

**Melhoria de Produtividade na Operação e Manutenção de Máquinas
de Fundição Injectada**

Sonafi, S.A.

Cristiano de Sousa Pereira Martins Amaro

Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM

Orientador na Sonafi, S.A.: Eng. Bernardo Cardoso

Orientador na FEUP: Doutor António Monteiro Baptista



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho de 2009

Aos meus pais e ao meu irmão...

Resumo

A indústria nacional vem enfrentando, ao longo dos últimos tempos, uma enorme pressão para reduzir custos produtivos devido à forte concorrência dos países emergentes. Daqui decorre a necessidade de estudar formas de se eliminarem desperdícios nas cadeias produtivas de modo a que o preço final do produto se mantenha competitivo perante este novo cenário.

Surge então este trabalho intitulado “*Melhoria de Produtividade na Operação e Manutenção de Máquinas de Fundição Injectada*” realizado pelo autor (finalista do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) ao longo do Estágio Curricular na Sonafi, S.A..

No seio da empresa sentia-se a necessidade de se reduzirem os tempos de *setup* das máquinas de fundição injectada. A troca de moldes (operação de *setup* em questão) tomava por vezes demasiado tempo imprevisto que implicava frequentes actualizações do planeamento semanal inicial. A questão era meramente organizacional e não acontecia por falta de aptidões técnicas dos colaboradores para efectuarem a tarefa. O sistema possui ainda uma margem de evolução tecnológica que não devia ser estudada antes da questão organizacional ser resolvida.

O conceito “*Troca Rápida de Ferramentas*” (*SMED*), há muito estudado pelos japoneses, depressa entrou no pensamento do autor como forma de abordar o problema. Foi feita uma pesquisa bibliográfica para se enquadrar o caso específico da Sonafi, S.A. da melhor maneira na filosofia a implementar. Realizaram-se estudos pré-interventivos onde se deu conta da situação real, para depois ser aplicado o conceito *SMED* onde foram percorridas todas as suas etapas. Numa fase de implementação foram criadas *check-lists* de preparação e modo operativo. O resultado é esclarecedor e demonstra que acima de tudo, a organização e a consciência da metodologia de trabalho são questões fundamentais, como ficou provado pela redução de tempos alcançada.

Productivity Improvement in Operation and Maintenance of Injection Die Casting Machinery

Abstract

National industry has been dealing, recently, with a big pressure to reduce production costs due to the strong competition from the emergent countries. Forms to eliminate wastages in the productive chain are being studied to preserve the final cost of the product competitive in the presence of this new scene.

Rises then this work called “Productivity Improvement in Operation and Maintenance of Injected Die Casting Machinery” performed by the author (last year student of Master in Mechanical Engineer) during the Curricular Internship at Sonafi, S.A..

In the company, the need of reducing setup times of the injected die casting machines was being felt. The die change (setup operation) took, occasionally, overtime that lead to the existence of early week plan frequent updating. The issue was only organizational and it didn't occur due to the workers lack of technical capabilities to complete the job. The system still has a technological evolution to complete, but it shouldn't be done before the organizational restructuration.

The concept “Single Minute Exchange of Die” (SMED), studied by the Japanese long time ago, came into the author's mind as a form to deal with the problem. A bibliography research has been done to frame the Sonafi, S.A. specific case in the better philosophy implement. Pre-intervention studies have been done to know the real situation, and then apply the SMED concept, where all of its stages have been gone through. In the implementation period preparation, check-lists and an operating sheet have been created. The result is enlightening and demonstrates that above everything, the organization and the work methodology conscience are fundamental questions, proved by the reduction of the times reached.

Agradecimentos

Gostaria de expressar os meus mais sinceros agradecimentos ao Eng. Bernardo Cardoso por me ter recebido e orientado da melhor forma na Sonafi. O seu apoio foi fundamental na concretização do projecto.

Agradeço ao Doutor António Monteiro Baptista pela disponibilidade demonstrada e pelo aconselhamento dado nas visitas feitas ao longo do semestre.

Gostaria de deixar uma palavra de agradecimento ao meu amigo e parceiro de estágio Pedro Fernandes pelos ensinamentos que fomos retirando das discussões tidas ao longo da estadia na Sonafi.

Agradeço aos Engs. Catarina Campos e Marco Ferreira assim como à Marta Bastos pela disponibilidade sempre demonstrada.

Por fim, uma palavra de agradecimento muito especial aos companheiros de faculdade João Guimarães, Paulo Pesqueira, Pedro Espinheira Rio, Pedro Fernandes e João Reis. Sem eles o meu percurso académico não teria sido o mesmo.

A todos... Muito obrigado!

Índice de conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Apresentação do trabalho	1
1.2	Apresentação da Sonafi, S.A.	2
1.1.1	Localização	2
1.1.2	Historial.....	3
1.1.3	Objectivos e filosofia da empresa	4
1.1.4	Estrutura da organização	4
1.1.5	Matérias-primas.....	5
1.1.6	Produtos fabricados.....	6
1.1.7	Principais clientes.....	6
1.1.8	Layout das instalações.....	7
1.3	Processo de produção na Sonafi, S.A.	11
2	Fundição Injectada	15
2.1	Processo.....	15
2.1.1	Descrição geral do processo de injeção.....	15
2.1.2	Fases do ciclo de injeção	17
2.2	Máquinas para fundição injectada.....	20
2.2.1	Funcionamento das máquinas	21
2.2.2	Os dois tipos de máquinas de fundição injectada.....	22
2.3	Moldes para fundição injectada.....	23
2.3.1	Constituição do molde.....	24
2.3.2	Estrutura do molde	26
2.3.3	Inserções ou posições do molde.....	27
2.3.4	Gavetas do molde	29
2.3.5	Acessórios do molde	30
2.4	Vantagens do processo	34
2.5	Desvantagens do processo.....	34
2.6	Aplicações	35
3	Abordagem teórica.....	37
3.1	Lean Manufacturing	37
3.2	O sistema Just-in-time (JIT)	38
3.3	Troca rápida de ferramentas	41
3.3.1	Proposta metodológica de redução do <i>setup</i> – A filosofia Shingo (5)	42

3.3.2	Proposta metodológica de redução do <i>setup</i> segundo Mondem (19)	44
3.3.3	Proposta metodológica de redução do <i>setup</i> segundo Hay (20)	45
3.3.4	Proposta metodológica de redução do <i>setup</i> – A filosofia de Kannenberg (21).....	45
3.3.5	Proposta metodológica de redução do <i>setup</i> – A filosofia de Black (22).....	45
3.3.6	Tabela comparativa	47
4	Metodologia de trabalho.....	49
5	Análise (Estágio Preliminar)	51
5.1	Diagnóstico à base de dados interna	51
5.1.1	Operação “Desmontar molde”	51
5.1.2	Operação “Montar molde”	55
5.1.3	Operação “Desmontar molde” VS Operação “Montar molde”	57
5.1.4	Relação entre o tempo médio de <i>setup</i> e custo médio de utilização das máquinas	61
5.2	Registo no terreno.....	62
5.3	Análise dos registos obtidos no terreno	63
6	Implementação	69
6.1	Identificar e separar operações internas das externas	69
6.1.1	Falhas identificadas	72
6.1.2	Soluções propostas	73
6.2	Transformar <i>setups</i> internos em <i>setups</i> externos	79
6.2.1	Soluções propostas	79
6.3	Realização de estudos para optimização de <i>setups</i>	85
6.3.1	Pistões (ANEXO A)	85
6.3.2	Varas (ANEXO B)	85
6.3.3	Varetas (ANEXO C).....	85
6.4	Matriz “ <i>Tempos de mudança de moldes – Máquina / Molde – Desmontar e Montar</i> ”	87
6.4.1	Relação entre o novo tempo médio de <i>setup</i> e o custo médio de utilização das máquinas .	91
7	Conclusão	93
8	Bibliografia.....	95
	ANEXO A:	97
	“ <i>Estudo provisório do pistão de Ø 70 mm (desenho técnico)</i> ”	97
	ANEXO B:	99
	“ <i>Estudo provisório da vara porta-pistões para as máquinas de 200T (desenho técnico)</i> ”	99
	ANEXO C:	101
	“ <i>Estudo provisório da vareta de refrigeração para as máquinas de 200T (desenho técnico)</i> ”	101

ANEXO D:.....	103
Matriz “ <i>Tempos de mudança de moldes – Máquina / Molde – Desmontar e Montar</i> ”	103

Índice de figuras

Figura 1 - Logotipo da Sonafi, S.A. (1).....	2
Figura 2 - Acessos às instalações da Sonafi, S.A. (1).....	2
Figura 3 - Foto exterior da Sonafi, S.A.	3
Figura 4 - Organograma da Sonafi, S.A. (1)	5
Figura 5 - Lingotes de liga de alumínio.....	5
Figura 6 - Peças de refugo	5
Figura 7 - Exemplo de produto acabado.....	6
Figura 8 - Layout das instalações	7
Figura 9 - Área de fusão	7
Figura 10 - Máquina de desgaseificação	8
Figura 11 - Secção de transporte do alumínio fundido.....	8
Figura 12 - Secção de fundição (corredor esquerdo).....	9
Figura 13 - Secção de fundição (corredor direito).....	9
Figura 14 - Peças para granalhar	9
Figura 15 - Vibradora	9
Figura 16 - Colaboradora de triagem.....	10
Figura 17 - Célula de maquinaria.....	10
Figura 18 - Lingotes de alumínio e refugos de fundição	11
Figura 19 - Vazamento de alumínio do forno para colher de transporte	11
Figura 20 - Máquina de desgaseificação	12
Figura 21 - Colher automatizada	12
Figura 22 - Gito na prensa cortante	13
Figura 23 - Pedras abrasivas da máquina de vibração.....	13
Figura 24 - Peça em processo de maquinaria.....	14
Figura 25 - Peças embaladas	14
Figura 26 - Balaceiro Renault.....	15
Figura 27 - Ciclo de injeção (23).....	16
Figura 28 - Primeira fase do ciclo de injeção (23).....	17
Figura 29 - Segunda fase do ciclo de injeção (23).....	18
Figura 30 - Terceira fase do ciclo de injeção (23)	19
Figura 31 - Esquema dos diferentes elementos de uma máquina de fundição injectada (23)	20
Figura 32 - Robot extractor	21

