros foram as referências A, B, C, F e G. No caso da referência não permitir o pré-aquecimento da amina, começava-se no passo 2.

5.2.2. Modificação dos tempos de mistura

Os tempos de mistura foram reduzidos de forma faseada (5 segundos de cada vez) para *batches* de areia de 50 e 100 kg, para uma fração de 1,8% de resina, tendo sido analisada a sua influência nas propriedades do macho.

6. Resultados Experimentais e Discussão

6.1. Análise granulométrica

A análise da fração de finos e do índice de finura AFS prende-se com o facto de os grãos de areia nova (proveniente do fornecedor) se fraturarem durante o seu transporte do silo exterior para o silo interior da macharia, originando finos de forma aleatória. A presença de finos promove a obtenção de cargas com piores propriedades e, consequentemente, a produção de machos com menor resistência pois a resina adicionada, na proporção normal, é incapaz de envolver todos os grãos de areia. Foram recolhidas amostras de areia imediatamente antes da sua entrada na misturadora. Na Figura 21 são apresentados os resultados do índice de finura AFS das diversas amostras de areia e os respetivos limites especificados pela empresa (linhas vermelhas); na Figura 22 está presente a fração de finos para as mesmas amostras.

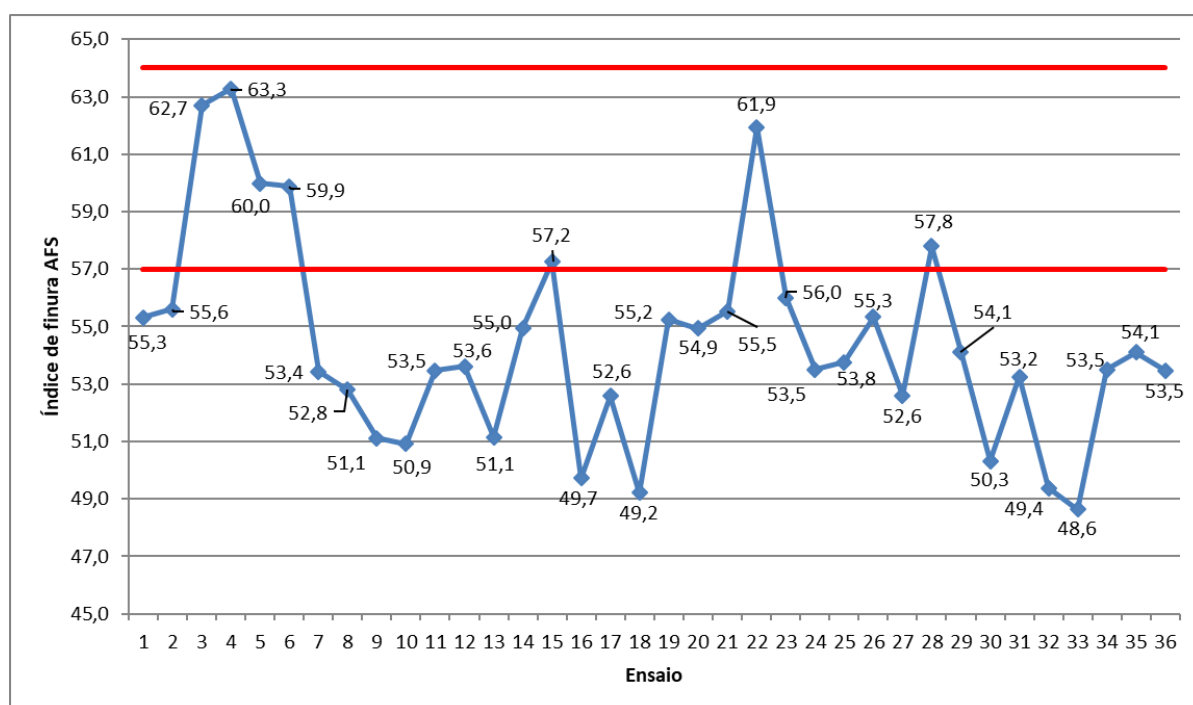


Figura 21 - Índice de finura AFS das diversas amostras de areia (as linhas vermelhas representam os limites estabelecidos pela empresa (57 e 64 AFS)).

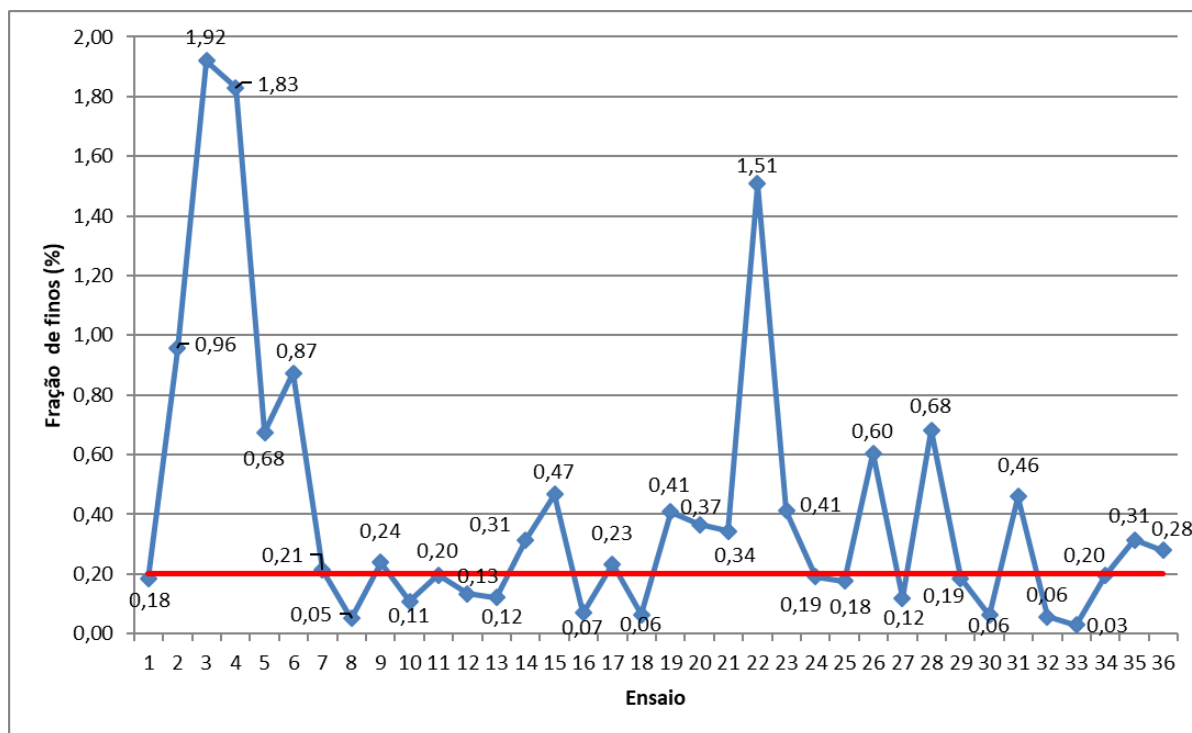
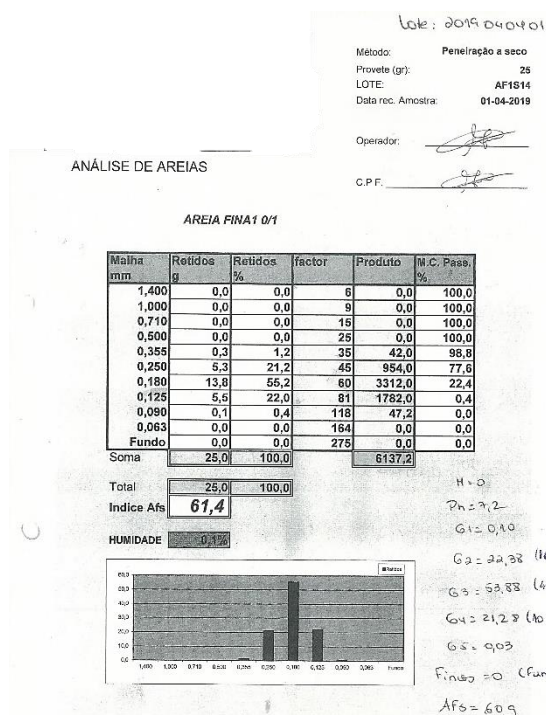


Figura 22 - Fração de finos das diversas amostras de areia (a linha vermelha representa o limite estabelecido pela empresa (0,2%).).

Analisando as Figura 21 e 22, verifica-se que, ao longo do tempo, há uma grande variação do índice de finura AFS e da fração de finos, e daí a grande variabilidade do processo. Estas variações influenciam os parâmetros utilizados na macharia, o que se traduz numa não repetibilidade do processo. Esta variação pode também influenciar o circuito de areia de moldação (areia verde) visto a areia dos machos constituir areia nova introduzida nesse circuito.

Constata-se, de uma forma geral, que um aumento da fração de finos conduz a um aumento do índice de finura AFS. Assiste-se igualmente a uma variação da distribuição granulométrica ao longo do tempo, principalmente nos peneiros 5, 6, 7 e 8, influenciando assim o valor de AFS (Anexo 3), ou seja, há uma variação do tamanho médio de grão. Constata-se que a fração de finos é muitas vezes superior à especificada (0,2%), prejudicando assim o processo pois, para manter uma dureza constante, tem que se aumentar a fração de resina e, consequentemente, a quantidade de amina necessária para catalisar a reação.

Na SAKTHI Portugal, o fornecedor de areia procede diariamente à descarga de cerca de 60 toneladas de areia nova no silo exterior, sendo esta de um novo lote todas as semanas. A receção do novo lote é realizada pelo laboratório que recebe um certificado do fornecedor e recolhe uma amostra para avaliar parâmetros como a granulometria, humidade e pH. O lote é aprovado ou rejeitado segundo os critérios presentes no manual de procedimento presente no Anexo 2.3. O certificado entregue pelo fornecedor e os resultados obtidos pelo laboratório do lote da semana 14 estão presentes na Figura 23.



Granulometria

1-0

2-0

3-0

4-0,0253

5-0,5384

6-5,5947 → Peneira 0,25 - 10 a 25% 62

7-13,4702 → Peneira 0,18 - 45 a 65% 63

8-5,3206 → Peneira 0,125 - 10 a 25% 64

9-0,1470

10-0,0065

11-0 → Finos (Fundo) < 0,25%

Índice Afs = 57,064

Humidade = < 0,15%

Ph = 6 a 8

Figura 23 - Certificado entregue pelo fornecedor de areia e resultados obtidos pelo laboratório para o lote da semana 14.

Na Figura 23 é possível observar os valores de G1, G2, G3 e G4 apresentados pelo fornecedor para o lote da semana 14, que deverão ser confrontados com os da Tabela 1. Comparando os valores obtidos na receção da areia nova (Figura 23) com os dos ensaios de análise granulométrica da areia recolhida antes de entrar para a misturadora (ensaios 15, 16 e 17), verifica-se um aumento da fração de finos, justificado pelo transporte da areia dos silos exteriores para o silo interior. Por sua vez, os valores de G1, G2, G3 e G4 não são coerentes com os obtidos aquando da análise granulométrica da amostra recolhida na receção do lote, tal como se pode observar na Figura 24.

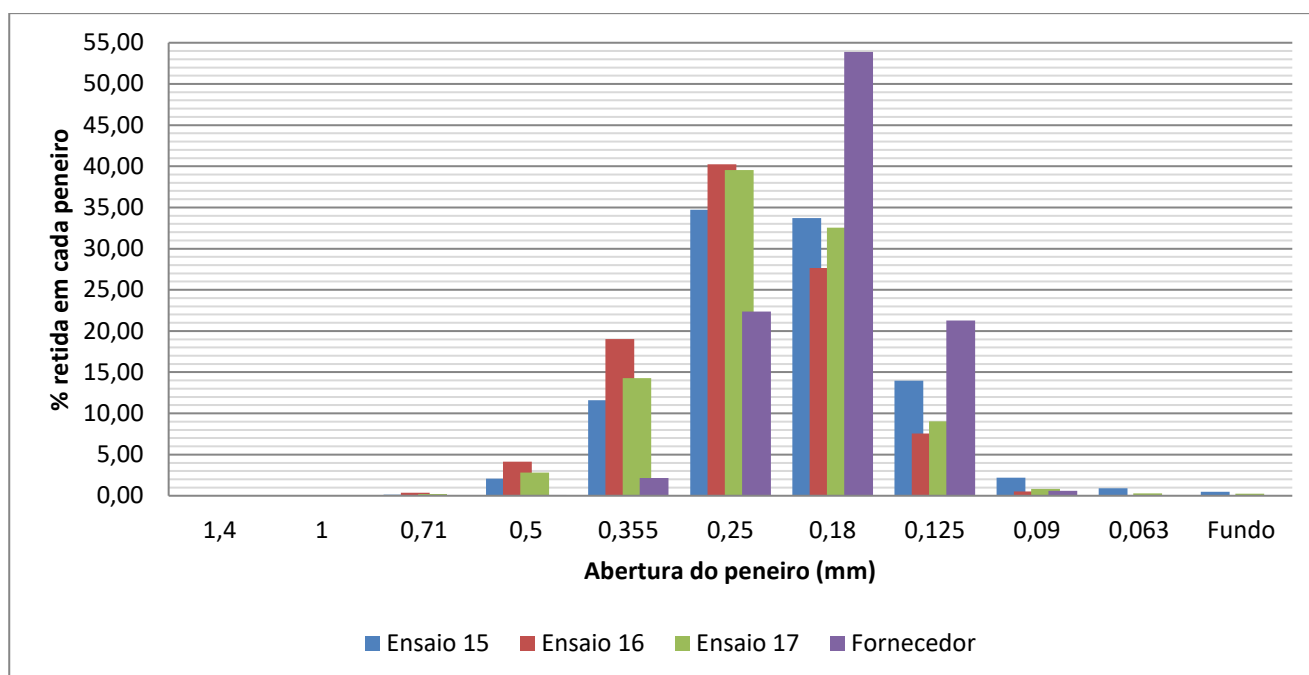


Figura 24 - Comparação entre a distribuição granulométrica dos ensaios 15, 16, 17 e a apresentada pelo fornecedor da areia relativamente ao lote da semana 14.

Constata-se que, no ensaio 15, se obteve um G1 de 2,22%, um G2 de 34,72%, um G3 de 33,73%, um G4 de 13,96% e uma fração de finos de 0,47%. Em relação ao ensaio 16, obteve-se um G1 de 4,5%, um G2 de 40,23%, um G3 de 27,66%, um G4 de 7,55% e uma fração de finos de 0,07%. Finalmente, no ensaio 17, obteve-se um G1 de 3,01%, um G2 de 39,55%, um G3 de 32,56%, um G4 de 9,04% e uma fração de finos de 0,23%. De realçar que os valores obtidos, à exceção da fração de finos relativa ao ensaio 16 não se encontram dentro dos limites especificados (Anexo 2.3. Areia de sílica).

Comparando com os valores obtidos na receção do lote da semana 14, todos os ensaios granulométricos apresentam valores de G1 e G2 mais elevados e valores de G3 e G4 inferiores, o que significa que a areia é mais grosseira do que o especificado. Isto é também comprovado pelo índice de finura AFS em que o do fornecedor é de 60,9, o do ensaio 15 de 57,2, o do ensaio 16 de 49,7 e o do ensaio 17 de 52,6.