Figura 33 - Esquema de uma máquina de fundição injectada em câmara quente (23)	22
Figura 34 - Esquema de uma máquina de fundição injectada em câmara fria (23)	23
Figura 35 - Pormenor de um molde	25
Figura 36 - Exemplo de peça fabricada por fundição injectada	25
Figura 37 - Molde completo.....	26
Figura 38 - Dimensionamento de inserções (3).....	28
Figura 39 - Exemplo de uma peça com gaveta mecânica	29
Figura 40 - Desenho de conjunto do molde (vista de frente) (4).....	31
Figura 41 - Desenho de conjunto do molde (vista esquerda) (4)	32
Figura 42 - Desenho de conjunto do molde (vista de cima) (4)	33
Figura 43 - Redução de stocks por Peinado (1999) (16).....	40
Figura 44 - Procedimento SMED segundo Shingo (5).....	50
Figura 45 - Ponte rolante com cadeados	80
Figura 46 - Molde de substituição junto à máquina 520	80
Figura 47 - Calibre de controlo	81
Figura 48 - <i>Die Heater</i> junto à máquina	81
Figura 49 - Carrinho de ferramentas	82
Figura 50 - Organização em prateleiras das varas.....	82
Figura 51 - Organização em prateleiras das camisas	82
Figura 52 - Separação em caixas pelos diferentes diâmetros dos pistões	83
Figura 53 - Pormenor da caixa dos pistões de diâmetro 55 mm	83
Figura 54 - Prateleira de armazenamento dos calços de aperto.....	83
Figura 55 - Prateleira nº 1 dos pernos impulsores.....	83
Figura 56 - Prateleira nº 2 dos pernos impulsores.....	83
Figura 57 - Vista geral do armazém do Departamento de Fundição.....	84

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Ligas de Alumínio utilizadas na Sonafi (1).....	6
Tabela 2 - Composição química do aço utilizado para as estruturas dos moldes (2)	27
Tabela 3 - Condutibilidade térmica $W/(m,K)$ do aço utilizado para as estruturas dos moldes (2).....	27
Tabela 4 - Composição química do aço utilizado para inserções (2)	27
Tabela 5 - Condutibilidade térmica $W/(m,K)$ do aço utilizado para inserções (2).....	28
Tabela 6 - Cota A em função da força de fecho da máquina de injeção (3).....	28
Tabela 7 - Acessórios do molde (4).....	30
Tabela 8 - Implementação / Efeito de diversas ferramentas.....	38
Tabela 9 - Interfaces em comum JIT / TQC (14)	39
Tabela 10 - Sequência de um setup na indústria e na prestação de serviços (5).....	44
Tabela 11 - Comparativo do trabalho desenvolvido pelos autores.....	47
Tabela 12 - Tempos da operação "Desmontar" (1).....	51
Tabela 13 - Tempo médio mensal da operação "Desmontar"	52
Tabela 14 - Tempo médio da operação "Desmontar" em cada máquina.....	53
Tabela 15 - Tempos da operação "Montar" (1)	55
Tabela 16 - Tempo médio mensal da operação "Montar"	55
Tabela 17 - Tempo médio da operação "Montar" em cada máquina.....	56
Tabela 18 - Tempo médio de cada operação calculado através do tempo médio mensal	57
Tabela 19 - Tempo médio de cada operação calculado através do tempo médio de cada máquina.....	58
Tabela 20 - Comparação entre os dois métodos de aquisição de dados	60
Tabela 21 - Custo de utilização de cada grupo de máquinas por hora.....	61
Tabela 22 - Tempos cronometrados nas trocas de molde assistidas.....	62
Tabela 23 - Descrição da mudança de molde de dia 9 de Junho na máquina 619.....	63
Tabela 24 - Análise ABC do <i>setup</i> da máquina 619.....	65
Tabela 25 - Categorias para classificação de operações.....	66
Tabela 26 - Identificação e separação das operações externas e internas de <i>setup</i>	69
Tabela 27 - Tempos de desmontagem monitorizados	87
Tabela 28 - Tempos de montagem monitorizados.....	88
Tabela 29 - Comparação entre os tempos médios de troca de moldes	89
Tabela 30 - Custo médio do <i>setup</i> pré-implementações VS Pós-implementações.....	91

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Representação do conceito SMED (25).....	42
Gráfico 2 - Bases para a implementação do SMED (5)	43
Gráfico 3 - Tempo médio mensal da operação "Desmontar"	53
Gráfico 4 - Tempo médio da operação "Desmontar" em cada máquina	54
Gráfico 5 - Tempo médio mensal da operação "Montar".....	56
Gráfico 6 - Tempo médio da operação "Montar" em cada máquina	57
Gráfico 7 - Tempo médio de cada operação calculado através do tempo médio mensal.....	58
Gráfico 8 - Tempo médio de cada operação calculado através do tempo médio de cada máquina	59
Gráfico 9 - Comparação entre os dois métodos de aquisição de dados.....	60
Gráfico 10 - Análise ABC do <i>setup</i> da máquina 619	65
Gráfico 11 - Contabilização de operações segundo a classificação	66
Gráfico 12 - Identificação e separação de elementos externos e internos	71
Gráfico 13 - Tempos de desmontagem monitorizados.....	88
Gráfico 14 - Tempos de montagem monitorizados	89
Gráfico 15 - Comparação entre os tempos médios de troca de moldes.....	90
Gráfico 16 - Custo médio do <i>setup</i> pré-implementações VS pós-implementações	91

Glossário

JIT (Just-in-time) - sistema de administração da produção que determina que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes da hora exacta. Pode ser aplicado em qualquer organização, para reduzir stocks e os custos decorrentes.

Kanban - cartão de sinalização que controla os fluxos de produção de uma indústria.

Lead time – em português: tempo de aprovisionamento. É o tempo entre o momento de entrada do material até à sua saída do stock.

Lean Manufacturing – designação atribuída ao (STP) Sistema Toyota de Produção.

Operação bottleneck – em português: operação estrangulamento. Trata-se da operação que possui a maior restrição, da qual dependem todas as outras que constituem a cadeia produtiva.

PEDIP - Programa Estratégico de Dinamização e Modernização da Industria Portuguesa.

Poka Yoke - dispositivo à prova de erros destinado a evitar a ocorrência de defeitos em processos de fabrico e / ou na utilização de produtos.

Setup – operação de preparação da máquina para produção de uma nova peça.

SMED (Single Minute Exchange of Die) – em português: (TRF) Troca Rápida de Ferramentas. Visa reduzir os tempos de paragens das máquinas através da optimização do tempo de troca de ferramentas.

Sonafi - Sociedade Nacional de Fundição Injectada.

Takt time - termo vindo do alemão, onde “takt” significa compasso, ritmo. É o grau de necessidade do cliente dividido pelo tempo de disponível produção. O tempo “takt” estabelece o ritmo da produção para corresponder com o grau de necessidade do cliente e torna-se na "pulsção" de qualquer sistema Lean.

Toyota Production System – (STP) Sistema Toyota de Produção caracteriza-se pelos pequenos lotes de produção, permitindo uma maior variedade de produtos. Os trabalhadores são multifuncionais, ou seja, conhecem outras tarefas além de sua própria e sabem operar mais que uma única máquina. No STP a preocupação com a qualidade do produto é extrema.

TQC (Total Quality Control) – em português: Controlo de Qualidade Total. Sistema de gestão da qualidade que busca transcender o conceito de qualidade aplicada ao produto. No TQC a qualidade é entendida como a superação das expectativas não apenas do cliente, mas de todos os interessados.

WIP (Work in progress) – em português: trabalho em execução. Trata-se de um trabalho que ainda não está terminado, mas para o qual já ocorreu investimento de capital por parte da empresa.

1 Introdução

1.1 Apresentação do trabalho

Na realidade actual, em que todos os sectores da indústria sofrem efeitos da globalização dos mercados consumidores, está a ocorrer uma forte concorrência para a redução dos preços de venda dos produtos produzidos por todos os tipos de indústria de transformação. Com esta elevadíssima competitividade, são realizados estudos para redução de custos internos de fabricação.

O mercado actual exige preços baixos e prazos de entrega cada vez menores, enquanto que as empresas procuram cada vez mais tornar estas exigências uma realidade para que atinjam um diferencial competitivo perante os seus concorrentes.

Para conseguirem preços mais baixos e tempos de entrega menores, as empresas são forçadas a investir em técnicas de redução dos custos de produção em diversas frentes para assim atenderem aos requisitos especificados pelos clientes, desde simples melhorias até grandes transformações de estruturas produtivas.

Atender às necessidades dos clientes é essencial para a manutenção da empresa num mercado competitivo. Além de atender a esta expectativa, o fornecedor que supera esta barreira esperada pelo cliente, tem uma vantagem muito grande perante os seus concorrentes directos.

Quando uma empresa possui em produção um elevado leque de produtos, surge uma enorme necessidade de se efectuarem diversas trocas das variadíssimas ferramentas que equipam as máquinas em produção.

Surge então o tema deste trabalho de conclusão de curso que é a redução do tempo de *setup* (troca de ferramentas) nas máquinas de fundição injectada da Sonafi através da optimização do processo de troca de moldes com recurso à aplicação do conceito SMED (*Single Minute Exchange of Die*) onde o objectivo final é o aumento da produtividade com a rentabilização do processo.

A redução do tempo de *setup* das máquinas é essencial para a empresa ser competitiva no fabrico dos seus produtos.

A Introdução faz uma breve contextualização do trabalho, apresentando a empresa e o seu processo de produção. O capítulo 2 retrata a Fundição Injectada, tipo de indústria na qual a Sonafi trabalha. No capítulo 3 é feita uma abordagem teórica relativa ao tema do projecto realizado, a “Troca Rápida de Ferramentas.” No capítulo 4 apresenta-se a metodologia de trabalho utilizada. De seguida o capítulo 5 relata a fase de diagnóstico pré-implementações, para finalmente, o capítulo 6 apresentar o estudo feito e respectivas implementações.

1.2 Apresentação da Sonafi, S.A.

O estágio curricular que proporcionou a realização do projecto aqui apresentado foi realizado na Sonafi (Sociedade Nacional de Fundição Injectada). Trata-se de uma empresa especializada na fundição injectada de ligas de alumínio.



Figura 1 - Logotipo da Sonafi, S.A. (1)

1.1.1 Localização

A empresa está situada em S. Mamede de Infesta, concelho de Matosinhos, distrito do Porto. Encontra-se a cerca de 5 km do Aeroporto Francisco Sá Carneiro, a 3 km da cidade do Porto e a aproximadamente 8 km do porto de mar de Leixões. Está muito bem localizada em relação às vias de comunicação terrestres, estando muito perto das principais auto-estradas do norte do país nomeadamente a A1 (Porto – Lisboa), a A3 (Porto – Braga) e A4 (Porto – Vila Real). Esta localização estratégica facilita o transporte de matérias-primas por parte dos fornecedores, assim como o despacho de produtos concluídos para os clientes (estrangeiros e nacionais).