Para uma mesma fração de resina, quanto menor é o índice de finura AFS, mais elevada tem que ser a dureza dos machos pois um índice de finura mais baixo significa que a areia apresenta grãos mais grossos, sendo necessária uma menor quantidade de resina para aglomerar os grãos de areia. Quanto à fração de finos, quanto maior for o seu valor, menor é a dureza do macho pois os finos apresentam uma maior superfície específica, consumindo uma maior quantidade de resina para a sua aglomeração. A fim de comprovar estas correlações, realizaram-se ensaios em que foram mantidos os parâmetros de fabrico, tendo-se variado apenas as propriedades da areia.

Na Figura 25 pretende-se estabelecer uma correlação entre o índice de finura AFS, a fração de finos e a dureza do macho.

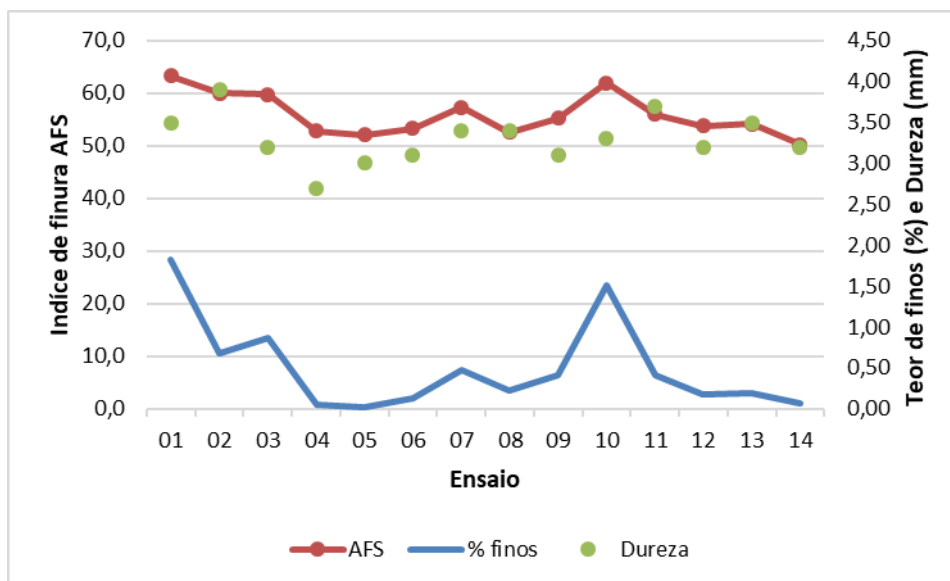


Figura 25 - Correlação entre o índice de finura AFS, fração de finos e a dureza do macho, mantendo os parâmetros de fabrico constantes para uma mesma referência.

Analisando a Figura 25, pode-se concluir que, de uma forma geral, o macho apresenta uma dureza mais elevada para frações de finos e índices de finura AFS mais baixos.

6.2. Evolução da dureza dos machos ao longo do tempo

A evolução da dureza dos machos, ao longo do tempo, foi também outro parâmetro analisado dada a importância de compreender se a dureza se deteriora ao longo do tempo, podendo afetar o processo de moldação posterior. Na Figura 26 está representada a dureza do macho logo à saída da disparadora, e ao fim de 2, 4, 6 e 24 horas, e ainda de 1 mês após o seu fabrico. De realçar que os intervalos de 6 horas e de 1 mês são dois valores críticos visto que o primeiro é o tempo mínimo de cura estipulado para que o macho possa ser utilizado na moldação e o de 1 mês é o prazo de validade máximo para a utilização dos machos.

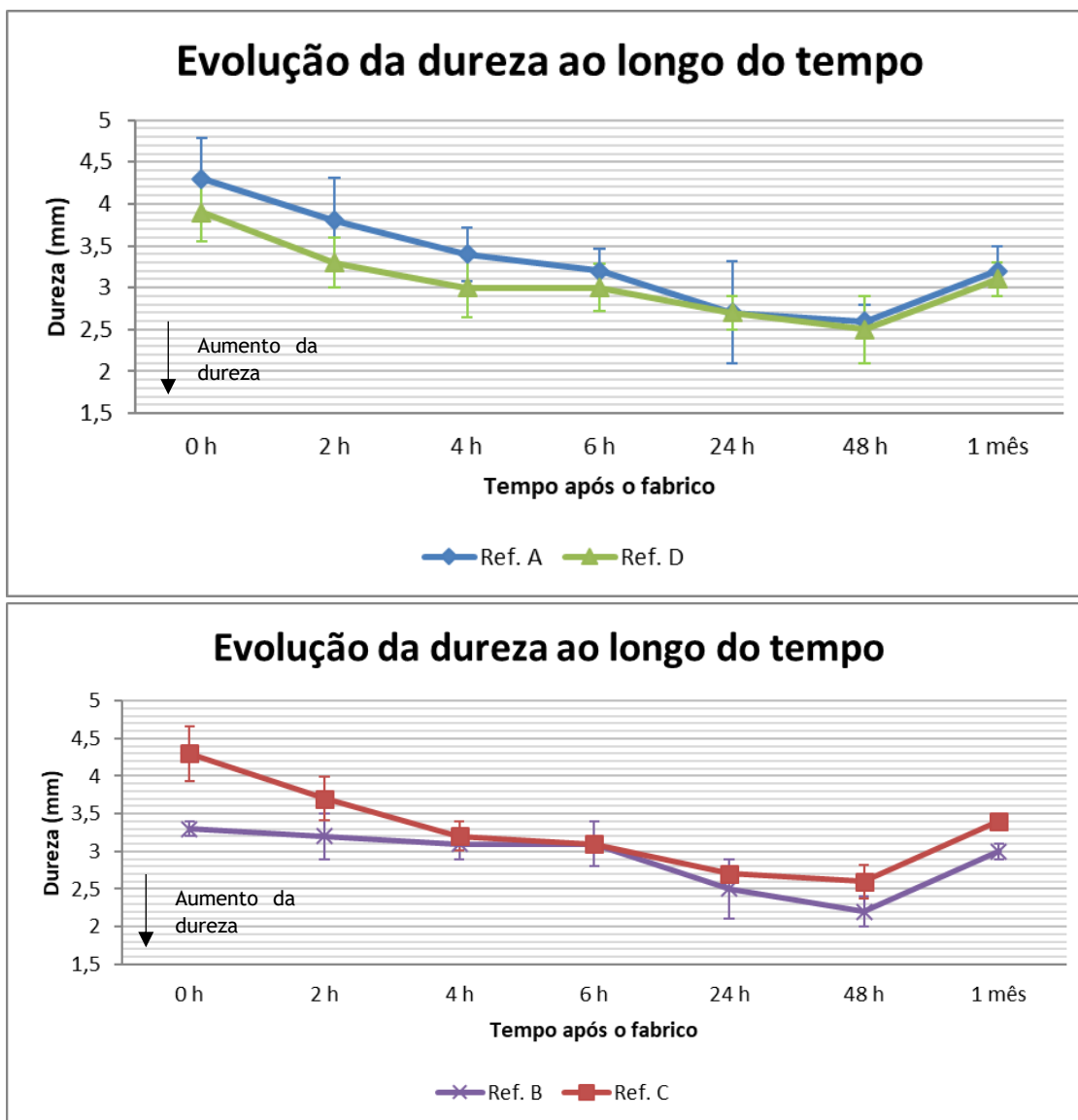


Figura 26 - Evolução da dureza dos machos (referências A, B, C e D) ao longo do tempo após o seu fabrico.

Constata-se um aumento da dureza dos machos, ao longo do tempo, após o seu fabrico.

Verificou-se também que, passado um mês, os machos ainda podem ser utilizados, muito embora já comecem a perder resistência.

6.3. Influência da temperatura da amina

A evolução da dureza do macho em função da temperatura de pré-aquecimento da amina está patente na Figura 27.

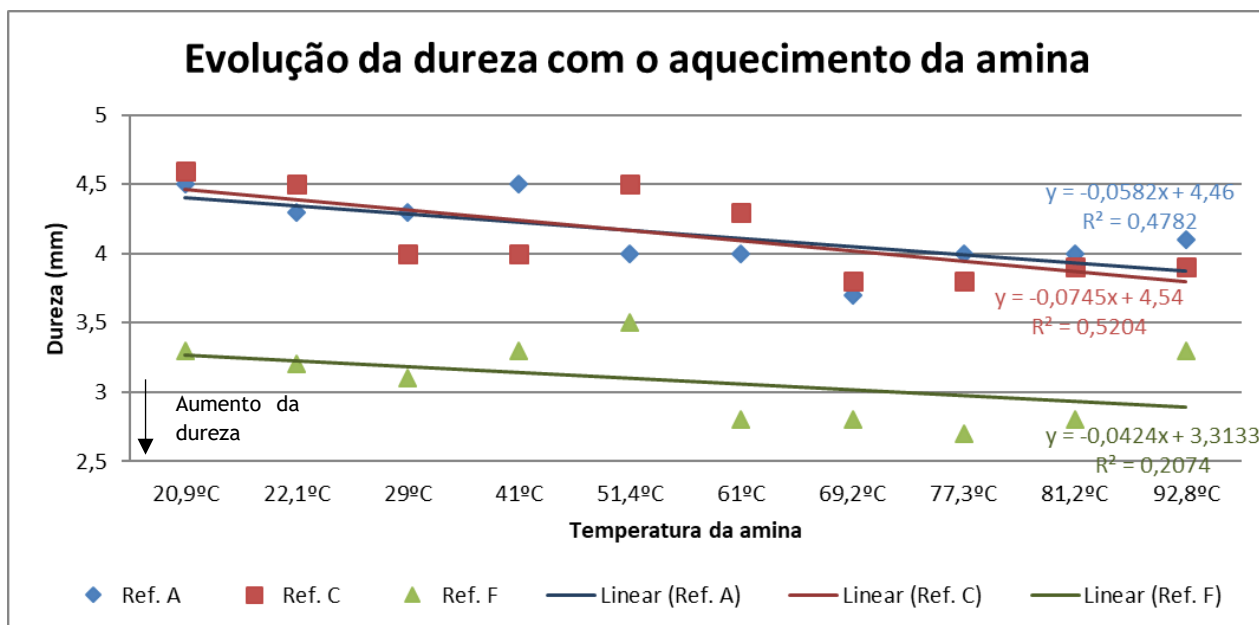


Figura 27 - Evolução da dureza do macho em função da temperatura de pré-aquecimento da amina.

Da análise da Figura 27, verifica-se que as linhas de tendência das três referências apresentam declive negativo, podendo afirmar-se que a resistência do macho aumenta com a temperatura da amina. Este facto resulta do aumento da velocidade da reação das resinas quando se utiliza amina pré-aquecida. No entanto, o aumento da resistência só se verifica até cerca de 70°C; para temperaturas superiores a 80°C, regista-se uma deterioração da resistência do macho.

De modo a avaliar o aquecimento da amina, foram avaliados diferentes tipos de caixa de machos, tais como caixas verticais duplas e caixas horizontais.

6.3.1. Caixas de machos verticais

6.3.1.1. Referência A

Começou-se por analisar a referência A, que é um macho que produz a cavidade interior de uma caixa diferencial. Este macho produzido numa caixa de machos vertical dupla com os machos colocados todos ao mesmo nível (Figura 28). Nesta referência foi possível a produção de machos utilizando amina aquecida.

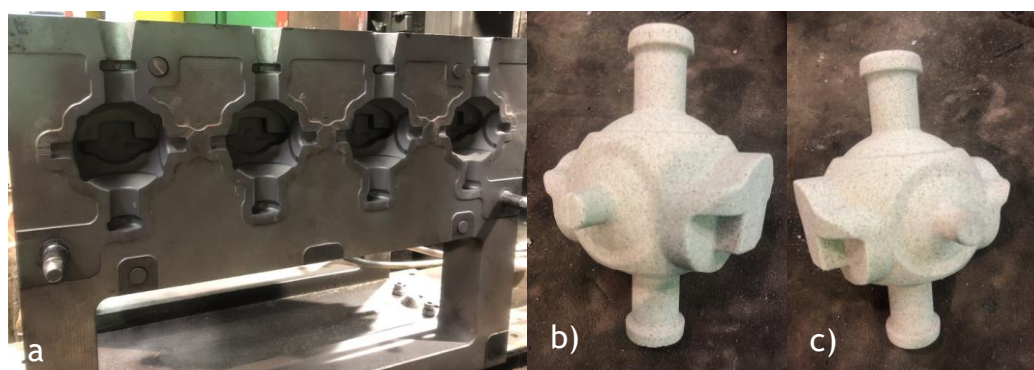


Figura 28 - a) Caixa de machos vertical da referência A, com os machos colocados todos ao mesmo nível; b) e c) macho da referência A.

6.3.1.2. Referência B

Constatou-se que nas caixas verticais duplas, onde as cavidades não se encontram todas ao mesmo nível, não se conseguia produzir machos utilizando amina pré-aquecida. Os machos produzidos com amina pré-aquecida apresentam-se frágeis na zona do canhão (zona com excesso de amina - cor esbranquiçada - Figura 29 b)) nas cavidades superiores. Para tentar minimizar este efeito, procedeu-se à redução do tempo de gaseamento de 4,5 segundos para 3 segundos. Com a redução do tempo de gaseamento, a amina não chegava à parte de baixo dos machos das cavidades inferiores, tal como se pode observar na Figura 29 c), e os machos das cavidades superiores continuavam a partir. Aumentando o tempo de cura, conseguia-se que a amina chegasse às cavidades inferiores, mas aumentava-se a duração de cada ciclo, diminuindo a produtividade. Assim sendo, conclui-se que, neste tipo de caixa de machos, apesar de ser possível a produção de machos utilizando amina pré-aquecida, o aumento do tempo de cura não é aceitável pois diminui significativamente a produtividade. Verificou-se que, utilizando a amina pré-aquecida, consegue-se encurtar o tempo de gaseamento e, consequentemente, baixar o consumo de amina.

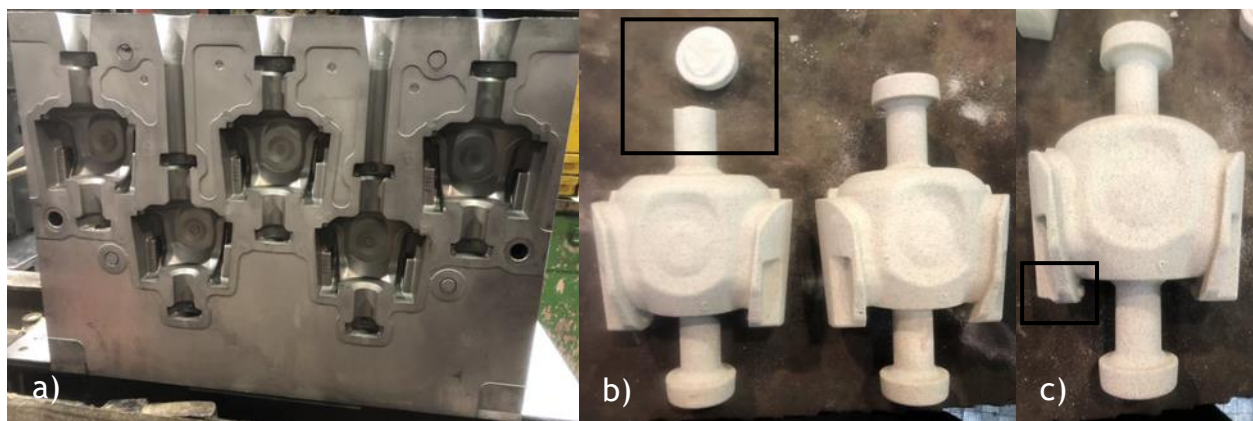


Figura 29 - a) Caixa de machos vertical da referência B com machos a diferentes níveis; b) à esquerda, macho partido no canhão por excesso de amina e, à direita, macho padrão; c) macho onde se registou deficiência de amina.