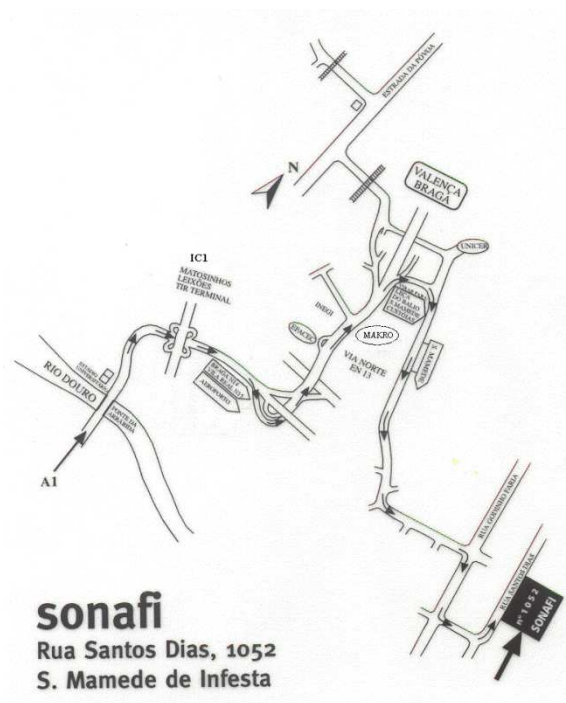


Figura 2 - Acessos às instalações da Sonafi, S.A. (1)

1.1.2 Historial

Fundada a 6 de Abril de 1951 pela “Société Générale de Belgique”, a Sonafi foi a primeira fábrica de fundição injectada de Portugal, criando desta forma uma linha própria de produtos acabados. Até 1973 a empresa dedicava-se exclusivamente ao fabrico de ferragens, lançando produtos inovadores e dominando completamente o mercado. Por esta altura a empresa foi comprada pelo grupo português “Eminco”. Pouco tempo mais tarde começa a enfrentar uma crise económica devido à entrada de concorrência no mercado da fundição injectada, nomeadamente por parte de pequenas empresas de carácter familiar, que disponibilizavam produtos semelhantes a um preço substancialmente inferior. É nesta adversidade que desenvolve linhas de produtos acabados para exportação.



Figura 3 - Foto exterior da Sonafi, S.A.

Em 1981 a Renault chega a Portugal e a empresa, prevendo um aumento substancial de concorrência, redefine a sua estratégia apontando baterias para a indústria automóvel. Em 1986 a direcção em funções adquire a Sonafi, que impõe uma profunda reestruturação nomeadamente com a aquisição de equipamentos e tecnologia de ponta. Novos mercados alvo surgem, tal como o de equipamentos de aquecimento a gás. Em 1988 a empresa especializa-se em fundição injectada, abandonando o sector de produtos acabados. Em 1989 é vendida a actividade dedicada à produção de ferragens, não só por disparidade dos padrões de qualidade, mas também por questões estruturais.

Entre 1992 e 1994 a Sonafi beneficia de um programa especial de reestruturação da indústria nacional, o PEDIP (Programa Estratégico de Dinamização e Modernização da Industria Portuguesa).

Em 2001 o grupo internacional EuralCom adquiriu a empresa, passando a pertencer a um conjunto de grandes empresas de renome internacional na área de produção de peças técnicas, mecanizações e montagens.

Seis anos passados até Dezembro de 2007, altura em que se dá a separação do grupo EuralCom.

Actualmente a empresa encontra-se inserida no grupo Brabant – Alucast International e a sua produção encontra-se 100% direccionada para o sector automóvel.

1.1.3 Objectivos e filosofia da empresa

Sendo uma empresa especializada em fundição injectada e mecanização de peças técnicas de pequena e média dimensões em ligas de alumínio, a qualidade do serviço prestado e o cumprimento dos prazos de entrega são as principais preocupações da empresa.

É feita uma grande aposta na qualidade e fiabilidade no processo de produção como resposta às exigências do mercado. Há uma permanente preocupação na melhoria contínua como antecipação à mudança que representa para a Sonafi uma garantia de sobrevivência.

Sem nunca esquecer o trabalho em equipa e a formação pessoal, na Sonafi procura-se uma comunicação clara a todos os níveis para que cada um se veja como parte do processo de melhoramento da empresa.

A filosofia da empresa desenvolve-se em quatro grandes linhas:

- Organizar, porque para atingir os objectivos da Sonafi cada um tem que perceber a sua função enquanto parte de um grupo;
- Inovar, porque só assim se pode liderar um mundo em constante mudança;
- Desenvolver, porque só o espírito de melhoria contínua nos permite assegurar a continuidade;
- Humanizando, porque o homem, é afinal, o motor de todo este processo. Porque é ele o beneficiário último das suas acções e porque entendemos que na Sonafi, cada um vale como indivíduo e ser humano.

ORGANIZAR, INOVAR, DESENVOLVER HUMANIZANDO

“Esta é a nossa maneira de estar.”

1.1.4 Estrutura da organização

A empresa encontra-se dividida em oito departamentos, que por sua vez se dividem em secções. Cada departamento tem um responsável ao qual estão subordinados aos diferentes chefes de secção. Ao Conselho de Administração é atribuída a função de estabelecer os objectivos de organização da empresa e controlar a acção executiva da Direcção Geral. A Direcção Geral implementa os objectivos definidos pelo Conselho de Administração, estabelecendo uma estratégia de actuação para os diferentes departamentos. O Director de Departamento assegura, na área da sua responsabilidade, a implementação da estratégia definida pela Direcção Geral. Os Encarregados e Chefes de Secção são responsáveis pela coordenação dos meios produtivos e outros que lhe estão afectos sempre prevendo o cumprimento das estratégias do departamento.

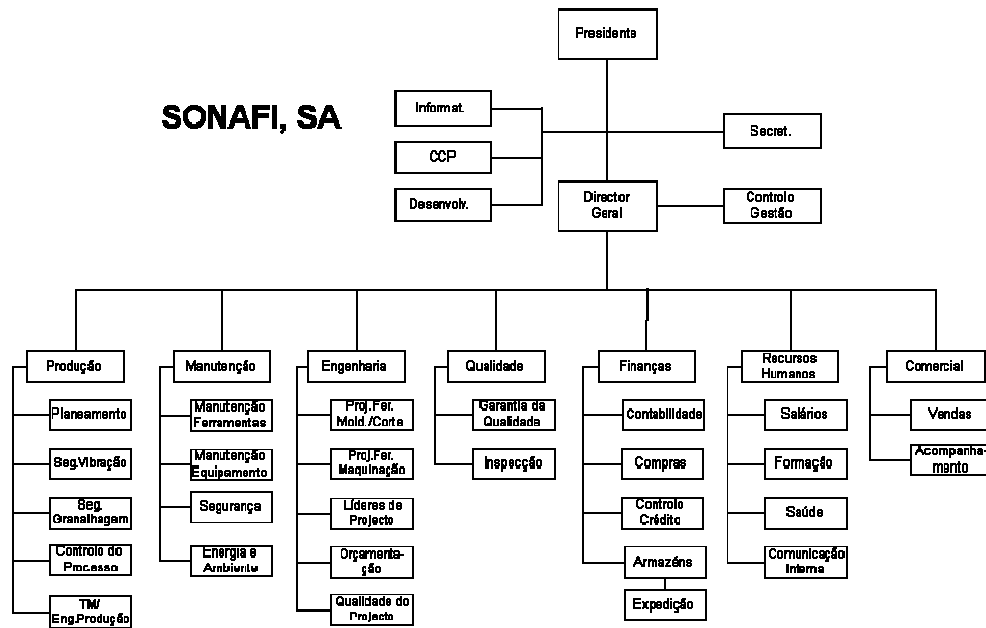


Figura 4 - Organograma da Sonafi, S.A. (1)

1.1.5 Matérias-primas

As matérias-primas utilizadas na Sonafi são lingotes de liga de alumínio (Figura 5). Estes lingotes após adquiridos aos fornecedores e armazenados já na empresa, vão cumprir o primeiro passo do processo de produção (a descrever posteriormente), que é a fusão. A estes lingotes adquiridos aos fornecedores vão-se juntar as peças de refugo (Figura 6), que são peças não conformes, gitos e masselotes que voltam ao início da cadeia de produção.



Figura 5 - Lingotes de liga de alumínio



Figura 6 - Peças de refugo

As ligas de alumínio utilizadas na empresa estão identificadas na Tabela 1:

Tabela 1 - Ligas de Alumínio utilizadas na Sonafi (1)

Designação Interna	Norma	Composição Química
Liga Violeta	NF EN 1706; DIN EN 1706 (EN AC46000)	Al Si9 Cu3 (Fe)
Liga Azul	NF EN 1706; DIN EN 1706 (EN AC43100)	Al Si10 Mg

1.1.6 Produtos fabricados

O mercado alvo da Sonafi é a indústria automóvel. O leque de peças fabricado é enorme. Desde corpos de filtros de óleo, tampas de bombas de óleo, balanceiros de distribuição de motores, apoios de árvores de cames, tampas de bomba de água, corpos de bomba de água, corpos de alojamento da borboleta de admissão, corpos do sistema EGR, tampa de selector de caixa de velocidades automática, apoios de motor, etc.

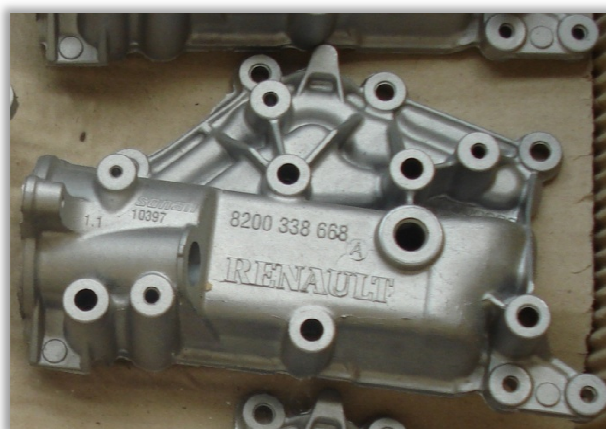


Figura 7 - Exemplo de produto acabado

1.1.7 Principais clientes

Sendo o mercado alvo a indústria automóvel, os principais clientes são fabricantes de componentes e marcas. É feita expedição de produtos acabados para clientes nacionais e internacionais, tais como:

Renault, Delphi, GM, Filtrauto, Ford, Mercedes, Bosch, Jac Products, Lucas, Opel, VDO, ...

1.1.8 Layout das instalações

A área fabril da empresa encontra-se dividida em seis secções.

- Uma secção de fusão e transporte;
- Duas secções de fundição;
- Três secções de acabamentos.

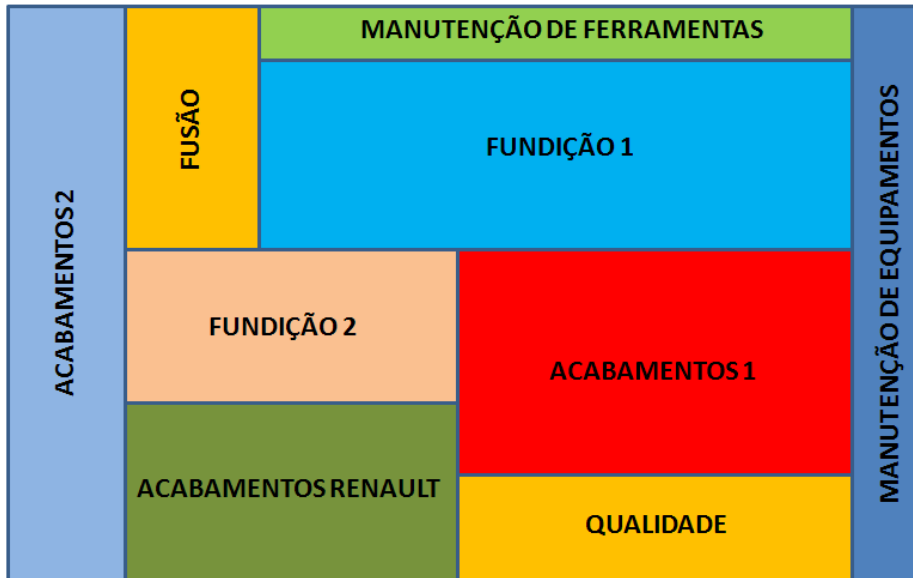


Figura 8 - Layout das instalações

1.1.8.1 Secção de fusão e transporte

Esta secção encontra-se subdividida em duas áreas de trabalho. A primeira é a área da fusão (Figura 9) onde se encontram instalados três fornos de soleira seca a gás natural. Possuem os três diferentes capacidades de fusão e manutenção.



Figura 9 - Área de fusão

Nesta área existe ainda a máquina de desgaseificação (Figura 10), onde é introduzido Azoto e escorificante no alumínio já fundido, de modo a diminuir o grau de impurezas presentes.

A segunda área de trabalho, relativa ao transporte (Figura 11), encarrega-se de distribuir o alumínio fundido pelos fornos de manutenção instalados em cada uma das máquinas de fundição injectada.



Figura 10 - Máquina de desgaseificação



Figura 11 - Secção de transporte do alumínio fundido

1.1.8.2 Secção de fundição

Nesta secção encontram-se ao serviço da Sonafi 23 máquinas de fundição injectada. Acopladas a cada uma destas encontram-se os respectivos fornos de manutenção e prensas. Nas prensas estão montados os cortantes adaptados a cada gito.

A secção de fundição (Figura 12, Figura 13) está dividida por duas áreas, uma com 20 e outra com 3 máquinas. Grande parte destas está equipada com colher automatizada de alimentação que transporta o alumínio fundido do forno de manutenção para a camisa do pistão.

A classificação de automatização das máquinas instaladas na Sonafi pode ser dividida da seguinte maneira:

- Máquinas sem automatização, nas quais os operários têm que retirar os gitos dos moldes, imergi-los na tina de arrefecimento e colocá-los no cortante;
- Máquinas semi-automáticas, onde o robot retira os gitos do molde e os coloca em tapetes após os passar pela tina de arrefecimento. O operário apenas tem que os colocar no cortante instalado na prensa.
- Máquinas automáticas, nas quais todo o processo (extracção dos gitos do molde, quebra dos masselotes, imersão dos gitos nas tinas de arrefecimento e colocação na prensa cortante) é efectuado sem a intervenção de operários.

As máquinas que não são alimentadas por colher automatizada, possuem calhas que encaminham o alumínio fundido para as camisas dos pistões.

É feita uma inspeção visual e dimensional, com calibres preparados para cada peça, no início, meio e fim de turno.



Figura 12 - Secção de fundição (corredor esquerdo)



Figura 13 - Secção de fundição (corredor direito)

1.1.8.3 Secção de acabamentos

A secção de acabamentos está subdividida em três áreas às quais correspondem três diferentes tarefas. Temos então:

- Área de acabamento superficial, onde estão instaladas as granalhadoras (Figura 14) e vibradoras (Figura 15) que proporcionam às peças vindas do secção da fundição a limpeza de rebarbas e melhoramento do acabamento superficial;



Figura 14 - Peças para granalhar



Figura 15 - Vibradora

- Área de triagem (Figura 16), onde são separadas as peças segundas as características funcionais impostas pelo cliente. As peças rejeitadas voltam ao início da cadeia do processo de fabrico para serem refundidas;



Figura 16 - Colaboradora de triagem

- Área de maquinagem (Figura 17), onde as peças aprovadas na triagem são submetidas ao acabamento final. Esta área possui diversos centros de maquinagem totalmente automatizados alimentados por robots e máquinas de maquinagem convencional operadas por funcionários. Finalmente ainda nesta área de maquinagem faz-se uma inspeção visual e dimensional de todas as peças, e alguns casos ainda outros testes como o de estanquicidade.



Figura 17 - Célula de maquinagem

1.3 Processo de produção na Sonafi, S.A.

Todo o processo se inicia com a fusão dos lingotes de alumínio e os refugos de fundição (Figura 18) (gitos, masselotes, peças não conformes, etc.) nos três fornos instalados na secção de fusão. A proporção de lingotes / refugos a introduzir no forno é 40% / 60%. As peças de refugo são as primeiras a introduzir por serem menos densas e formarem uma espécie de zona de amortecimento de recepção aos lingotes.



Figura 18 - Lingotes de alumínio e refugos de fundição

Após ser fundido, o alumínio é vertido para a colher de transporte (Figura 19) colocada num empilhador.



Figura 19 - Vazamento de alumínio do forno para colher de transporte

O operário que faz este transporte leva a colher até à máquina de desgasificação (Figura 20) (eliminação de H_2), onde são retiradas as impurezas do alumínio líquido. Nesta máquina que é uma espécie de “batedeira gigante”, e possui um rotor de grafite, é adicionado azoto para fazer emergir as impurezas presentes e material escorificante para as aglomerar. Após isto, o operário retira a escória com uma escumadeira.



Figura 20 - Máquina de desgasificação

O alumínio fundido fica pronto para abastecer os fornos de manutenção acoplados às máquinas de fundição injectada. O transporte é feito da mesma forma, ou seja, através do empilhador.

De seguida, uma pequena colher automatizada (Figura 21) retira alumínio líquido do forno de manutenção da máquina para abastecer a respectiva camisa do pistão. Já com o molde fechado no interior da máquina de injeção, o alumínio é injectado pelo pistão. Depois do compasso de espera para arrefecimento do gito dentro do molde, ele é retirado através do robot ou de um extractor específico.



Figura 21 - Colher automatizada

Posteriormente, o gito é submerso em água colocada numa tina ainda na célula de fabrico. De seguida vai ao cortante instalado na prensa (Figura 22), onde as peças a fabricar são separadas do gito.

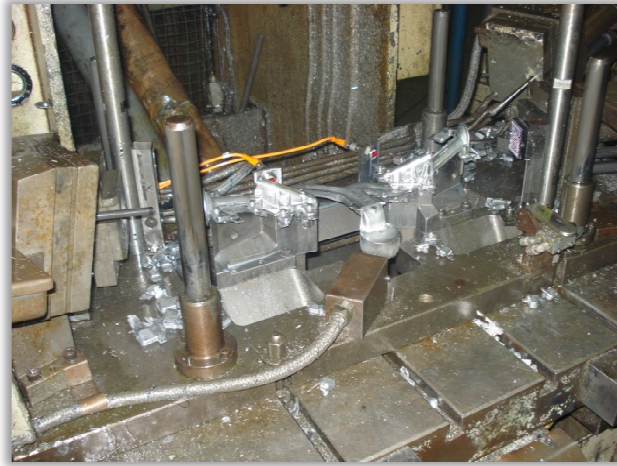


Figura 22 - Gito na prensa cortante

Estas peças seguem para o processo de acabamento superficial, já na secção de acabamentos, onde são submetidas a granalhagem ou a vibração (Figura 23).



Figura 23 - Pedras abrasivas da máquina de vibração

De seguida, são maquinadas (Figura 24) conforme os requisitos dos clientes para serem posteriormente sujeitas a um rigoroso controlo de qualidade. Se aprovadas, são embaladas (Figura 25) e armazenadas no armazém de expedição.



Figura 24 - Peça em processo de maquinagem



Figura 25 - Peças embaladas

Como já referido anteriormente, todos os gitos resultantes do processo de fundição e todas as peças não conformes, voltam ao início da cadeia de produção para serem submetidos novamente ao processo de fusão.

2 Fundição Injectada

A fundição injectada é um processo de fundição no qual o metal é introduzido sob elevada pressão, no interior de uma moldação metálica. É considerado um processo de precisão.

2.1 Processo

Este processo de fundição consiste na injeção de um metal no estado líquido, a elevada pressão e velocidade num molde metálico (permanente), seguido de solidificação controlada (sob a acção dessa mesma pressão), para obter tolerâncias apertadas, espessuras finas e formas relativamente complexas. Logo estamos perante um processo de precisão. Esta técnica permite atingir uma elevada cadência de produção, obter peças num curto espaço de tempo e com pouca maquinagem associada. Dependendo do tamanho, forma e número de cavidades do fundido é possível produzir centenas ou milhares de peças por hora. Exemplo disso é o balanceiro da Renault produzido na Sonafi ilustrado na Figura 26.



Figura 26 - Balanceiro Renault

Neste processo fabricam-se peças com pesos entre 50g até 20Kg. A precisão dimensional obtida varia entre 0,05 – 0,0016 mm. Relativamente à espessura mínima possível de obter por este processo é de 2,5mm. Devido às suas características este processo de moldação aplica-se a uma grande série de peças (normalmente superiores a 5000).