6.3.2. Caixas de machos horizontais

6.3.2.1. Referência C

Seguidamente, analisou-se o pré-aquecimento da amina numa caixa horizontal (Figura 30) e, tal como na referência A, conseguiu-se o fabrico de machos.

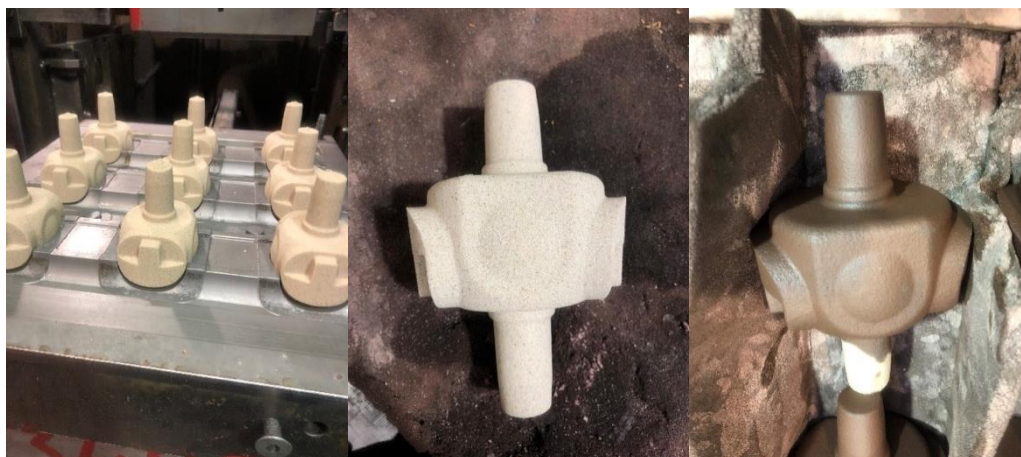


Figura 30 - Caixa de machos horizontal e machos da referência C.

6.4. Variação dos parâmetros de fabrico

Modificaram-se diversos parâmetros de fabrico de modo a encontrar a melhor solução em termos de consumo e produtividade para as diferentes referências testadas (A, B, C, F e G).

6.4.1. Referência A

Para a referência A, testaram-se várias condições (Tabela 5) de modo a otimizar o processo para esta referência, tendo em conta o procedimento de fabrico patente na Figura 31. Na Figura 32 são apresentadas as durezas (profundidade de penetração da fresa) para as diferentes condições testadas. Neste ensaio, modificou-se a temperatura da amina, a fração de resina, e o tempo de gaseamento e de cura, mantendo os outros parâmetros da disparadora nos seguintes valores:

- Pressão de injeção da mistura: 5,5 kg/cm²;
- Pressão de cura: 4 kg/cm²;
- Tempo de disparo: 2,4 s;
- *Batch* de areia: 100 kg.

De modo a verificar se os machos apresentavam dureza suficiente nas condições testadas, considerou-se a especificação de dureza (profundidade de penetração) para esta referência: 2-4,5 mm.

Métodos de Fabrico - Macharia

Cliente: _____

Macho: A ☐ DISAS ☐ CF Peso do Macho (Kg): 0.650 Peças/macho (uni): 1 Macho Principal ☐

Acabamento/Pintura

Rebarbagem á saída da máquina: ☒ Sim ☐ Não

Tinta: ☒ Sim ☐ Não Densidade: 3 ± 2 Baume

Embalamento

Tipo: _____ Qtd: _____

Paleta: 350

Alternativo: 252

Sub Machos

Imagens



Zona máxima Obrigatória de pintura.

Parâmetros de Funcionamento

Máquina	ARAB.12		LORA.13		LORA.16	
Ins.						
Descrição	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Pressão de Injecção	2	6	2	6	2	6
Pressão de Gaseio	2	6	2	6	2	6
Tempo de Injecção	2.5	4.5	2.5	4.5	2.5	4.5
Tempo de Gaseio	1.5	5	1.5	5	1.5	5
Tempo de Cura	15	30	15	30	15	30
Escape rápido						
Ciclo	72		72		72	
Aberturas/hora 1 Op.	40		40		40	
Aberturas/hora 2 Op.						
Batch Areia (1 Op.)	50		50		50	
Batch Areia (2 Op.)						

Unid.

kg/cm2

kg/cm2

seg

seg

seg

seg

seg

unid.

unid.

Kg

Kg

Observações

ATENÇÃO: Após cada abertura soprar caixa de forma a não ficar areia depositada de abertura para abertura.

Figura 31 - Procedimento de fabrico de machos da referência A.

Tabela 5 - Condições testadas para o fabrico de machos da referência A (parâmetros alterados com base no método de tentativa e erro)

Condição	% resina	Tempo de gaseamento (s)	Tempo de cura (s)	Temperatura da amina (°C)
1.	1,6	3,8	16	20,5
2.	1,6	3,8	16	72
3.	1,6	3	16	72
4.	1,4	3	16	72
5.	1,4	3,4	16	21
6.	1,6	3	16	72
7.	1,4	2,5	16	72
8.	1,7	3	15	19,8
9.	1,6	3	15	72
10.	1,6	2,5	15	72
11.	1,7	3,6	15	16
12.	1,6	3,6	15	72
13.	1,6	3	15	72
14.	1,6	2,5	15	72
15.	1,5	2,5	15	72

Uma vez que, após as primeiras leituras, constatou-se que a fresa do durómetro se apresentava deficientemente afiada, repetiram-se todos os ensaios até à condição 7 (inclusive). Da análise da Figura 32, constata-se que as durezas (determinadas imediatamente após a saída do macho da respetiva caixa) relativas às condições 8, 9 e 10 se situam acima do limite especificado, apesar de as amostras apresentarem uma fração

de resina superior à das condições realizadas posteriormente. Tal facto pode ser justificado devido à areia utilizada para fabricar os machos segundo essas condições apresentarem uma elevada fração de finos (0,87%).

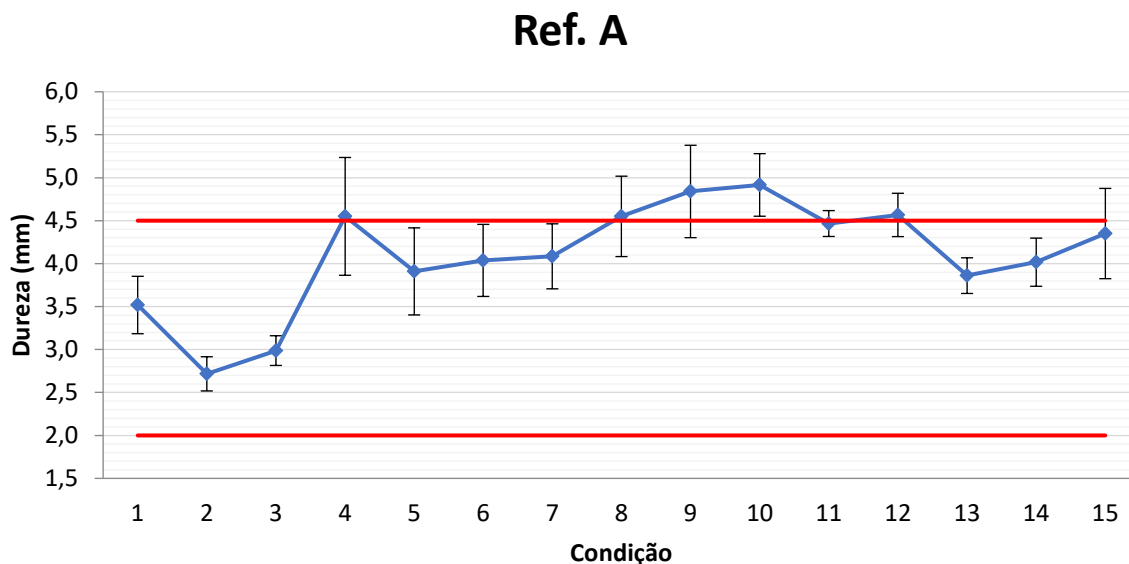


Figura 32 - Variação da dureza (profundidade de penetração) de machos da referência A para diferentes condições de teste (as duas linhas vermelhas estabelecem os limites especificados: 2-4,5 mm).

Segundo o fornecedor (ASK Chemicals), a fração de amina deve corresponder a 10 a 20% do peso da resina. Deste modo, calculou-se a quantidade de amina necessária para a referência A quando se utiliza 1,5% de resina. Para isso, é necessário saber a quantidade de resina que se utiliza numa abertura. Sabendo que um macho da referência A pesa 0,650 kg e que cada caixa permite produzir 8 machos em simultâneo, calcularam-se os pesos de areia e de resina gastos por injeção:

$$650 \times 8 = 5200 \text{ g de areia por abertura}$$

$$1,5\% \times 5200 = 78 \text{ g de resina por abertura}$$

Sabendo que a massa volúmica (a 20°C) da amina varia entre 0,672 e 0,681 g/cm³ e que a amina deverá corresponder a 10-20% do peso da resina, calculou-se a quantidade de amina (tendo-se assumido o valor de 15%) a utilizar:

$$15\% \times 78 = 11,7 \text{ g de amina por abertura}$$

$$\rho = m/V \Leftrightarrow 0,672 = 11,7/V \Leftrightarrow V = 17,4 \text{ ml}$$

Analisando a Figura 32, conclui-se que o melhor resultado foi obtido para a condição 15 (1,5% de resina, tempo de gaseamento de 2,5 segundos e tempo de cura de 15 segundos). Na referência A conseguiu-se uma redução do tempo de cura em 1 segundo (6,3%), uma redução do tempo de gaseamento em 1,3 segundos (34,2%), o que se traduz

numa redução das quantidades de amina de 25 ml para 14,5 ml (42%) e de 0,2% de resina (11,8%). Por sua vez, a duração de cada ciclo foi encurtada em 2,3 segundos (11,6%).

Para esta condição, calculou-se a fração de amina utilizada:

$$\rho = m/V \Leftrightarrow 0,672 = m/14,5 \Leftrightarrow m = 9,74 \text{ g de amina}$$

$$\% \text{ amina} = m_{\text{amina}}/m_{\text{resina}} \times 100 \Leftrightarrow \% \text{ amina} = 9,74/78 \times 100 = 12,49\%$$

Constata-se que a solução encontrada utiliza uma fração de amina na gama de valores aconselhados pelo fornecedor.

Para validar as alterações dos parâmetros, foram fundidos componentes, tendo sido consumida uma paleta de machos (350 machos) produzidos segundo a condição 15. Algumas das peças obtidas são apresentadas na Figura 33. O ensaio apresentou uma taxa de refugo de 0,3% (3400 ppm), não se tendo detetado qualquer tipo de defeito que tivesse a sua origem no macho. Assim, atendendo a que esta referência apresenta uma taxa de refugo média de 0,4% (4200 ppm), pode-se afirmar que os machos produzidos segundo a condição 15 podem ser utilizados sem originarem defeitos.



Figura 33 - Componente obtido no ensaio, em que foram utilizados machos da referência A produzidos segundo a condição 15.

6.4.2. Referência B

Como não se conseguia produzir machos da referência B, com o pré-aquecimento da amina, procedeu-se à variação de parâmetros do processo de fabrico, nomeadamente: a fração de resina e os tempos de gaseamento e de cura (Figura 34).

Na Figura 35 estão patentes os resultados de dureza (profundidade de penetração da fresa) obtidos para as diferentes condições testadas (Tabela 6); a especificação da dureza nesta referência é de 3 a 5,5 mm.

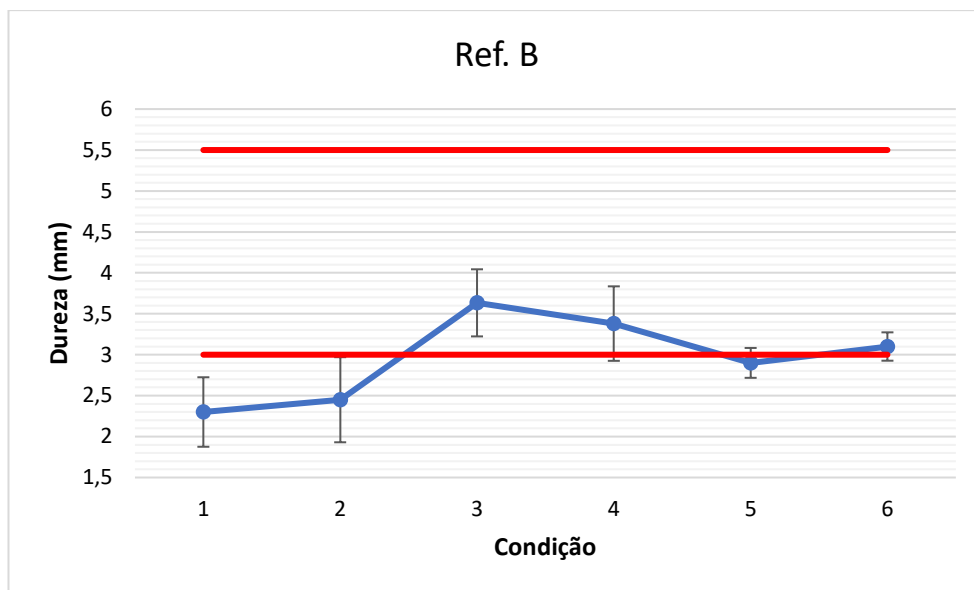


Figura 35 - Variação da dureza (profundidade de penetração) de machos da referência B para diferentes condições de teste (as duas linhas vermelhas estabelecem os limites especificados: 3-5,5 mm).

Para a referência B, também se calculou a fração de amina utilizada para a melhor condição obtida. Sabendo que se utilizou 1,7% de resina, um tempo de gaseamento de 4 segundos ($28 \pm 0,5$ ml de amina), que um macho da referência B pesa 1,200 kg e que, por cada injeção, se produzem 10 machos, calculou-se o peso de areia, de resina consumido por injeção e a fração de resina utilizada:

$$1200 \times 10 = 12000 \text{ g de areia por abertura}$$

$$1,7\% \times 12000 = 204 \text{ g de resina por abertura}$$

$$\rho = m/V \Leftrightarrow 0,672 = m/28 \Leftrightarrow m = 18,82 \text{ g de amina}$$

$$\% \text{ amina} = m_{\text{amina}}/m_{\text{resina}} \times 100 \Leftrightarrow \% \text{ amina} = 18,82/204 \times 100 = 9,23\%$$

Conclui-se assim que os melhores resultados foram obtidos para uma fração de amina inferior à aconselhada pelo fornecedor; no entanto, afigura-se viável produzir machos sob esta condição.

Para a referência B, conseguiu-se uma redução do tempo de gaseamento em 1 segundo (20%), embora com um aumento de cura em 1 segundo (6,7%), o que se traduz numa redução da quantidade de amina de 33 ml para 28 ml (15,2%) e uma redução de 0,1% de resina (5,6%), mantendo-se inalterada a duração de cada ciclo.

6.4.3. Referência C

A referência C é fabricada numa caixa de machos horizontal, sendo o macho utilizado para a produção de uma caixa diferencial. Para esta referência, testaram-se

diversas condições (Tabela 57) visando a otimização do processo, segundo o procedimento de fabrico apresentado na Figura 36.