2.1.1 Descrição geral do processo de injeção

A quantidade adequada de metal fundido é retirada do forno de manutenção com uma colher e é vazada, o mais rapidamente possível para se evitar um elevado decréscimo de temperatura, no orifício da camisa de injeção que fica parcialmente cheia.

De seguida o pistão avança, primeiro lenta e depois rapidamente, e injecta o alumínio para as cavidades moldantes.

Alguns segundos depois, devido à transferência de calor para o molde, o metal solidifica.

O molde abre, as gavetas recuam e o pistão empurra a bolacha durante 20 a 30 mm para a fazer sair do molde fixo.

O gito sai agarrado ao molde móvel e no final da abertura, o sistema de extracção accionado hidraulicamente actua, sendo todo gito empurrado pelos pernos extractores para fora do molde móvel.

Simultaneamente a pinça do extractor segura na bolacha e faz a sua remoção para o exterior.

Esta é a altura em que se inicia o processo de lubrificação / sopragem, durante o qual as cavidades moldantes no molde fixo e no molde móvel são pulverizadas com um líquido que, além de as arrefecer superficialmente, ao evaporar deixa um fino filme sólido com propriedades lubrificantes e anti aderentes, essencial para permitir a extracção sem problemas no próximo ciclo.

No final o molde volta a fechar e dá-se nova injecção.

Ao conjunto de operações que medeiam entre duas aberturas consecutivas do molde durante o qual se produz um gito e o molde é aquecido em contacto com o metal líquido injectado e depois arrefecido enquanto está aberto, chama-se ciclo de Injecção (Figura 27).

Os ciclos de aquecimento / arrefecimento a que o molde é submetido durante cada ciclo de injecção provocam expansões e contracções nos diferentes constituintes do molde e, em consequência destas produzem-se tensões de tracção / compressão o que, após algumas dezenas de milhar de ciclos, fazem surgir fissuras à superfície que se propagam para o interior e que têm de ser reparadas. A este fenómeno chama-se fadiga térmica do molde.

À deterioração do molde devido à fadiga térmica, desgaste por erosão motivado pelo contacto do metal a elevadas velocidades e pressões e ainda às sucessivas reparações que vão sendo necessárias (polimentos, ajustes, soldaduras, etc.) chama-se envelhecimento do molde.

Ao número de injecções que um molde permite fazer até que tem de ser substituído chama-se vida do molde.

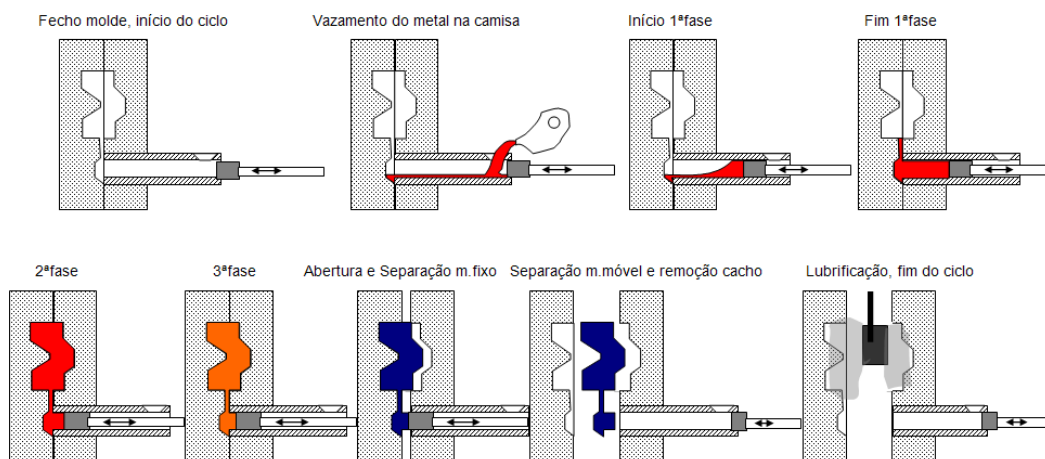


Figura 27 - Ciclo de injeção (23)

2.1.2 Fases do ciclo de injeção

2.1.2.1 Primeira fase – aproximação e enchimento da câmara de injeção

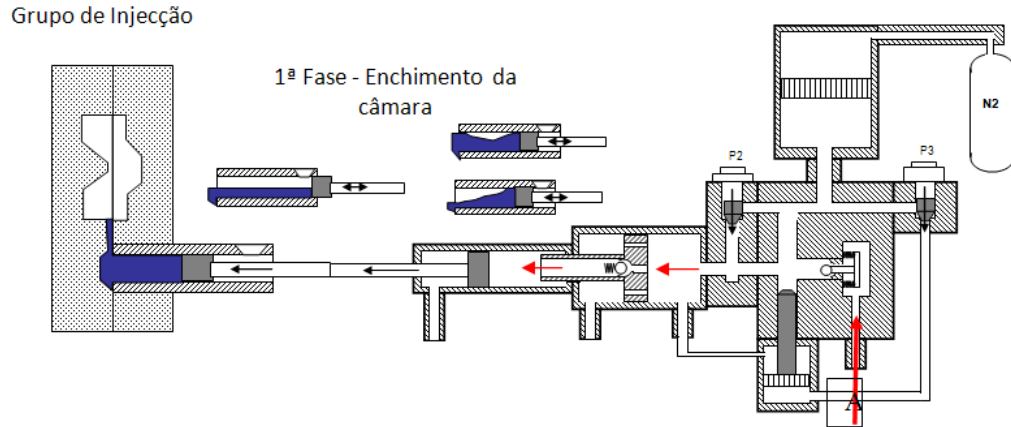


Figura 28 - Primeira fase do ciclo de injeção (23)

Durante esta fase a câmara de injeção enche de metal, o ar é completamente expulso sem que se produzam turbilhões e no final o metal avança devagar no sistema de gitagem até chegar à entrada das primeiras cavidades moldantes.

O pistão de injeção avança devagar, a velocidade ou aceleração constantes fazendo o nível subir na câmara até ficar completamente cheia e depois até às cavidades moldantes.

É importante criar condições para que o ar contido inicialmente na câmara seja completamente expulso, o que a não acontecer vai dar origem a defeitos nas peças (bolhas de gás aprisionado). Para isso o movimento do pistão com aceleração constante é mais favorável devido à forma da onda de metal que se forma à frente do pistão durante o avanço, e é a opção que habitualmente é adoptada.

O momento em que o metal chega à entrada das primeiras cavidades moldantes chama-se fim da 1ª fase e ao deslocamento do pistão desde a posição inicial até ao correspondente ao fim da 1ª fase chama-se comprimento da 1ª fase.

Nesse instante há um sinal produzido por um sensor colocado na régua de injeção na posição adequada, regulável, que faz abrir a válvula (P2) e dá início à 2ª fase em que se faz o enchimento das cavidades moldantes.

A velocidade / aceleração da 1ª fase é regulável por actuação sobre a válvula progressiva da 1ª fase (A). Esta regulação pode ser feita manualmente ou com auxílio de um pequeno motor (montado sobre a válvula) que é comandado a partir da consola de controlo e deste modo se regula o caudal do óleo vindo da bomba principal que vai empurrar o pistão de injeção.

A duração da 1ª fase deve ser o mais curta possível para reduzir a queda de temperatura e a oxidação do metal, mas de modo a que não haja aprisionamento de ar.

O comprimento da 1ª fase é regulável pela posição do sensor na régua de injeção de modo a assegurar o nível correcto do metal no molde antes de se iniciar a 2ª fase (à entrada das cavidades moldantes).

Se for demasiado longo, o metal sobe demais no sistema de gitagem e começa a entrar lento nas cavidades moldantes o que origina defeitos de mal cheio / mal ligado e soluções de continuidade.

Se for demasiado curto, a câmara / canais podem não ficar completamente cheios e quando se inicia o avanço rápido na 2ª fase formam-se turbilhões com aprisionamento de ar que é levado para as cavidades moldantes dando origem a poros e bolhas de ar nas peças injectadas.

Esta regulação pode ser feita como mencionado para a velocidade / aceleração da 1ª fase, ou seja, manualmente ou com auxílio de um pequeno motor actuado a partir da consola de controlo.

2.1.2.2 Segunda fase - enchimento das cavidades moldantes e masselotes

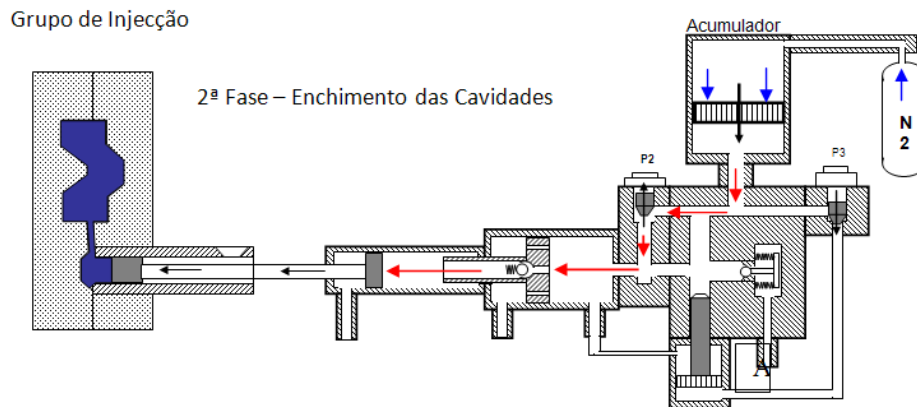


Figura 29 - Segunda fase do ciclo de injeção (23)

Nesta fase (Figura 29) o metal é empurrado a grande velocidade por acção do avanço rápido do pistão, a uma pressão relativamente baixa.

O momento em que se inicia a 2ª fase é dado pela abertura da válvula de injeção 2ª fase (P2).

A rapidez do avanço do pistão é conseguida pelas características da válvula de injeção e pela acção de expansão quase instantânea do azoto contido numa botija apropriada – acumulador de azoto.

A velocidade da 2ª fase (velocidade de avanço do pistão durante a 2ª fase) é regulável pela actuação na válvula proporcional da injeção. A regulação desta válvula pode ser feita manualmente ou com auxílio de um pequeno motor actuado a partir da consola de controlo.

A velocidade de avanço do pistão (velocidade de 2ª fase) define a energia cinética do metal que enche as cavidades moldantes, que é um dos factores que mais frequentemente está na origem do fenómeno abertura do molde / "encharcados".