Métodos de Fabrico - Macharia

Cliente

Macho A

DISAS

GF

Peso do Macho (Kg)

0.605

Peças/macho (uni)

1

Macho Principal

Acabamento/Pintura

Rebarbagem á saída da máquina

Sim

Não

Tinta

Sim

Não

Densidade

3 ± 2 Baume

Embalamento

Tipo

Paleta

Qtd.

350

Sub Machos

Imagens

Apagar

Zona mínima obrigatoria de pintura

Apagar

Embalamento em Paleta com 7 Níveis, 50 machos em cada.

Unid.

kg/cm2

kg/cm2

seg

seg

seg

seg

unid.

unid.

Kg

Kg

Parâmetros de Funcionamento

Máquina	ARAB.12	LORA.13	LORA.16			
Ins.						
Descrição	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Pressão de Injecção	2	6	2	6	2	6
Pressão de Gaseio	1.5	3	1.5	3	1.5	3
Tempo de Injecção	2	4.5	2	4.5	2	4.5
Tempo de Gaseio	2	4	2	4	2	4
Tempo de Cura	15	25	15	25	15	25
Escape rápido						
Ciclo		42		42		42
Aberturas/hora 1 Op.		40		40		40
Aberturas/hora 2 Op.						
Batch Areia (1 Op.)						
Batch Areia (2 Op.)						

Observações

Figura 36 - Procedimento de fabrico de machos da referência C.

Neste ensaio, modificaram-se a temperatura de amina, a fração de resina, os tempos de gaseamento e de cura, tendo-se mantido os outros parâmetros da disparadora nos seguintes valores:

- Pressão de injeção da mistura: 4,5 kg/cm²;
- Pressão de cura: 4 kg/cm²;
- Tempo de disparo: 2,4 s;
- *Batch* de areia: 100 kg.

Na análise da dureza dos machos, tomou-se por referência a especificação (profundidade de penetração) para esta referência: 3-5,5 mm.

Na Figura 37 são apresentadas as durezas para as várias condições testadas. O melhor resultado encontrado foi para a condição 11 (1,5% de resina, tempo de gaseamento de 2,4 segundos, tempo de cura de 15 segundos e utilização de amina pré-aquecida). Apesar de o limite especificado de dureza ser de 3,0 a 5,5 mm, verifica-se que machos, com dureza (profundidade de penetração) de 5,5, apresentavam alguma friabilidade.

Tabela 7 - Condições testadas para o fabrico de machos da referência C (parâmetros alterados com base no método de tentativa e erro)

Condição	% resina	Tempo de gaseamento (s)	Tempo de cura (s)	Temperatura da amina (°C)
1.	1,7	3,5	11	17,5
2.	1,7	3,5	11	72
3.	1,6	3,5	11	72
4.	1,6	2,5	15	72
5.	1,7	4	16	72
6.	1,8	3,5	16	Durante o aquecimento
7.	1,8	2,5	16	72
8.	1,6	2,5	16	72
9.	1,7	2,4	15	72
10.	1,6	2,4	15	72
11.	1,5	2,4	15	72

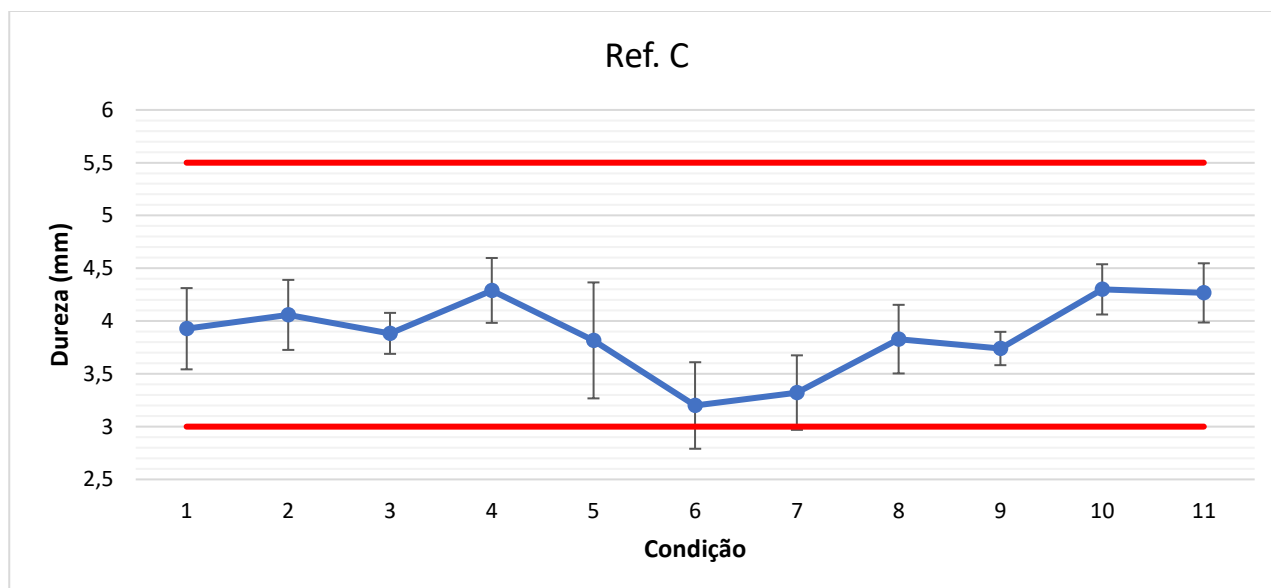


Figura 37 - Variação da dureza (profundidade de penetração) de machos da referência C para diferentes condições de teste (as duas linhas vermelhas estabelecem os limites especificados: 3-5,5 mm).

Para a referência C, calculou-se a fração de amina utilizada para a melhor condição obtida. Sabendo que cada macho dessa referência pesa 0,605 kg, que se fabricam 9 figuras por abertura, que se utilizou 1,5% de resina e um tempo de gaseamento de 2,4 segundos ($14 \pm 0,5$ ml de amina), calcularam-se os pesos de areia, de resina consumido por abertura e a fração de amina utilizada:

$$605 \times 9 = 5445 \text{ g de areia por abertura}$$

$$1,5\% \times 5445 = 81,68 \text{ g de resina por abertura}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow 0,672 = \frac{m}{14} \Leftrightarrow m = 9,41 \text{ g de amina}$$

$$\% \text{ amina} = \frac{m_{\text{amina}}}{m_{\text{resina}}} \times 100 \Leftrightarrow \% \text{ amina} = \frac{9,41}{81,68} \times 100 = 11,52 \%$$

Conclui-se assim que a solução encontrada utiliza uma fração de amina dentro da especificação aconselhada pelo fornecedor. Para esta referência conseguiu-se uma redução do tempo de gaseamento em 1,6 segundos (40%), mas com um aumento do tempo de cura em 4 segundos (36,4%), que se traduz num aumento da duração de cada ciclo em 2,4 segundos (16,0%). No entanto, este acréscimo de tempo era necessário para manter a condição dentro do método de fabrico. Nesta condição, alcançou-se uma redução da quantidade de amina de 22,5 ml para 14 ml (37,8%) e uma redução de 0,2% de resina (11,8%).

6.4.4. Referência F

Seguidamente, analisou-se a referência F, referente a um macho utilizado na produção de uma caixa diferencial. Este macho é produzido a partir de uma caixa vertical dupla, com os machos colocados todos ao mesmo nível. O procedimento de fabrico desta referência é apresentado na Figura 38.

Métodos de Fabrico - Macharia

Cliente

Echar

Macho

A

DISAS

GF

Peso do Macho (Kg)

1.070

Peças/macho (uni)

1

Macho Principal

Acabamento/Pintura

Rebarbagem á saída da máquina

Sim

Não

Tinta

Sim

Não

Densidade

3 ± 2 Baume

Embalamento

Tipo

Paleta

Qtd.

245

Sub Machos

Parâmetros de Funcionamento

Máquina	ARAB.12		LORA.13		LORA.16	
Ins.						
Descrição	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Pressão de Injecção	2	6	2	6	2	6
Pressão de Gaseio	2	6	2	6	2	6
Tempo de Injecção	2.5	4.5	2.5	4.5	2.5	4.5
Tempo de Gaseio	1.5	5	1.5	5	1.5	5
Tempo de Cura	15	30	15	30	15	30
Escape rápido						
Ciclo	96		96		96	
Aberturas/hora 1 Op.	30		30		30	
Aberturas/hora 2 Op.						
Batch Areia (1 Op.)	100		100		100	
Batch Areia (2 Op.)	100		100		100	

Observações

ATENÇÃO - densidade da tinta aproximada para limite superior.

Imagens

Zona mínima Obrigatória de pintura.

Apagar

Partir o gito e se necessário rebarbar a zona de quebra.

kg/cm2

kg/cm2

seg

seg

seg

seg

unid.

unid.

Kg

Kg

Embalamento em Paleta, 35 machos por nível num total de 7 níveis.

Apagar

Figura 38 - Procedimento de fabrico de machos da referência F.

Na Figura 39 poderão ser observadas as durezas obtidas para as várias condições ensaiadas; a especificação de dureza (profundidade de penetração) para esta referência é de 3 a 5,5 mm.

Tabela 8 - Condições testadas para o fabrico de machos da referência F (parâmetros alterados com base no método de tentativa e erro)

Condição	% resina	Tempo de gaseamento (s)	Tempo de cura (s)
1.	1,8	5	20
2.	1,6	5	20
3.	1,6	3,5	18
4.	1,5	3,5	18
5.	1,7	4,5	15
6.	1,6	4,5	15

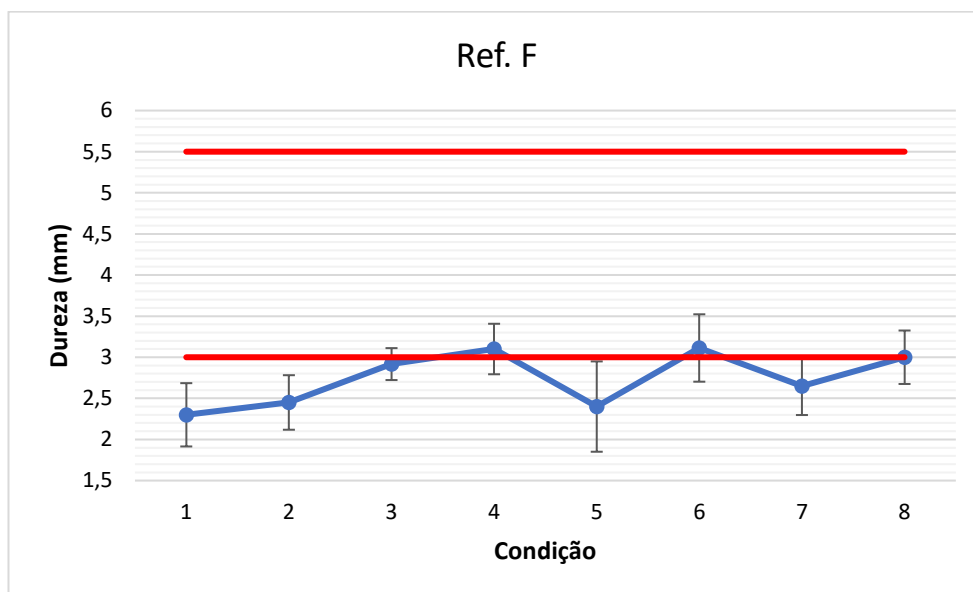


Figura 39 - Variação da dureza (profundidade de penetração) de machos da referência F para diferentes condições de teste (as duas linhas vermelhas estabelecem os limites especificados: 3-5,5 mm).

Pode-se concluir que a melhor condição obtida para esta referência é a condição 4, embora ainda haja campo para otimizar a produção desta referência pois os valores de dureza obtidos ainda estão longe do limite superior especificado. No entanto, como na melhor condição, já se utiliza 1,5% de resina, é importante ter em atenção que a presença de finos numa carga pode fazer com que a resistência do macho diminua e que a dureza saia fora das especificações.

Para a referência F, também se calculou a fração de amina utilizada para a melhor condição obtida. Sabendo que um macho da referência F pesa 1,070 kg, que se produzem 10 figuras por abertura, que se utilizou 1,5% de resina e um tempo de gaseamento de 3,5 segundos ($22,5 \pm 0,5$ ml de amina), calcularam-se os pesos de areia e de resina por abertura e a fração de amina utilizada.

$$1070 \times 10 = 10700 \text{ g de areia por abertura}$$

$$1,5\% \times 10700 = 160,5 \text{ g de resina por abertura}$$

$$\rho = m/V \Leftrightarrow 0,672 = m/22,5 \Leftrightarrow m = 15,12 \text{ g de amina}$$

$$\% \text{ amina} = m_{\text{amina}}/m_{\text{resina}} \times 100 \Leftrightarrow \% \text{ amina} = 15,12/160,5 \times 100 = 9,42 \%$$

Conclui-se assim que, para a situação 4, se utiliza uma fração de amina inferior à aconselhada pelo fornecedor, muito embora tenha sido possível fabricar machos com estes parâmetros.

Na referência F, conseguiu-se uma redução do tempo de cura em 2 segundos (10%), uma redução do tempo de gaseamento em 1,5 segundos (30%), o que se traduz numa redução da duração de cada ciclo em 3,5 segundos (14%), e da quantidade de amina de 33 ml para 22,5 ml (31,8%). Verifica-se também uma redução de 0,3% na fração de resina (16,7%).

No entanto, para a condição 6, apesar da utilização de um tempo de gaseamento superior (4,5 segundos) e, consequentemente, de uma maior quantidade (31 ± 0,5 ml) de amina, consegue-se uma maior redução da duração de cada ciclo (5,5 segundos) devido ao menor tempo de cura utilizado (15 segundos). Contudo, para esta condição, só se consegue uma poupança de 0,2% de resina.

6.4.5. Referência G

A referência G é relativa a um macho utilizado no fabrico de corpos de travão, sendo produzida numa caixa de machos horizontal. A Figura 40 apresenta o procedimento de fabrico desta referência.

Métodos de Fabrico - Macharia

Ciente

Eechar

Macho A

DISAS

GF

Peso do Macho (Kg)

0.313

Peças/macho (uni)

1

Macho Principal

Acabamento/Pintura

Rebarbagem á saída da máquina

Sim

Não

Tinta

Sim

Não

Densidade

3 ± 2 Baume

Embalamento

Tipo

Paleta

Qtd.

420

Sub Machos

Parâmetros de Funcionamento

Máquina	ARAB.12	LORA.13	LORA.16	LAEMP17
Ins.				
Descrição				
	Mín. Máx.	Mín. Máx.	Mín. Máx.	Mín. Máx.
Pressão de Injecção	3 6	3 6	3 6	3 6
Pressão de Gaseio	2 6	2 6	2 6	2 6
Tempo de Injecção	1 5	1 5	1 5	1 5
Tempo de Gaseio	2 6	2 6	2 6	2 6
Tempo de Cura	15 30	15 30	15 30	15 30
Escape rápido				
Ciclo	76	76	76	76
Aberturas/hora 1 Op.	25	25	25	25
Aberturas/hora 2 Op.				
Batch Areia (1 Op.)	50	50	50	50
Batch Areia (2 Op.)	100	100	100	100

Observações

Ultimo Nivel machos deitados de lado.

Imagens

Zona mínima Obrigatória de pintura.

Unid.

kg/cm2

kg/cm2

seg

seg

seg

seg

unid.

unid.