A velocidade de 2ª fase, juntamente com o diâmetro da camisa de injeção define o caudal de metal que é injectado nas cavidades moldantes.

O caudal de metal e a soma das secções de nas cavidades moldantes definem a velocidade de entrada do metal nas cavidades moldantes (velocidade de enchimento) que é o principal factor que condiciona o número / grau de fragmentação das bolhas de ar aprisionado.

À relação entre os volumes de metal a injectar e o da câmara de compressão ou, o que é o mesmo, relação entre as velocidades do pistão e velocidade de enchimento chama-se taxa de enchimento.

Habitualmente trabalha-se com taxas de enchimento de 30 a 60%.

Quando se pretende alterar a taxa de enchimento habitualmente modifica-se o diâmetro da camisa / pistão de injeção.

A forma, localização e dimensão dos ataques é importante para a qualidade das peças e para o comportamento e duração do molde.

O enchimento deve fazer-se de modo a que o primeiro metal que entra nas cavidades (mais sujo) vá parar aos masselotes evitando assim o aparecimento de defeitos nas peças (inclusões, filmes de óxidos, restos de desmoldante, etc.).

Sempre que possível deve procurar-se que a direcção da entrada do metal na cavidade moldante seja tal que não incida directamente na superfície dos elementos moldantes, para se reduzir ao mínimo a agressão por erosão. Isto controla-se actuando sobre a forma localização e orientação dos ataques.

No final da 2ª fase, quando as cavidades moldantes ficam cheias, a pressão de injeção sobe bruscamente.

É esta subida de pressão que marca o fim da 2ª fase e início da 3ª fase.

2.1.2.3 Terceira fase – compactação

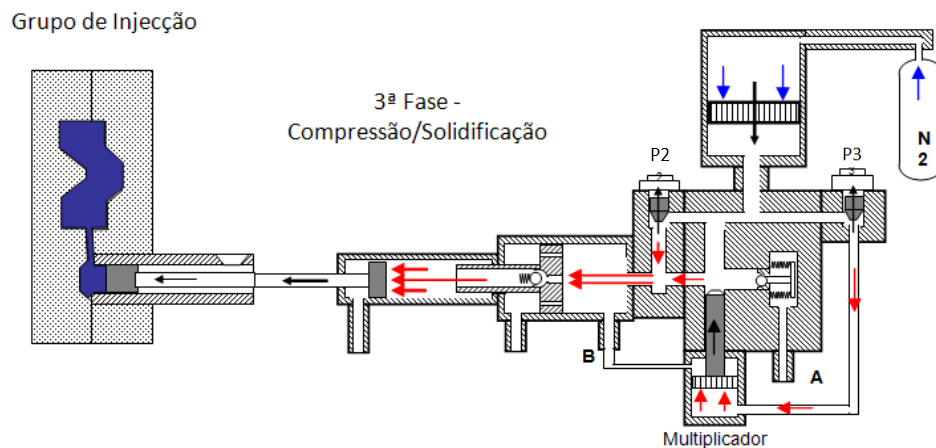


Figura 30 - Terceira fase do ciclo de injeção (23)

Com efeito, quando a pressão atinge um determinado valor, isso faz abrir a válvula da 3ª fase (P3) o que faz o pistão do cilindro multiplicador entrar em funcionamento originando uma nova subida da pressão de compactação para o seu valor máximo – pressão de compactação da 3ª fase.

O início da 3ª fase (Figura 30) pode em alternativa ser definido pela posição do pistão de injeção, mas habitualmente ele é definido pelo sensor de pressão.

A subida da pressão deve ser muito rápida e este factor é muito importante para a qualidade das peças injectadas (compactidade e estrutura).

A utilização de pressões de compactação elevadas destina-se a melhorar o enchimento das zonas mais difíceis, compensar a contracção verificada durante a solidificação, reduzir a dimensão do tamanho das bolhas aprisionadas em algumas zonas das peças (poros de gás), melhorar a compacidade (estanquidade) e reduzir o tamanho de grão (características mecânicas).

Nesta fase pode regular-se a pressão exercida pelo multiplicador (pressão da 3ª fase) actuando na válvula de contra pressão (C), e o tempo de duração da 3ª fase / tempo de solidificação.

2.2 Máquinas para fundição injectada

Na fundição injectada as coquilhas estão aplicadas nos pratos (um fixo e outro móvel) de uma prensa de fecho e abertura. Estão associados mecanismos automáticos de desmoldação e dispositivos de vazamento próprios que conduzem para os dois grandes tipos de máquinas utilizadas neste processo:

- Máquinas de câmara quente;
- Máquinas de câmara fria.

As máquinas mais recentes possuem uma nomenclatura que é apresentada na Figura 31, no entanto podem existir algumas variações.

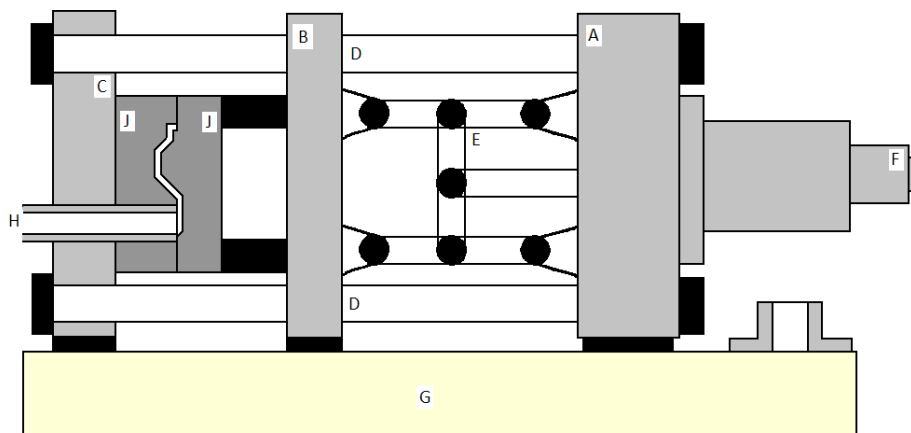


Figura 31 - Esquema dos diferentes elementos de uma máquina de fundição injectada (23)

- A – Placa impulsora;
- B – Placa móvel;
- C – Placa fixa;
- D – Tirantes;
- E – Sistema de alavancas;
- F – Braço de fecho;
- G – Base da máquina;
- H – Sistema de injeção;
- J – Meios moldes.

2.2.1 Funcionamento das máquinas

O controlo das máquinas pode ser manual, semi-automático ou automático. No início é aplicado desmoldante aos meios moldes com o objectivo de facilitar a extracção do fundido evitando a sua colagem ao molde e ao mesmo tempo proteger os meios moldes dos choques térmicos e da degradação atmosférica.

A solidificação do fundido é realizada dentro do molde durante alguns segundos. Posteriormente o segundo é aberto procedendo-se a remoção da peça através do robot extractor (Figura 32).



Figura 32 - Robot extractor

Esta operação é auxiliada por pinos ejectores que se situam no meio molde móvel, cuja função é separar o fundido da superfície do molde.

No final os meios moldes são lubrificados com o desmoldante e o excedente é removido através de jactos de ar, repetindo-se assim um novo ciclo.

Os componentes da máquina de fundição injectada e do sistema de injeção são de ferro fundido e de aço. Quando o metal fundido for agressivo para estes materiais o contacto deve ser minimizado. Para os dois metais mais utilizados em fundição injectada, o Alumínio é agressivo enquanto que o Zinco não o é, para as temperaturas do processo. Assim existem diferenças de processamento: o Zinco é vazado pelo processo de câmara quente enquanto que o alumínio é vazado pelo processo de câmara fria.

O sistema de fecho permite a movimentação da placa móvel até à posição programada pelo operador sendo aplicada uma elevada força no fecho do molde. Esta operação é efectuada com o auxílio de uma bomba hidráulica, de um cilindro e de um sistema de alavancas denominado “tesouras”.

Durante a operação de fecho do molde verificam-se subidas e descidas da pressão. Estas variações correspondem à movimentação da placa móvel.

Na prática, a força de fecho tem que ser suficientemente grande para compensar a pressão de saída do metal. Os equipamentos mais vulgares atingem valores de 250 ton.

2.2.2 Os dois tipos de máquinas de fundição injectada

2.2.2.1 Máquinas de câmara quente

As máquinas de câmara quente (Figura 33) possuem uma manga de enchimento mergulhada no banho metálico (assim o forno de manutenção do metal fundido é parte integrante da máquina).

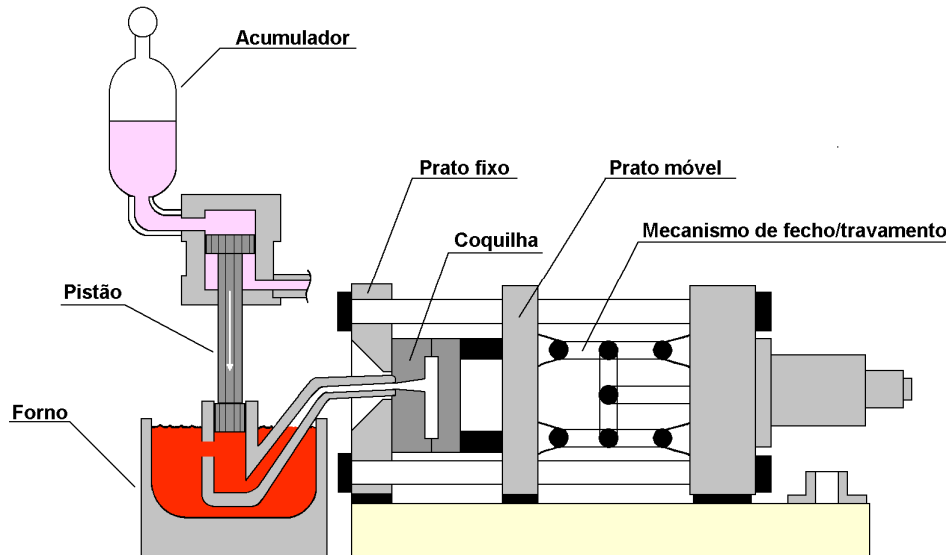


Figura 33 - Esquema de uma máquina de fundição injectada em câmara quente (23)

O dispositivo de injeção (pistão) que se encontra no interior da camisa está parcialmente imerso no metal fundido. O prolongamento da camisa estabelece uma ligação física entre o forno e a moldação. Quando o pistão se encontra na posição mais recuada a camisa está cheia de metal líquido. Ao ser accionado o pistão sob a acção de uma pressão o metal líquido é introduzido na moldação e é mantida a pressão até completa solidificação do gito. No final o pistão recua permitindo novo enchimento, simultaneamente dá-se a extracção do gito.

Não existem problemas de turbulência e a exposição ao ar dos processos de vazamento clássicos, porque o contacto do metal com a atmosfera é reduzido.

O pistão apresenta um tempo de vida limitado, porque está permanentemente em contacto com o metal líquido.

A utilização destes equipamentos, devido à sua natureza, aplica-se a ligas de baixo ponto de fusão (ligas de Zn e Mg).

2.2.2.2 Máquinas de câmara fria

Nas máquinas de câmara fria (Figura 34) a principal característica é o facto de a camisa e o pistão não estarem em contacto directo e permanente com o metal fundido. Existe um forno independente no qual o metal líquido é mantido à temperatura desejada e transportado através de uma colher de metal refractário (com funcionamento manual ou mecânico) para a zona de injeção que está acoplada ao prato fixo da prensa.

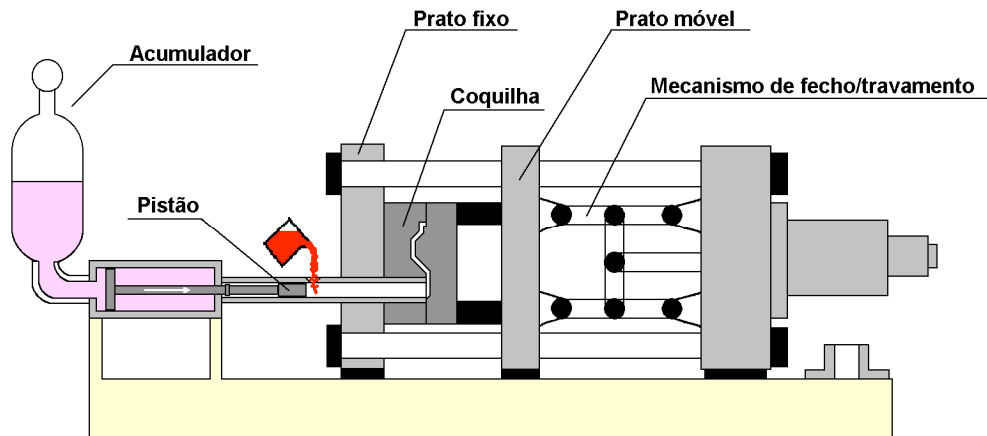


Figura 34 - Esquema de uma máquina de fundição injectada em câmara fria (23)

A sequência da operação apresenta os mesmos princípios de funcionamento atrás descritos para fundição injectada em câmara quente.

Existe uma maior probabilidade de aparecimento de porosidades internas nos fundidos, devido ao aprisionamento de ar durante o enchimento e solidificação, porque é difícil evitar a turbulência neste tipo de máquinas durante o vazamento.

Como vantagem a câmara fria possibilita a injeção de ligas com ponto de fusão mais elevado, sendo as mais utilizadas industrialmente as ligas de Al e Cu.

2.3 Moldes para fundição injectada

O molde ou moldação é actualmente uma ferramenta capaz de reproduzir as formas geométricas desejadas através de cavidades que tenham inserido os formatos e dimensões do produto desejado. Deve ser composto pelo menos por duas partes, para permitir a remoção da peça. Deste modo um molde será então uma parte móvel ou macho e uma parte fixa ou cavidade. Devido ao custo do molde ser elevado, o molde deve ser capaz de produzir milhares de peças.

Um molde de injeção pode ser entendido como um conjunto de sistemas funcionais, que permitem que o espaço em que a peça vai ser moldada, definido pela cavidade, seja preenchido com o metal fundido em condições controladas por outros sistemas, que garantem a qualidade dimensional e estrutural das peças produzidas.

Estes sistemas serão mecânicos, eléctricos e hidráulicos e garantem os seguintes aspectos:

- A estrutura assegura a rigidez do molde;
- O guiamento mantém o perfeito alinhamento da cavidade com o macho;
- Os sistemas de guiagem, vulgarmente designados por alimentação (canais de alimentação e pontos de injeção), permitem o percurso do metal fundido, desde o cilindro de injeção da máquina até à cavidade;

- O controlo de temperatura que assegura que nas superfícies moldantes a temperatura seja tão uniforme quanto possível e que a refrigeração seja feita de forma rápida e eficiente;
- A extracção permite retirar as peças do molde.

Além destes sistemas, os moldes de injeção mais elaborados, podem ser dotados de sistemas especiais que assegurem os movimentos mais complexos, que monitorizam a temperatura e pressão, que controlam a extracção com robôs, ou que fazem o controlo independente da temperatura no sistema de alimentação.

Actualmente, os moldes de injeção são construídos em variados tipos de materiais, desde os aços de alta liga usados em moldes para grandes séries e mais exigentes, até aos aços ao carbono para peças menos exigentes e de pequenas séries.

O grande sucesso desta tecnologia deve-se ao efeito combinado de uma série de vantagens comparativas, entre as quais se salientam:

- Elevada produção contínua;
- Grandes séries de produção;
- Precisão dimensional;
- Grande flexibilidade em termos de geometria e dimensões das moldagens.

A moldação por injeção obedece às etapas típicas de transformação destes materiais, envolvendo, sequencialmente, as etapas seguintes: aquecimento do material até este adquirir uma viscosidade baixa; conformação sobre pressão; e arrefecimento com consequente solidificação e recuperação da rigidez.

2.3.1 Constituição do molde

O molde de fundição injectada é constituído pelo menos, por duas partes: o Molde do Lado Fixo, que é montado no lado do sistema de injeção da máquina, e o Molde do Lado Móvel, montado no prato móvel da máquina, onde fica agarrado o gito e de onde este é ejectado quando o molde abre. Em ambas as partes do molde existem canais de refrigeração, que permitem o arrefecimento deste durante o ciclo produtivo.

O lado fixo é projectado de forma a receber a camisa de injeção, elemento onde o metal é vazado antes de ser injectado para o interior do molde.

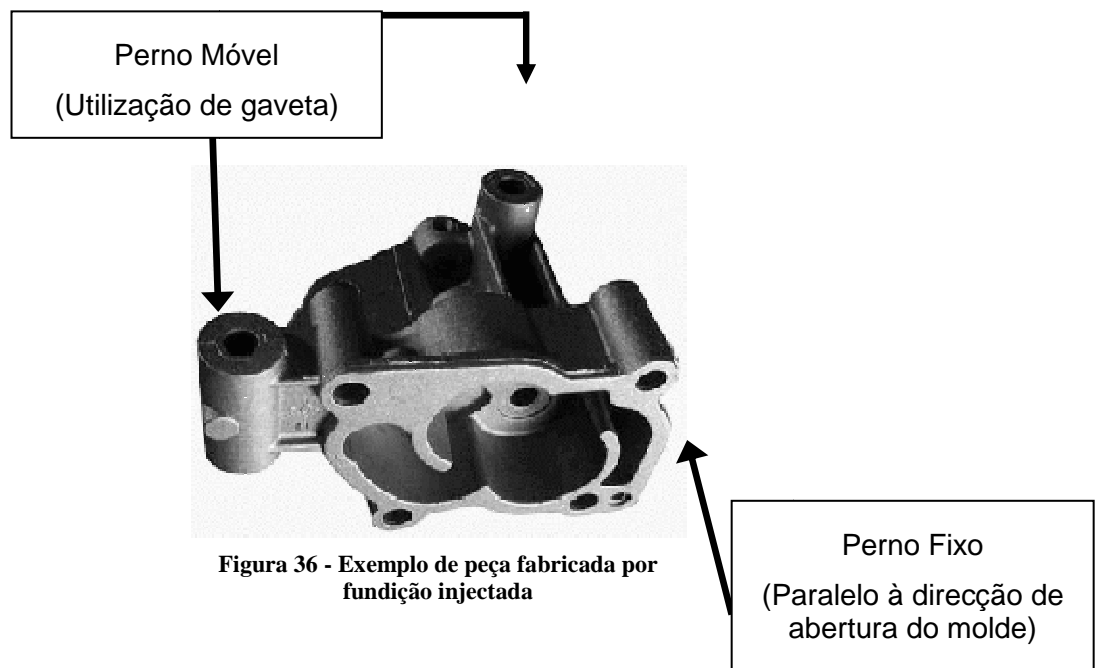
Inseridos normalmente no lado móvel, encontram-se o canal de alimentação e a secção de ataque, responsáveis pelo encaminhamento e passagem do metal fundido para o interior do molde (cavidade). As cavidades do molde devem ser polidas ou trabalhadas em função do aspecto superficial pretendido. Ao lado móvel estão também ligadas as Placas Extractoras, nas quais existe o sistema de ejeção do gito.



Figura 35 - Pormenor de um molde

A extracção do gito ocorre quando os extractores, que estão montados nas respectivas placas extractoras, se deslocam para a frente, forçando assim o gito, isto é, movendo-o para fora da cavidade. Nas placas extractoras estão também montados os pernos de retorno que permitem o recuo da placa durante o fecho do molde.

Os moldes têm pernos moldantes fixos ou móveis. Se são fixos, o seu eixo deve ser paralelo à direcção de abertura do molde, se são móveis encontram-se montados em gavetas.



Resumindo um molde para fundição injectada é constituído por 4 grandes grupos funcionais:

- Estrutura – é a base do molde. Nela são montados e ajustados os restantes grupos;
- Inserções – são os elementos críticos do molde. Nelas estão gravadas as formas complexas das peças a produzir em negativo;

- Gavetas – são elementos móveis opcionais, ou seja, nem sempre estão presentes no molde; são compostas por vários elementos que, depois de montados na estrutura, permitem obter formas simples ou complexas em direcções paralelas, ou não, à abertura do molde.
- Acessórios – são os elementos responsáveis pela segurança e funcionamento do molde.

2.3.2 Estrutura do molde

Um molde é constituído pela estrutura e partes moldantes (inserções e movimentos). Estes componentes devido ao desempenho que cada um tem no molde são executados em aços com características diferentes. Na Figura 37, pode observar-se um molde completo com os principais componentes.