Kg

Kg

Apagar

fila de 10 machos * 6 machos, num total de 7 níveis.

Apagar

Figura 40 - Procedimento de fabrico de machos da referência G.

45

Na Tabela 9 são apresentadas as condições testadas no fabrico desta referência; os resultados de dureza obtidos estão patentes na Figura 41. A especificação de dureza (profundidade de penetração) para esta referência é igualmente de 3-5,5 mm.

Tabela 9 - Condições testadas para o fabrico de machos da referência G (parâmetros alterados com base no método de tentativa e erro)

Condição	% resina	Tempo de gaseamento (s)	Tempo de cura (s)
1.	1,7	3,5	25
2.	1,7	3	25
3.	1,7	2,5	25
4.	1,5	2,5	25

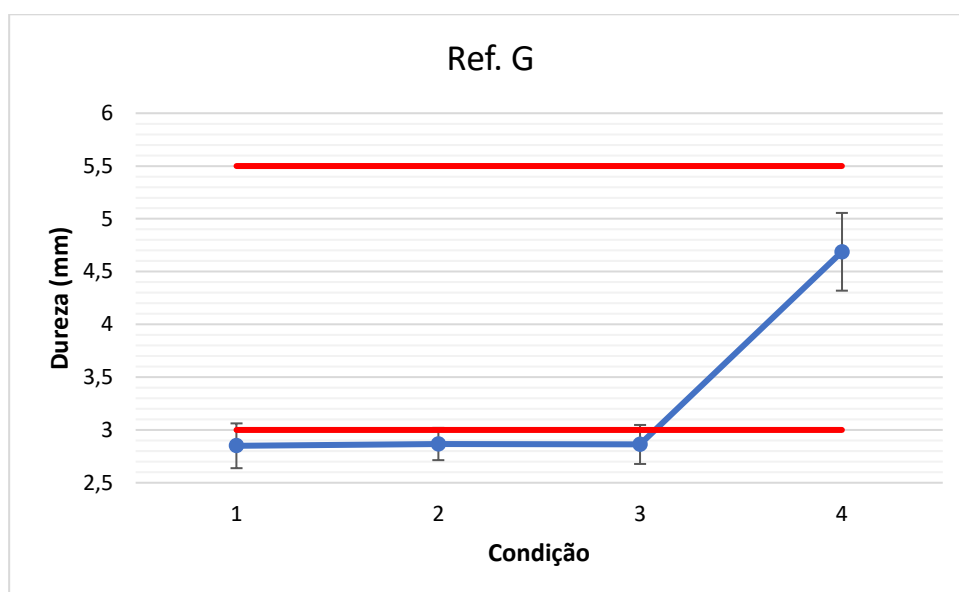


Figura 41 - Variação da dureza (profundidade de penetração) de machos da referência G para diferentes condições de teste (as duas linhas vermelhas estabelecem os limites especificados: 3-5,5 mm).

O melhor resultado foi obtido para a condição 4. Pode-se também afirmar que a diminuição do tempo de gaseamento não afetou a dureza do macho.

Sabendo que um macho da referência G pesa 0,313 kg, que se obtêm 24 figuras por abertura, que se utilizou 1,5% de resina e um tempo de gaseamento de 2,5 segundos (14,5 ± 0,5 ml de amina), calcularam-se o peso de areia, de resina consumido por abertura e a fração de amina utilizada.

$$313 \times 24 = 7512 \text{ g de areia por abertura}$$

$$1,5\% \times 7512 = 112,68 \text{ g de resina por abertura}$$

$$\rho = m/V \Leftrightarrow 0,672 = m/14,5 \Leftrightarrow m = 9,74 \text{ g de amina}$$

$$\% \text{ amina} = m_{\text{amina}}/m_{\text{resina}} \times 100 \Leftrightarrow \% \text{ amina} = 9,74/112,68 \times 100 = 8,64 \%$$

Conclui-se assim que, para esta condição, se utiliza uma fração de amina inferior à aconselhada pelo fornecedor. Assim sendo, conseguiu-se uma redução do tempo de gaseamento em 1 segundo (28,6%), que se traduz numa redução da fração de amina de 22,5 ml para 14,5 ml (35,6%) e de 0,2% de resina (11,8%), bem como um encurtamento de cada ciclo em 1 segundo (3,5%).

6.5. Efeito da pressão de injeção da mistura e da pressão de cura

Como já referido anteriormente, uma baixa pressão de injeção da mistura provoca uma má compactação do macho e/ou um enchimento incompleto da caixa de machos. Na Figura 42 - a é apresentada a imagem dum macho relativo à referência E produzido para uma pressão de injeção 4 kg/cm^2 (valor normalmente utilizado); por sua vez, na Figura 42 - b e c poder-se-ão observar imagens de machos produzidos para uma pressão mais baixa (2 kg/cm^2), constante do procedimento de fabrico.

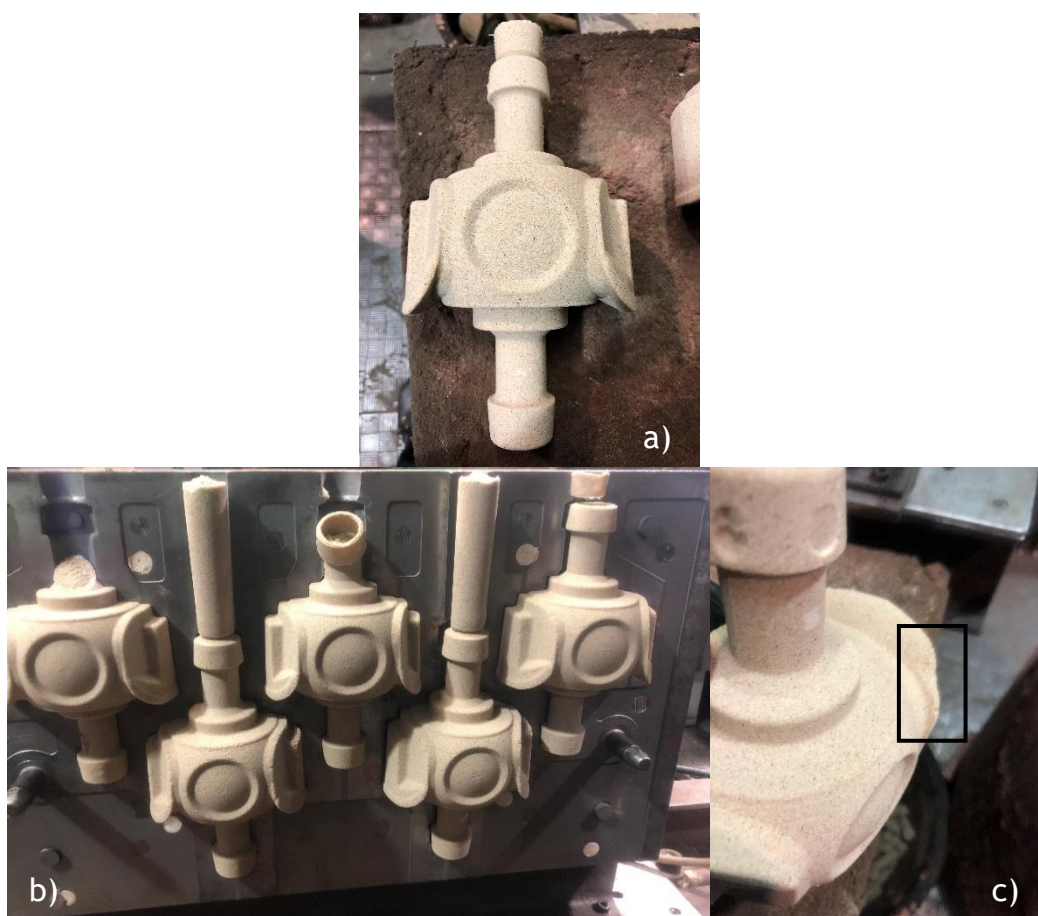


Figura 42 - Machos da referência E produzidos para uma pressão de injeção da mistura de: a) 4 kg/cm^2 ; b) 2 kg/cm^2 ; em c) é visível o defeito associado à má compactação na zona da janela.

Como esperado, para uma pressão de injeção da mistura de 2 kg/cm^2 , os machos apresentavam deficiências de compactação, principalmente numa zona com pormenores mais finos, correspondente à janela da caixa diferencial (Figura 42 - c), tendo-se também registado falhas de enchimento da caixa de machos (Figura 42 - b). Quanto à dureza (profundidade de penetração), verificou-se o seu aumento de $4 \pm 0,3$, para a pressão de injeção de 4 kg/cm^2 , para $5,1 \pm 0,2$, quando se utilizou uma pressão de injeção de 2

kg/cm². Isto verifica-se devido à má compactação da areia de macho pois ficam espaços entre os grãos de areia e, por isso, a resistência à penetração da fresa é menor.

Na Figura 43, pode-se observar o efeito do aumento da pressão de cura; como esperado, a zona da injeção fica escavacada devido a utilizar-se uma elevada pressão.



Figura 43 - Macho produzido utilizando uma elevada pressão de cura.

6.6. Ensaios de flexão

Os ensaios de flexão têm como objetivo avaliar o efeito das variações dos parâmetros do processo na resistência à flexão. Para o fabrico dos provetes, utilizou-se uma caixa de machos horizontal que apresenta uma cavidade para a produção destes provetes.

O estudo incidiu sobre machos da referência H. A Figura 44 apresenta o procedimento de fabrico da referência H; por sua vez, na Figura 45 poder-se-á observar uma imagem da caixa de machos, com as respetivas cavidades para o fabrico dos machos propriamente ditos e dos provetes para os ensaios de flexão.

Métodos de Fabrico - Macharia

Cliente

Macho ☐ DISAS ☒ GF Peso do Macho (Kg) 1.165 Peças/macho (uni) 1 Macho Principal ☐

Acabamento/Pintura
 Rebarbagem á saída da máquina ☐ Sim ☒ Não
 Tinta ☐ Sim ☒ Não Densidade ± Baume

Embalamento
 Tipo Qtd.
 Paleta 168

Sub Machos

Parâmetros de Funcionamento

Máquina	LORA.11		ARAB.12		LORA.13		LORA.16	
Ins.								
Descrição	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Pressão de Injecção	2	6	2	6	2	6	2	6
Pressão de Gaseio	1.5	4.5	1.5	4.5	1.5	4.5	1.5	4.5
Tempo de Injecção	1.5	4	1.5	4	1.5	4	1.5	4
Tempo de Gaseio	1	3	1	3	1	3	1	3
Tempo de Cura	15	30	15	30	15	30	15	30
Escape rápido								
Ciclo	60		60		60		60	
Aberturas/hora 1 Op.	42		42		42		42	
Aberturas/hora 2 Op.								
Batch Areia (1 Op.)	50		50		50		50	
Batch Areia (2 Op.)								

Observações
 PASSAR FILTRO NA ZONA DE INJECCÃO DE AREIA, sem retirar areia da zona de apoio na peça.

Colocar espuma por baixo dos machos.

Imagens

Unid.
 kg/cm2
 kg/cm2
 seg
 seg
 seg
 seg
 seg
 unid.
 unid.
 Kg
 Kg

Figura 44 - Procedimento de fabrico de machos da referência H e de provetes para os ensaios de flexão.

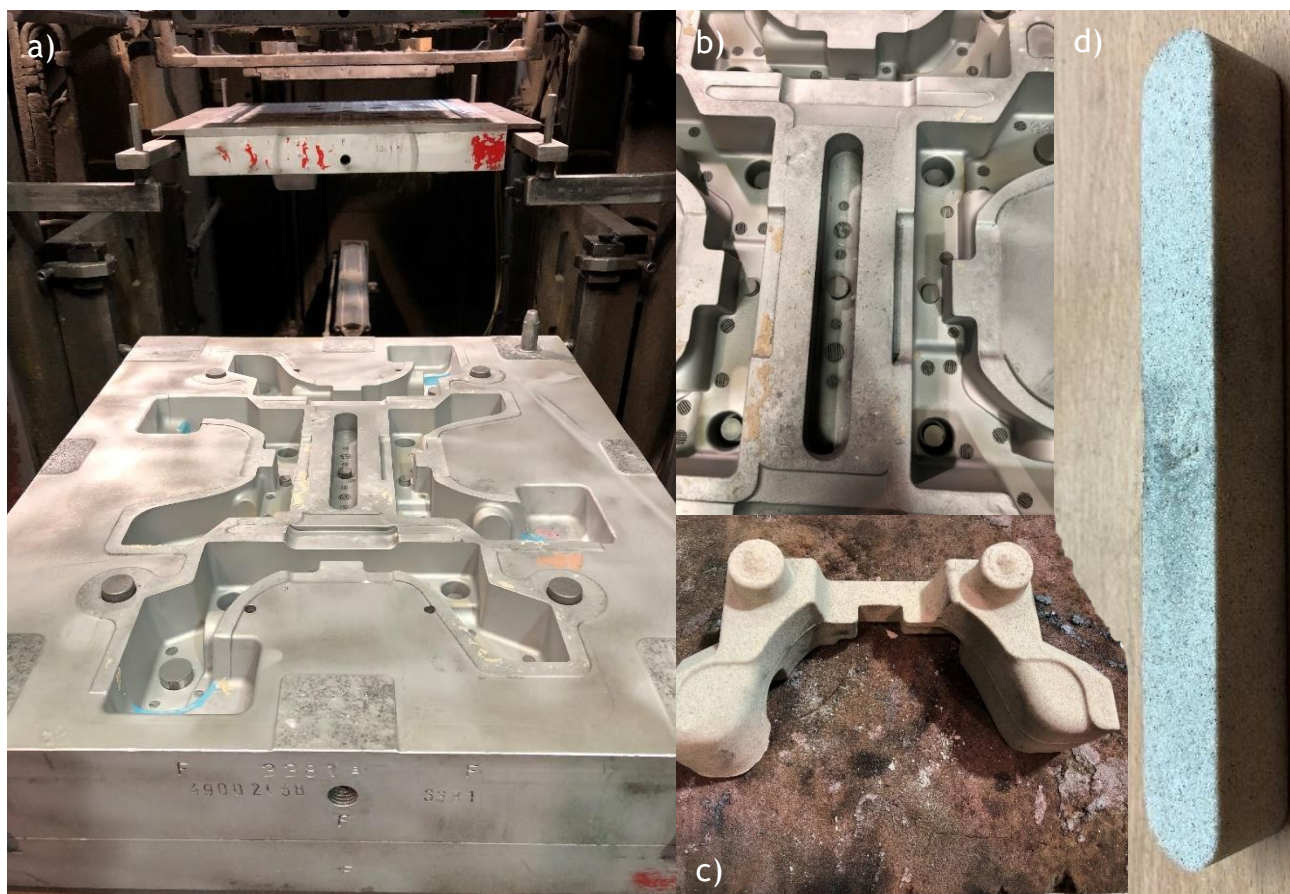


Figura 45 - Referência H: a e b) Caixa de machos; c) macho e d) provete para ensaio de flexão.

A Figura 46 apresenta imagens da montagem utilizada para a realização dos ensaios, sendo possível observar o provete já devidamente colocado no equipamento de ensaio, e dos provetes após a sua rotura.



Figura 46 - Equipamento para o ensaio de flexão (à esquerda), e provetes após rotura (à direita).

Na Figura 47 são apresentados os resultados da resistência à flexão dos provetes de areia de macho em função dos parâmetros processuais (tempo de gaseamento, tempo de cura, fração de resina e temperatura da amina) que foram alvo de modificação ao longo dos ensaios.

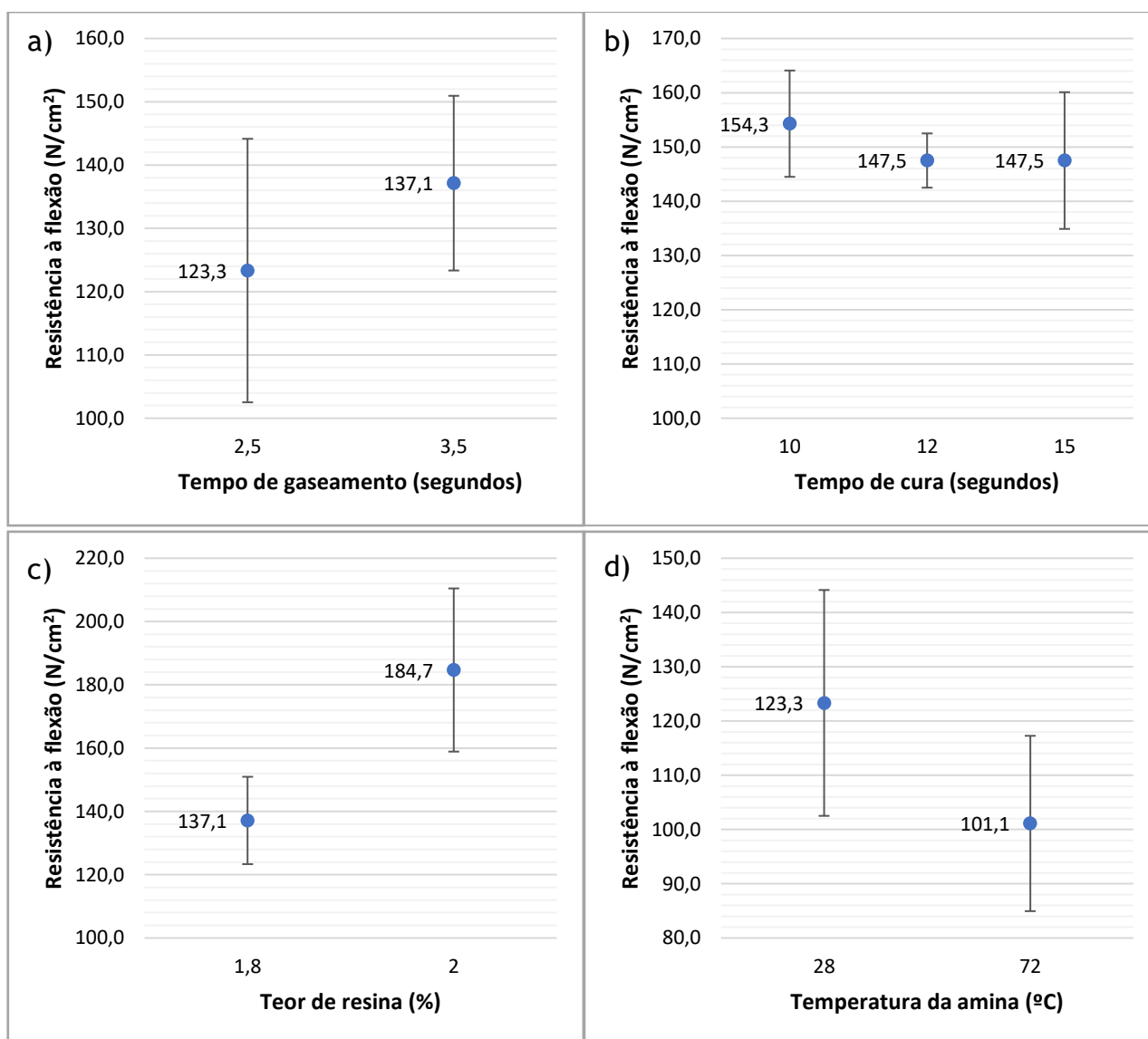


Figura 47 - Variação da resistência à flexão de provetes de areia de macho em função de: a) tempo de gaseamento, b) tempo de cura, c) fração de resina, d) temperatura da amina.

Pode-se concluir que um tempo de gaseamento maior promove uma maior resistência à flexão devido à maior quantidade de amina utilizada na sua produção (14,5 e 22,5 ml, respetivamente). Por sua vez, não se regista uma variação acentuada da resistência à flexão com o tempo de cura. Em relação à fração de resina utilizada, quanto maior for a quantidade de resina maior é a resistência à flexão do provete. Finalmente, constata-se que o aquecimento da amina induz uma diminuição da resistência à flexão.

6.7. Tempo de mistura

Os tempos de mistura utilizados pela SAKTHI Portugal variam em função do peso do *batch* a preparar: 45, 50 e 55 segundos, para *batches* de 50, 100 e 125 kg de areia, respetivamente. Por outro lado, tendo em atenção que a fração de resina tem também impacto sobre o tempo de mistura, os ensaios foram realizados sobre *batches* contendo uma fração de resina de 1,8%. Os ensaios foram realizados sucessivamente, tendo-se encurtado, entre cada série de ensaios, o tempo de mistura em 5 segundos.

Na Figura 48 é apresentada a variação da dureza (profundidade de penetração) e da resistência à flexão de provetes de areia de macho em função do tempo de mistura do *batch* (50 kg de areia e 1,8% de resina).

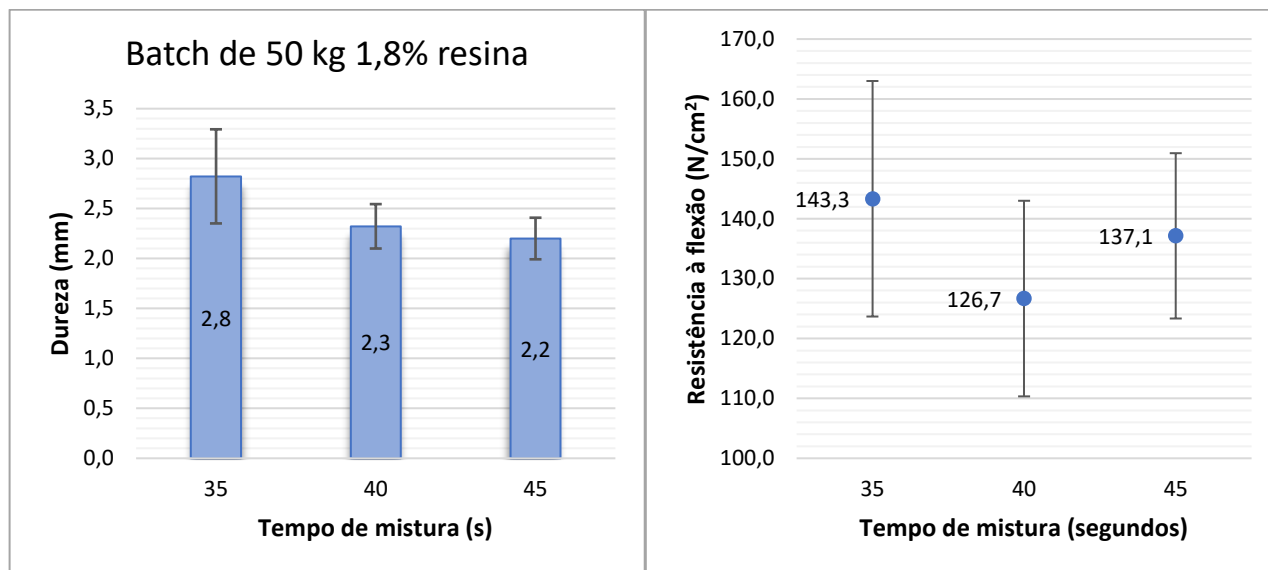


Figura 48 - Variação da dureza (profundidade de penetração) e da resistência à flexão de provetes de areia de macho em função do tempo de mistura do *batch* (50 kg de areia e 1,8% de resina).

Verifica-se uma diminuição da dureza do macho com a diminuição do tempo de mistura, muito embora os valores obtidos estejam dentro dos limites especificados de dureza (3,0-5,5). Já no caso da resistência à flexão, verifica-se um máximo para um tempo de mistura de 35 segundos pelo que, para *batches* de 50 kg, esse deverá ser o valor a adotar.

Na Figura 49 está representada a variação da dureza (profundidade de penetração) com o tempo de mistura dum *batch* de 100 kg de areia, para uma fração de resina de 1,8%.

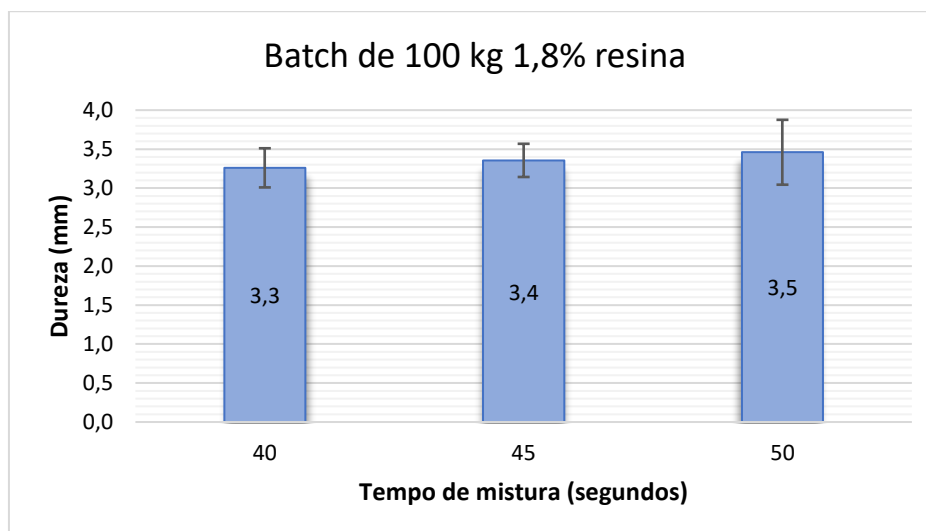


Figura 49 - Variação da dureza (profundidade de penetração) de provetes de areia de macho em função do tempo de mistura do *batch* (100 kg de areia e 1,8% de resina).

Regista-se um aumento da dureza do macho com a diminuição do tempo de mistura. Isto leva a concluir que se estava a utilizar um tempo mistura excessivo, prejudicando assim as propriedades da mistura. Deste modo, conclui-se que, para um *batch* de 100 kg, deve-se utilizar um tempo de mistura de 40 segundos.

6.8. Defeitos de machos

Com o objetivo de melhorar a qualidade dos machos produzidos na macharia, procedeu-se à identificação dos defeitos mais recorrentes, tendo-se procurado encontrar possíveis soluções para prevenir estes defeitos. Neste subcapítulo são apresentados alguns defeitos que podem ocorrer nos machos e que podem provocar defeitos nos fundidos.

Na Figura 50 - a) regista-se uma má compactação na zona que dá origem ao copo do corpo de travão. Para melhorar a compactação, procedeu-se à adição de filtros nessa zona da caixa de machos, tendo-se obtido uma boa compactação (Figura 50 - b)).

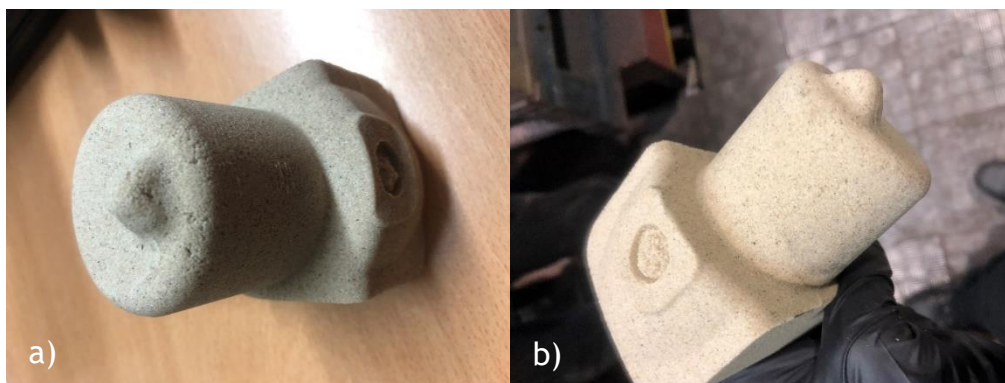


Figura 50 - a) Má compactação do macho; b) macho com boa compactação após a adição de filtros à caixa de machos.

Na Figura 51 são apresentadas imagens de machos produzidos com o sistema de extração da caixa de machos desafinado. Essa desafinação origina a produção de machos com reentrâncias ou saliências que provocam, na peça final, um excesso ou falta de material. Quando este defeito ocorre, tem de se proceder à afinação do sistema de extração ou, potencialmente, à sua substituição se este se apresentar danificado para que não se detetem defeitos na peça final.

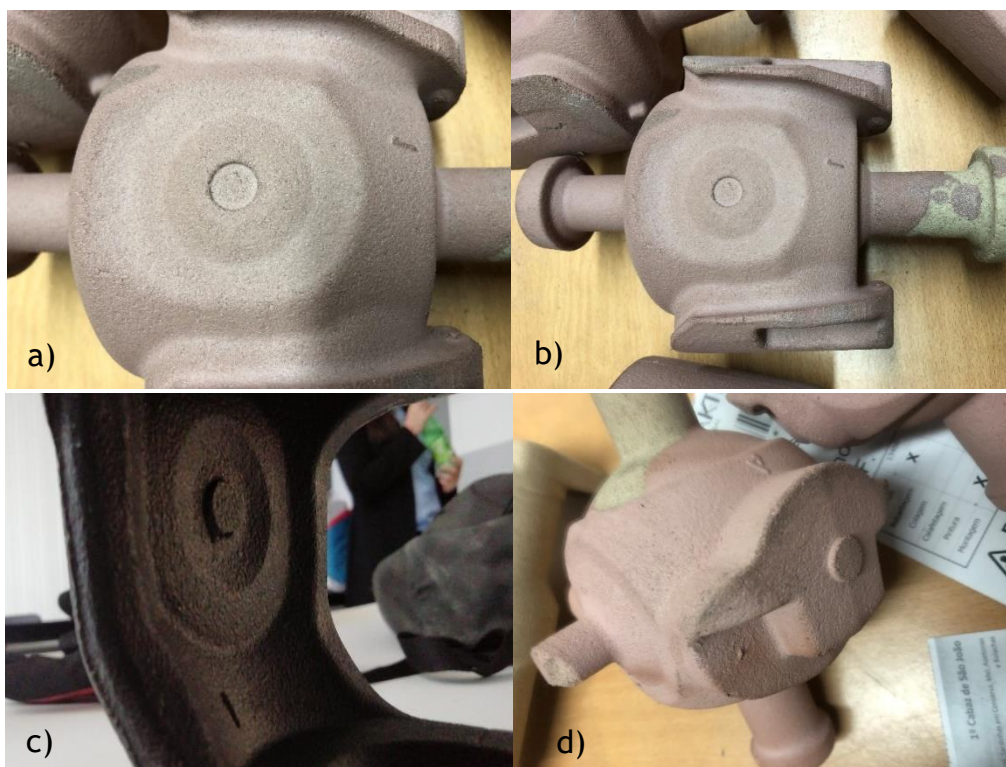


Figura 51 - Macho produzido numa caixa com o sistema de extração desafinado; a) e b) macho da referência B com falta de material; c) macho da referência B com defeito devido à falta de material; d) macho da referência A com excesso de material.

Na Figura 52 -a) é bem notória a má compactação do macho na zona da janela; por sua vez, e a Figura 52 - b) apresenta uma imagem de uma das peças finais, sendo bem visível o defeito induzido pelo macho de qualidade deficiente. A peça final terá de ser rebarbada para remoção do excesso de material.

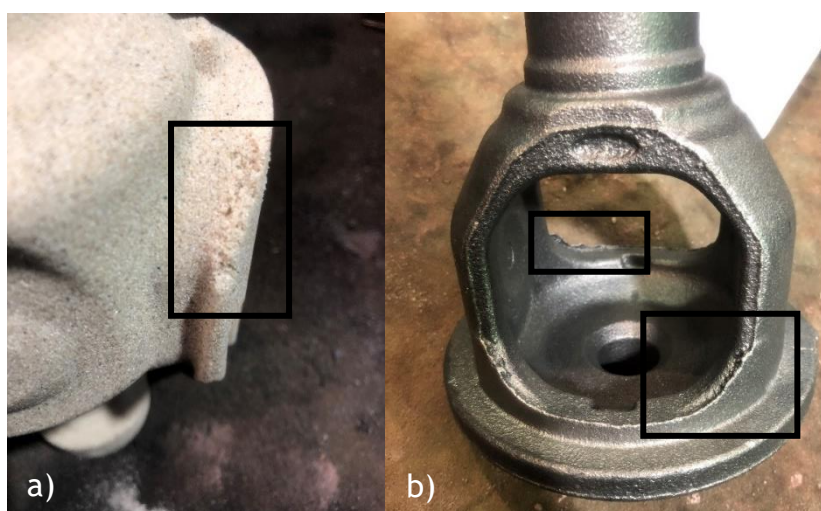


Figura 52 - a) Má compactação do macho da referência B; b) defeito provocado na peça.

A Figura 53 apresenta um defeito no macho provocado pela sujidade que vai sendo acumulada na caixa de machos durante o processo. Este defeito pode ser combatido com uma limpeza regular da caixa de machos ao longo da produção.



Figura 53 - Defeito no macho resultante da acumulação de sujeira na caixa de machos.

Na Figura 54 são visíveis defeitos resultantes de má compactação do macho. Este defeito ocorre quando há falta de filtros na caixa de machos ou quando os filtros existentes já se encontram obstruídos com a sujeira inerente ao processo. Assim sendo, durante a produção de machos, tem que se promover regularmente a limpeza da caixa de machos com limpa metais e, caso se afigure imprescindível, identificar os locais onde é necessária a colocação de filtros.



Figura 54 - Má compactação de diferentes machos devido à falta de escape de ar da caixa de machos.

Na Figura 55 é apresentado um macho que partiu devido a deficiente preparação do *batch* na misturadora. Verificou-se que este problema ocorreu devido à acumulação de

sujidade na misturadora. De modo a evitar este tipo de situação, tem que se proceder à limpeza da misturadora mais regularmente (2 vezes por dia).



Figura 55 - Macho produzido a partir de um batch cuja mistura não ocorreu nas devidas condições.

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

7.1. Conclusões

O macho é um componente de extrema importância na produção de componentes por fundição. É necessário que este apresente resistência, elevada sanidade (interna e externa) e precisão dimensional que permitam a produção de componentes de elevada qualidade. O controlo de diversos parâmetros, tanto em termos de matérias-primas como do processo de fabrico, é fundamental para a repetibilidade do processo.

Após a análise granulométrica da areia, verifica-se uma variação bastante elevada do índice de finura AFS e da fração de finos, que se traduz numa variação do tamanho médio do grão de areia. Esta variação influencia os parâmetros do processo, principalmente a fração de resina a utilizar e o tempo de gaseamento (quantidade de amina) que está intimamente ligado à quantidade de resina utilizada. Assim sendo, a fim de promover a repetibilidade do processo, é necessária uma estabilização do índice AFS e, se possível, uma eliminação dos finos da areia.

Em relação à influência da fração de finos na resistência mecânica dos machos, conclui-se que, quanto menor for o seu valor e maior o índice de finura AFS, maior é a resistência mecânica do macho. No caso do processo analisado, verifica-se que a fração de finos é muitas vezes superior à especificada (0,2%), tendo assim grande influência nos parâmetros de fabrico utilizados.

Como esperado, verificou-se que a dureza do macho aumenta ao longo do tempo devido à reação de cura que continua a ocorrer após a remoção do macho da caixa de machos. No entanto, um mês após a produção dos machos, verifica-se que já começam a perder as suas propriedades. Logo, os machos devem ser utilizados o quanto antes após a sua produção.

A utilização da amina pré-aquecida não foi conseguida para todas as referências testadas. É possível a sua utilização em caixas horizontais e em caixas verticais em que as cavidades dos machos se encontram todas ao mesmo nível. No caso das caixas de macho verticais, em que as cavidades não se encontram todas ao mesmo nível, não é possível a utilização da amina pré-aquecida sem um aumento significativo da duração de cada ciclo, traduzindo-se num decréscimo significativo de produtividade.

De uma forma geral, a utilização de amina pré-aquecida, até uma temperatura de cerca de 80°C, aumenta a dureza do macho; entretanto, verificou-se que a resistência à flexão dos provetes produzidos com amina pré-aquecida diminui. A utilização da amina pré-aquecida induz uma redução do tempo de gaseamento utilizado.

É necessário analisar os efeitos da variação dos parâmetros de fabrico na resistência à flexão para que não se produzam machos que sofram distorções durante o vazamento do metal. Quanto maior for o tempo de gaseamento, maior é a resistência à flexão; a variação do tempo de cura não produz uma grande variação na resistência à flexão e, quanto maior for a fração de resina utilizada maior é a resistência à flexão.

Para as referências testadas, conseguiu-se uma redução média de 11,4% de resina, de 28,8% no consumo específico de amina e uma redução média da duração de cada ciclo em 9,1%.

Para *batches* de 50 e 100 kg de areia, é possível a redução em 10 segundos (cerca de 25%) do tempo de mistura, garantindo que todos os grãos fiquem revestidos pela resina, com o consequente aumento de produtividade.

7.2. Trabalhos Futuros

No que diz respeito ao primeiro ponto analisado nesta dissertação, seria aconselhável analisar a variação da distribuição granulométrica no silo de areia nova. Constata-se que, nesse silo, ocorre uma acumulação, por níveis, de areia mais fina e, quando este se encontra bastante vazio, observa-se a produção de machos com maior dureza, sendo necessário passar a utilizar uma fração de resina mais elevada. Seria importante garantir uma distribuição granulométrica constante para que o processo pudesse ser otimizado.

A fração de finos é também um parâmetro sensível no setor da macharia e a sua remoção é um passo importante para se ter um maior controlo do processo. A aspiração de finos no silo interior já foi instalada na SAKTHI Portugal; no entanto, ainda não foi possível a otimização desta aspiração. Futuramente, é necessário otimizar esta aspiração de modo a obter-se um compromisso entre a redução do consumo de resina, devido à redução da fração de finos, e uma boa qualidade superficial do macho.

Durante a realização desta dissertação, verificou-se que, quando a temperatura ambiente aumentava e, conseqüentemente, a da areia, era necessário aumentar a fração de resina na mistura; para além disso, observa-se um encurtamento do tempo de bancada da mistura). Assim, seria aconselhável efetuar o controlo da temperatura da areia e do seu impacto.

Após o controlo destes parâmetros, seria aconselhável a realização de uma nova otimização dos parâmetros do processo (fração de resina, tempos de gaseamento e de cura) visto estes estarem intimamente relacionados com a distribuição granulométrica e a fração de finos da areia. A redução do tempo de mistura deverá também ser analisada novamente.

Por fim, seria aconselhável o estudo da influência do *design* da caixa de machos, nomeadamente o posicionamento de filtros e escapes de ar, na duração de cada ciclo. A necessidade deste estudo prende-se com o acompanhamento duma alteração de uma caixa de machos durante a dissertação em que foram acrescentados uns filtros à caixa devido à má compactação dos machos; após esta alteração, a duração de cada ciclo aumentou consideravelmente devido à fuga de amina por esses filtros.

8. Referências Bibliográficas

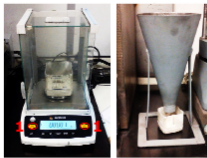
- [1] J. Sertucha and R. Suárez, "*Arenas de moldeo en verde*", 3 ed., Centro de Investigación Metalúrgica AZTERLAN, 2009.
- [2] "*History and trends of metal casting*", em ASM Handbook, vol. 15 - Casting: ASM International, 2008, pp. 3-15.
- [3] V. R. Chennu. (2017). "*Casting process: advantages and limitations*". Acedido em 23 de outubro de 2018. Disponível: <https://mechanicalengineering.com/casting-process-advantages-and-limitations/>
- [4] "SAKTHI PORTUGAL Assina contrato de energia mais longo da história da EDP". Acedido em 28 de fevereiro de 2019. Disponível: <http://www.supplychainmagazine.pt/2019/01/04/sakthi-portugal-assina-contrato-de-energia-mais-longo-da-historia-da-edp/>
- [5] Acedido em 27 de maio de 2019. Disponível: <https://earth.google.com/web/@41.2294599,-8.5998102,60.443752a,770.98404348d,35y,0h,45t,0r/data=ClcaVRJNCiQweGQyNDY2ZTY1Y2ExZWl5OToweDlmNzA0MGYwZDgyODE3YTQZKB8n8V6dREAhTJ2RUhozlcAqE1Nha3RoaSBQb3J0dWdhbCwgUOEYAiABKAlaAg>
- [6] "*Unidades de limpeza do ar de exaustão para fundições*". Acedido em 24 de maio de 2019. Disponível: http://bgt-umwelttechnik.de/wp-content/uploads/Prospekt_es_pt_2007.pdf
- [7] "*Coremaking*", em ASM Handbook, vol. 15 - Casting: ASM International, 2008, pp. 581-597.
- [8] K. Löchte, "*Working with the Cold Box Process in the Coremaking Department of a Foundry*", Hüttenes-Albertus Chemische Werke GmbH, 1998.
- [9] "*No-bake sand molding*", em ASM Handbook, vol. 15 - Casting: ASM International, 2008, pp. 567-580.
- [10] P. Vilhena, "*Resinas de caixa-fria modificadas estruturalmente com propriedades técnicas e meio ambientais melhoradas - Sistema BioDiesel*", Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [11] C. S. Ribeiro, "*Documentação da unidade curricular Fundição*", 2017-2018.
- [12] "*Aggregates and binders for expendable molds*", em ASM Handbook, vol. 15 - Casting: ASM International, 2008, pp. 528-548.
- [13] B. J. Stauder, H. Kerber and P. Schumacher, "*Foundry sand core property assessment by 3-point bending test evaluation*", Journal of Materials Processing Technology, vol. 237, pp. 188-196, 2016. Acedido em 30 de setembro de 2018. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013616301819>

- [14] S. M. Dobosz, A. Grabarczyk, K. Major-Gabrys and D. Bolibruchova, "*Elasticity of cores manufactured in cold box technology*", Archives of Metallurgy and Materials, artigo vol. 62, no. 1, pp. 351-354, 2017. Acedido em 14 de novembro de 2018. Disponível: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85017308105&doi=10.1515%2famm-2017-0053&partnerID=40&md5=3770faa48ed0447850ac3400b0ecc018>
- [15] A. Grabarczyk, S. M. Dobosz, K. Major-Gabrys, D. Bolibruchova and K. Major-Gabrys, "*The tendency of moulding sands to generate core cracks*", Archives of Foundry Engineering, artigo vol. 18, no. 1, pp. 157-161, 2017. Acedido em 11 de janeiro de 2019. Disponível: <http://www.afe.polsl.pl/index.php/pl/4707/the-tendency-of-moulding-sands-to-generate-core-cracks.pdf>
- [16] ASTM D790-03: *Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials*, 2003.
- [17] W. Tilch, H. Polzin and M. Franke, "*Handbook on bentonite-bonded moulding material*", Fachverlag Schiele & Schön, 2017.
- [18] R. Singh, "*Mold and core making*", em Introduction to Basic Manufacturing Processes and Workshop Technology: New Age International Publishers, 2006, pp. 208-240.
- [19] N. A. Miller and J. J. Henderson, "*Correlating particle shape parameters to bulk properties and load stress at two water contents*", (in English), Agronomy Journal, vol. 103, no. 5, pp. 1514-1523, 2011. Acedido em 5 de novembro de 2018. Disponível: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2010.0235>
- [20] A. Zalloetxebarria, "*Aglomerantes con silicato de etilo*", Hüttenes-Albertus (HA ILARDUYA), 2014.
- [21] F. Iden, "*Estructuras de sistemas aglutinantes Cold-Box | Caja Fria y la posibilidad de influir en ellos*", Hüttenes-Albertus (HA Düsseldorf), 2012.
- [22] D. L. Dias. "*Nomenclatura das aminas*". Acedido em 30 de maio de 2019. Disponível: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-organica/nomenclatura-das-aminas.htm#>
- [23] J. Campbell, "*Complete casting handbook*", Butterworth-Heinemann, 2011.
- [24] R. Downing, "*Coated expendable cores for die casting dies and dies and castings there-from*", Patent WO 89/09106, 1989.
- [25] F. Czerwinski, M. Mir and W. Kasprzak, "*Application of cores and binders in metalcasting*", International Journal of Cast Metals Research, vol. 28, no. 3, pp. 129-139, 2015. Acedido em 9 de outubro de 2018. Disponível: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84929410755&doi=10.1179%2f1743133614Y.0000000140&partnerID=40&md5=961c1e919e8863651601bf93cba2941a>

Anexos

1. Manual de procedimentos do laboratório

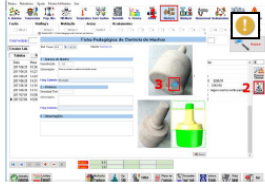
1.1. Standardized Work: Distribuição Granulométrica

 	Standardized Work: Distribuição Granulométrica	LAB-RMP 2 Versão: 1 Data: 20/04/2017 Responsável: A. Pinto																										
Objetivo Determinação da distribuição granulométrica e índice de finura AFS na receção de matérias-primas	Onde Laboratório	Quem Técnico de laboratório	Ferramentas Balança c/ precisão ± 0,0001 g Peneiros DISA Silo Recipiente	EPI's:  Recomendado:																								
Procedimento				Fluxograma Processo																								
1 - Pesagem da amostra  - Colocar o recipiente na balança e TARAR (1); - Pesar 25 g de amostra previamente seca a 105 °C, durante 2 horas. * * Ver RMP-Humidade	2 - Preparação dos peneiros  - Selecionar a série de peneiros para o ensaio, de acordo com a amostra a analisar (consultar PHC); - Colocar os peneiros por ordem crescente de abertura de malha.	3 - Colocação da amostra  - Colocar a amostra no peneiro superior, mais no centro possível; - Colocar tampa; - Rodar os manipulós (1 e 2) até ficarem totalmente apertados.	4 - Iniciar ensaio  - Os parâmetros de ensaio definidos são (1): Tempo de ensaio: 12 minutos; Intervalo de vibração: 30 segundos; Amplitude: 1,0; - Pressionar START (2) para iniciar.																									
5 - Pesagem da quantidade retida  - Após ensaio colocar na balança um recipiente e TARAR (1); - Colocar o recipiente na parte inferior do silo; - Transferir a quantidade de amostra retida no primeiro peneiro; - Passar um pincel pelo peneiro para não haver perdas de material; - Pesar o recipiente; - Registrar valor; Repetir este passo para todos os peneiros, inclusive para o prato fundo.	6 - Cálculo da % retida em cada peneiro $\% \text{ Peneiro } x = \frac{P'}{P} \times 100$ - A quantidade de amostra retida em cada peneiro é calculada pela fórmula descrita acima: P': peso retido no peneiro x [g]; P: peso total da amostra [g].	7 - Cálculo do Índice AFS $\text{Índice AFS} = \frac{\sum (P (\%) \times \text{Factor conv.})}{\sum P (\%)}$ - O índice AFS é calculado a partir de fatores de conversão definidos para cada peneiro (ver tabela). É calculado pela fórmula descrita acima: ΣP: somatório de todos os pesos de amostra retida nos peneiros.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Crivo</th><th>Fator conversão</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1,4</td><td>6</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>9</td></tr> <tr><td>0,71</td><td>15</td></tr> <tr><td>0,5</td><td>25</td></tr> <tr><td>0,355</td><td>35</td></tr> <tr><td>0,25</td><td>45</td></tr> <tr><td>0,18</td><td>60</td></tr> <tr><td>0,125</td><td>81</td></tr> <tr><td>0,09</td><td>118</td></tr> <tr><td>0,063</td><td>164</td></tr> <tr><td>Prato Fundo</td><td>275</td></tr> </tbody> </table>	Crivo	Fator conversão	1,4	6	1,0	9	0,71	15	0,5	25	0,355	35	0,25	45	0,18	60	0,125	81	0,09	118	0,063	164	Prato Fundo	275	*Todos os tempos apresentados são meramente indicativos
Crivo	Fator conversão																											
1,4	6																											
1,0	9																											
0,71	15																											
0,5	25																											
0,355	35																											
0,25	45																											
0,18	60																											
0,125	81																											
0,09	118																											
0,063	164																											
Prato Fundo	275																											
Informações Para materiais granulados com tamanho inferior a 2 mm, deve utilizar-se o centro de peneiros DISA. No caso de partículas superiores a 2 mm, os peneiros a utilizar são os tradicionais, sendo que não se calcula o índice AFS.	Legenda:  Manipulação / Preencha  Manipulação / Limpeza  Sistema Mod. de funcionamento  Operação  Operação / Manutenção  Ponto Final  Controle  Operação / Manutenção  Exatidão Controle por computador Transporte																											

1.2. Standardized Work: Dureza de Machos

Standardized Work: Dureza de Machos		LAB-CM 1 Versão: 0	Data: 04/07/2017 Responsável: A. Pinto	
Objetivo	Onde	Quem	Ferramentas	EPI's: Recomendado: Luvas de nitrilo
Descrever o modo de verificação da dureza de machos	Laboratório	Técnico de laboratório	Durómetro machos DataPro	

1 – Zona de ensaio



- Abrir o DataPro no separador "Macharia" (1) e "Ficha de Controlo" (2);
- Verificar qual a zona a realizar a dureza (3).

2 – Preparar durómetro



- Verificar se o durómetro está desbloqueado (1 - botão de STOP);
- O botão de giro deve estar na posição de início de ensaio (2 - todo rodado para um dos lados).

3 – Realizar ensaio



- Pressionar o durómetro firmemente contra a zona anteriormente identificada;
- Rodar o botão 5 vezes para a frente e para trás de forma a fresa penetrar no macho (1 e 2).

4 – Bloquear durómetro



- Bloquear o durómetro no botão de STOP (1).

5 – Leitura do resultado



- Lê-se a profundidade da penetração em mm na intersecção da escala (espiral de medição) com a periferia (zona inferior) do botão de giro.

6 – Registo DataPro



- No separador "Macharia" (1) seleccionar o botão "+" (2);
- Preencher o campo 3 e inserir a médias das durezas medidas (4);
- Guardar registo (5).

A zona de ensaio deve ser preferencialmente plana.

Fluxograma Processo

Etapa	Tempo*
1	30 s
2	2 s
2	5 s
3	10 s
4	2 s
5	20 s
6	20 s

```

graph TD
    A[Identificar zona de ensaio] --> B{Durómetro desbloqueado}
    B --> C{Botão de giro na posição inicial}
    C --> D[Realizar ensaio]
    D --> E[Bloquear durómetro]
    E --> F[Leitura do resultado]
    F --> G[Registo DataPro]
          
```

*Todos os tempos apresentados são meramente indicativos

Legenda:

- Investigação / Produto
- Decisão / ou não / ou não
- Operação / ou automática
- Operação com controle
- Controlo por autodiagnóstico
- Transporte
- Utilização Medida Equipamentos
- Ponto-Parada
- Manutenção

Informações

Verificar sempre se o equipamento está conforme, com uma pinta verde, antes da sua utilização.

2. Caracterización das materias-primas - Fichas técnicas

2.1. Isocure 328 Plus/628 Plus

Información de Producto | Aglomerantes

ISOCURE™ 328 PLUS/628 PLUS

Cold-Box / Caja Fría

REV. 2 DE FECHA 29/05/2014

Aglomerante orgánico para Caja Fría

Descripción

El sistema ISOCURE™ 328 PLUS/628 PLUS es una combinación de resina fenólica y poliisocianato, también llamada uretano, empleada para la fabricación de machos y moldes a temperatura ambiente.

El ISOCURE™ 328 PLUS es una resina de fenol-formol disuelta en disolventes polares y no polares. El ISOCURE™ 628 PLUS es un polímero isocianato diluido en disolventes no polares.

Ficha Analítica

ISOCURE™ 328 PLUS	
Fenol Libre (%)*	4,9 Máx.
Formol Libre (%)*	0,03 Máx.
Densidad 20°C (grs/cc)*	1,040 - 1,090
Viscosidad 25°C (cps)*	100 - 200
ISOCURE™ 628 PLUS	
Densidad 20°C (grs/cc)*	1,089 - 1,100
Nitrógeno (%)*	6,6 - 7,0

* Característica recogida en el Certificado de Calidad

Aplicación

El sistema ISOCURE™ 328 PLUS/628 PLUS puede ser utilizado con cualquier tipo de arena (sílice, cromita, zirconio, etc...) siempre que presenten unos valores de pH y demanda de ácido adecuados.

Los niveles de ambos aglomerantes varían entre el 0,8% y 2% con respecto a la arena, en función de la calidad de ésta. Su dosificación entre el ISOCURE™ 328 PLUS y el ISOCURE™ 628 PLUS se hace en proporción del 55% del 328 PLUS y 45% del 628 PLUS.

El sistema cura por el efecto catalizador de aminas altamente volátiles del tipo de la DMEA (ISOCURE™ 702) y de la TEA (ISOCURE™ 700).

Valoración Técnica

- Bajo contenido en Fenol y Formol libres, lo que los hace no ser clasificados como productos tóxicos.
- Muy poca tendencia al pegado.
- Alta velocidad de curado con bajos consumos de amina.
- Excelentes resistencias, especialmente en condiciones ambientales con alto contenido de humedad.
- Óptimas resistencias después del pintado con recubrimientos refractarios de base agua y también en caliente.
- Excelente Vida de Banco de la mezcla con arena.
- Muy buena fluidez debido a la baja viscosidad de las resinas.
- Muy adecuado para piezas de hierro y acero, consiguiendo muy buenas propiedades dimensionales y un fácil desarenado de las mismas.

Productos Auxiliares Recomendados

- SEPARADORES**
SERIE ZIP-SLIP® 125 H
SERIE ZIP-SLIP® 157 H
- DISOLVENTES LIMPIAMETALES**
VELVASOL 700
VELVASOL 707
VELVASOL 900
- COLAS**
SERIE ZIP STICK
ISOPASTE HOT GLUE

Oficina Central:
ASK Chemicals España S.A.U.
Barrio Brazomar S/N
39700 Castro Urdiales (Cantabria)
Teléfono: +34 942 85 91 00
Fax: +34 942 86 36 16
Email: info.spain@ask-chemicals.com

ASKCHEMICALS
We advance your casting

La responsabilidad por la información y advertencias en relación con los productos queda limitada a las obligaciones asumidas en los contratos de garantía, salvo que exista un acuerdo expreso en contrario.

64

ISOCURE™ 328 PLUS/628 PLUS**Cold-Box / Caja Fría****Período de Caducidad y Condiciones de Almacenamiento**

- El ISOCURE™ 328 PLUS pueden ser utilizado en los 6 meses días siguientes a la fecha de fabricación y el ISOCURE™ 628 PLUS en los 12 meses siguientes.
- Evitar su almacenamiento en zonas calurosas, así como en las que exista riesgo de congelación, recomendando una temperatura de almacenamiento de entre 15 y 30° C. Mantener los envases cerrados durante el almacenaje.

Embalaje

El ISOCURE™ 328 PLUS se suministra en:

<u>ENVASE</u>	<u>DESCRIPCIÓN MATERIAL</u>	<u>CÓDIGO SAP</u>
Bidón Metálico de 50 kgrs	ISOCURE 328 PLUS BINDER	1.550.04.636
Bidón Metálico de 220 kgrs	ISOCURE 328 PLUS BINDER	1.550.04.642
Contenedor Plástico No-Retomable de 1050 kgrs	ISOCURE 328 PLUS BINDER	1.550.04.649

El ISOCURE™ 628 PLUS se suministra en:

<u>ENVASE</u>	<u>DESCRIPCIÓN MATERIAL</u>	<u>CODIGO SAP</u>
Bidón Metálico de 50 kgrs	ISOCURE 628 PLUS BINDER	1.950.03.635
Bidón Metálico de 220 kgrs	ISOCURE 628 PLUS BINDER	1.950.03.643
Contenedor Plástico No-Retomable de 1100 kgrs	ISOCURE 628 PLUS BINDER	1.950.03.649

Oficina Central:
 ASK Chemicals España S.A.U.
 Barrio Brazomar S/N
 39700 Castro Urdiales (Cantabria)
 Teléfono: +34 942 86 91 00
 Fax: +34 942 86 36 16
 Email: info.spain@ask-chemicals.com

ASKCHEMICALS
 We advance your casting



La responsabilidad por la información y advertencias en relación con los productos queda limitada a las obligaciones asumidas en los contratos de garantía, salvo que exista un acuerdo expreso en contrario.

2.2. Isocure 702

Información de Producto | Aglomerantes

ISOCURE™ 702

Cold-Box / Caja Fría

REV. 4 DE FECHA 22/09/2014

Catalizador para Caja Fría

Descripción

El ISOCURE™ 702 es DIMETIL ETIL AMINA que actúa como catalizador en el Proceso de Caja Fría para la fabricación de machos y moldes de fundición.

Ficha Analítica

Densidad a 20°C (grs/cc)	0,672 - 0,681
Agua (%)*	0,2 Máx.
Riqueza en amina (%)*	99,0 Mín.

*Característica recogida en el Certificado de Calidad

Aplicación

El ISOCURE™ 702 es un líquido de bajo punto de ebullición. Actúa en forma gaseosa por lo que es necesario utilizar un equipo gasificador. Existen dos formas de dosificar la amina: Inyección y Barboteo.

Periodo de Caducidad y Condiciones de Almacenamiento

- El ISOCURE™ 702 si se almacena en condiciones adecuadas, teniendo un especial cuidado de mantener los recipientes cerrados, no caduca.
- Evitar su almacenamiento en zonas calurosas, así como en las que exista riesgo de congelación, recomendando una temperatura de almacenamiento de entre 15 y 30° C. Mantener los envases cerrados durante el almacenaje.

Oficina Central:
ASK Chemicals España S.A.U.
Barrio Brazomar S/N
39700 Castro Urdiales (Cantabria)
Teléfono: +34 942 85 91 00
Fax: +34 942 85 36 16
Email: info.spain@ask-chemicals.com

ASKCHEMICALS
We advance your casting



La responsabilidad por la información y advertencias en relación con los productos queda limitada a las obligaciones asumidas en los contratos de garantía, salvo que exista un acuerdo expreso en contrario.

ISOCURE™ 702**Cold-Box / Caja Fría****Embalaje**

El ISOCURE™ 702 se suministra en:

<u>ENVASE</u>	<u>DESCRIPCIÓN MATERIAL</u>	<u>CÓDIGO SAP</u>
Bidón Metálico de 35 Kgrs.	ISOCURE DMEA 702 CATALYST	1.852.21.047
Bidón Metálico de 130 Kgrs.	ISOCURE DMEA 702 CATALYST	1.852.20.047
Contenedor Retomable de 130 Kgrs.	ISOCURE DMEA 702 CATALYST	1.852.20.620
Contenedor Retomable de 260 Kgrs.	ISOCURE DMEA 702 CATALYST	1.852.20.621
Contenedor Retomable de 390 Kgrs.	ISOCURE DMEA 702 CATALYST	1.852.20.623
Contenedor Retomable de 520 Kgrs.	ISOCURE DMEA 702 CATALYST	1.852.20.622

Oficina Central:
 ASK Chemicals España S.A.U.
 Barrio Brazomar S/N
 39700 Castro Urdiales (Cantabria)
 Teléfono: +34 942 85 91 00
 Fax: +34 942 85 35 16
 Email: info.spain@ask-chemicals.com

ASKCHEMICALS
 We advance your casting



La responsabilidad por la información y advertencias en relación con los productos queda limitada a las obligaciones asumidas en los contratos de garantía, salvo que exista un acuerdo expreso en contrario.

2.3. Areia de sílica

SAKTHI PORTUGAL, SA	MANUAL DE PROCEDIMENTOS DO LABORATÓRIO METALÚRGICO	EDE * 16	
	ESPECIFICAÇÃO DE MATÉRIAS PRIMAS	Pag. 1 de 1	
Lab. Metalúrgico	Distribuição:	Versão: 1	Data: 06.02.2006
			Aprov. P/:

1 - IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

a) Designação completa: AREIA SECA - SILICA SAND

b) Utilização: Aditivo base para a preparação de areia de moldação e areia de macharia

2 - INDICAÇÕES ESPECIAIS (sector resp.: A.M.P.):

a) Armazenagem: Cisterna

b) Período de validade: Não

c) Outros:

3 - CARACTERÍSTICA SA VERIFICAR À ENTRADA (sector resp.: A.M.P.):

a) Quantitativas: NÃO

b) Documentos de Qualidade: Sim

c) Observação visual:

4 - AMOSTRAGEM (sector resp.: LAB.MET.):

a) Instruções: Todos os Lotes

5 - RECEPÇÃO QUALITATIVA (sector resp.: LAB.MET.):

Parâmetros	Especificação	Instruções Ensaio
Exame Visual	Areia de sílica, não deve conter impurezas e excessiva quantidade de minerais alcalinos (ex. Mica)	Visual
Humidade	< 0.15 %	AM 01
Granulometria 1	Penelros > 0.50mm : < 3.0 %	AM 04
Granulometria 2	Penelro 0.25mm : 10 a 25%	AM 04
Granulometria 3	Penelro 0.18mm : 45 a 65%	AM 04
Granulometria 4	Penelro 0.125mm : 10 a 25%	AM 04
Granulometria 5	Penelro 0.063 mm : < 2%	AM 04
Finos (Part. < 20 Um)	< 0.2%	AM 02 / AM 03
Índice de Finura AFS	57 a 64 AFS	AM 04

Exame Visual:

6 - CRITÉRIO ACEITAÇÃO/REJEIÇÃO:

Desde que os valores encontrados após o controlo estejam dentro do especificado o lote é aceite, caso contrário ele será rejeitado.

7 - OBSERVAÇÕES

3. Resultados da análise granulométrica