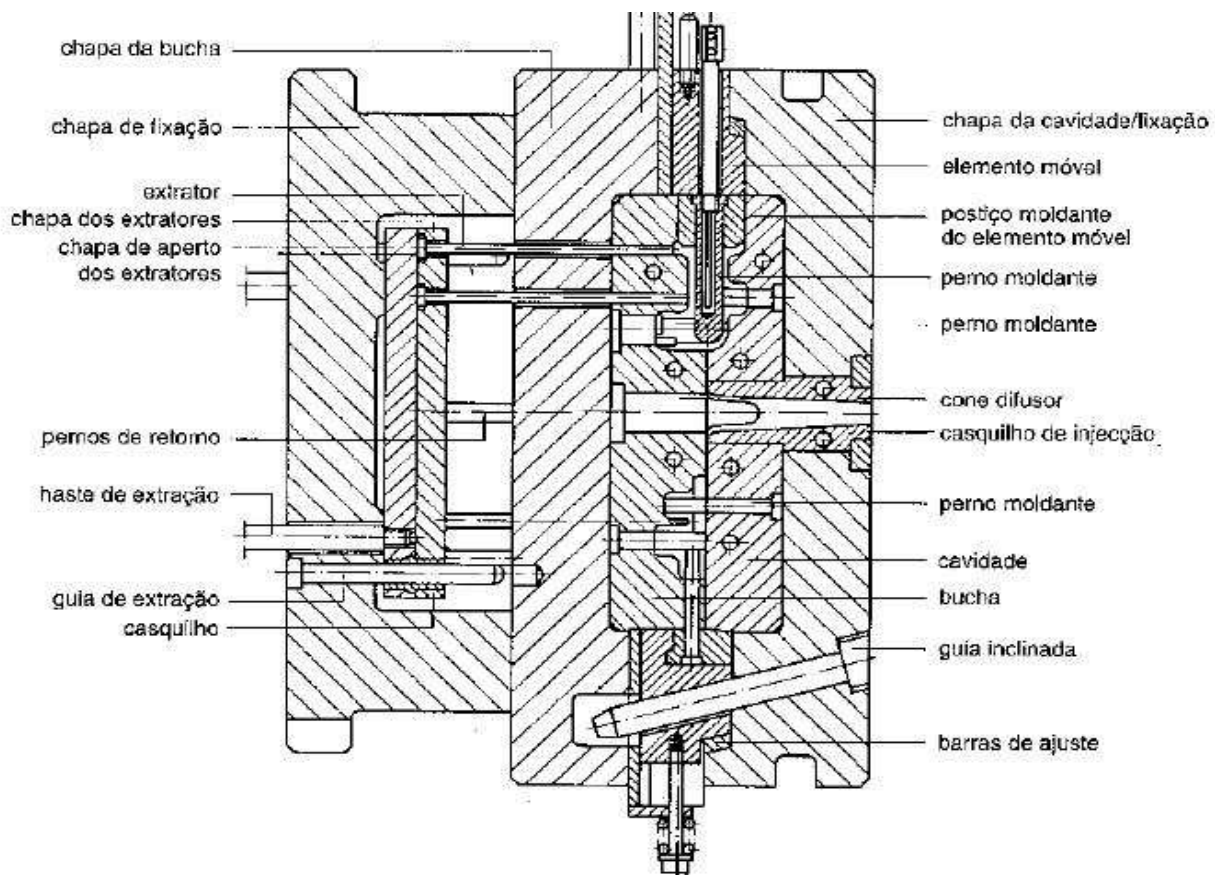


Figura 37 - Molde completo

Na Sonafi, os aços mais utilizados para as estruturas dos moldes são aços pré-tratados com durezas aproximadas dos 280-325 HB, muito boa maquinabilidade, boa aptidão ao polimento e à nitruração.

Tabela 2 - Composição química do aço utilizado para as estruturas dos moldes (2)

C	Mn	Cr	Mo	Ca
0,40	1,5	1,9	0,2	+

Tabela 3 - Condutibilidade térmica W/(m,K) do aço utilizado para as estruturas dos moldes (2)

20 °C	350 °C	700 °C
35,7	33,4	32,0

A estrutura tem como função suportar todos os componentes constituintes do molde, permitir a fixação do molde à máquina de injeção, dissipar energia térmica com o intuito de manter o molde na temperatura de funcionamento mais adequada (por radiação e convecção com o ar exterior mas também por convecção forçada nos canais de refrigeração). A estrutura do molde é dimensionada a partir do dimensionamento das suas inserções, procurando estruturas normalizadas de maneira a que seja garantida a rigidez e resistência estrutural de todo o molde.

2.3.3 Inserções ou posições do molde

Devido às elevadas temperaturas a que o alumínio é injectado, as inserções sofrem solicitações térmicas consideráveis, devendo ter um comportamento à fadiga (térmica) compatível com as dimensões geométricas admissíveis.

A Sonafi utiliza para inserções um aço de:

- Elevada resistência à tracção a quente;
- Elevada resistência à fadiga térmica (choques térmicos);
- Elevada resistência ao desgaste a quente;
- Alta tenacidade;
- Boa condutibilidade térmica;
- Admite refrigeração a água;
- Baixa tenacidade;
- Boa maquinabilidade;
- Muito boa aptidão à nitruração e ao polimento.

Tabela 4 - Composição química do aço utilizado para inserções (2)

C	Cr	Mo	V	S	Ca
0,37	5,0	3,0	0,6	<0,005	+

Tabela 5 - Condutibilidade térmica W/(m,K) do aço utilizado para inserções (2)

20 °C	350 °C	700 °C
36,4	32,2	27,5

O desgaste superficial das inserções é determinante na qualidade das peças sendo para isso feita a manutenção do molde para que se consiga aumentar ao máximo possível o número de injeções. Esta manutenção inclui não só polimento regular das superfícies moldantes consideradas mais críticas bem como a supressão de tensões térmicas a executar após um determinado número de injeções.

O dimensionamento das inserções moldantes é executado em função da força de fecho da máquina em que irá trabalhar. Sendo que a cota “A”, será a dimensão mínima para que se garanta o isolamento do alumínio no interior das inserções moldantes.

A - Espessura do aço para além do contorno da peça

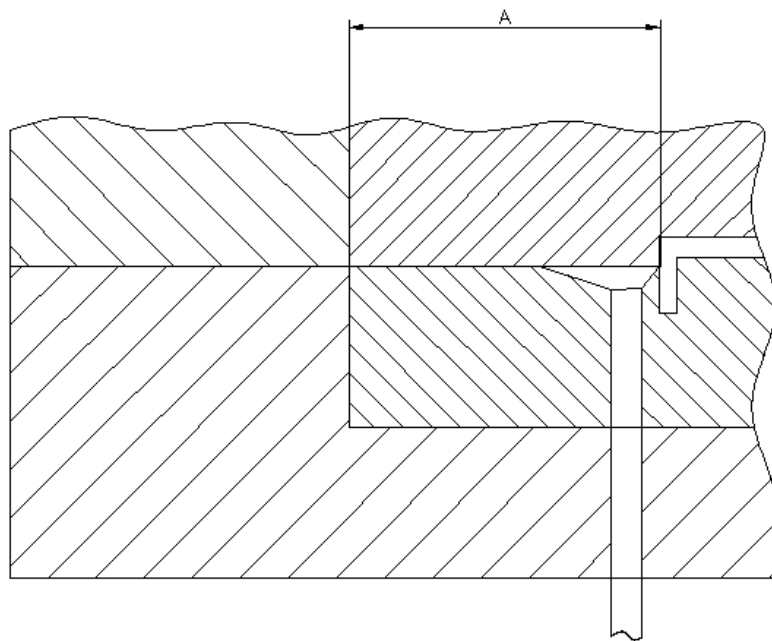


Figura 38 - Dimensionamento de inserções (3)

Tabela 6 - Cota A em função da força de fecho da máquina de injeção (3)

Máquina	A
5 – 160 T	40 – 60 mm
200 – 400 T	60 – 80 mm
500 – 630 T	80 – 100 mm
800 – 2000 T	100 – 150 mm

2.3.4 Gavetas do molde

As gavetas, são elementos moldantes móveis que colocados na parte móvel do molde, permite obter formas simples ou complexas em direcções paralelas, à abertura do molde como podemos ver na Figura 39. Os movimentos são perfeitamente sincronizados com a abertura e o fecho do molde podendo ser accionadas mecanicamente, por acção dos pernos inclinados ou hidraulicamente, através de cilindros hidráulicos. A opção dos cilindros hidráulicos é feita sempre que as gavetas tenham um percurso longo ou o esforço de recuo destas seja considerável.

As gavetas devem ser ajustadas no molde de forma perfeita, precisa e segura para que durante o ciclo de injeção o metal fundido não se escape das cavidades provocando assim anomalias no processo.

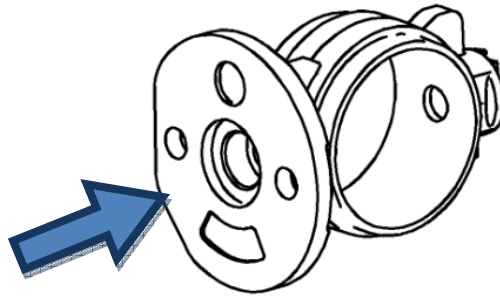


Figura 39 - Exemplo de uma peça com gaveta mecânica

2.3.5 Acessórios do molde

A Tabela 7 faz a legenda do desenho de conjunto do molde a seguir apresentado (4).

Tabela 7 - Acessórios do molde (4)

Nº	Nome dos componentes do molde
1	Anilha de Pressão
2	Apoios do Molde
3	Argolas
4	Batente da Gaveta
5	Batente da Placa Extractora (Botões)
6	Calços da Gaveta
7	Calços do Molde
8	Camisa de injeção
9	Casquilho de Injeção
10	Cavilhas
11	Centradores
12	Colector de óleo
13	Datador
14	Estrutura
15	Extractores
16	Gaveta
17	Elementos Moldantes
18	Inserções
19	Inserção de Impacto
20	Molas

Nº	Nome dos componentes do molde
21	Parafusos
22	Pernos Guias Gaveta
23	Pernos Guias e Casquilho da Estrutura e da Placa Extractora
24	Pernos Impulsores
25	Pernos e Núcleos Moldantes
26	Placa dos Impulsores
27	Placa Intermédia
28	Placa Frente de Extração
29	Placa Trás
30	Pontes para os cilindros
31	Réguas das gavetas
32	Veios + Cames
33	Tacos
34	Tranqueta
35	Cilindros Hidráulicos
36	Tubos de Refrigeração
37	Calços
38	Ficha Eléctrica
39	Ligador Hidráulico
40	Granzape / Abraçadeira de Aperto ao Nariz do Cilindro
41	Micro-Interruptor
42	Taco Roscado

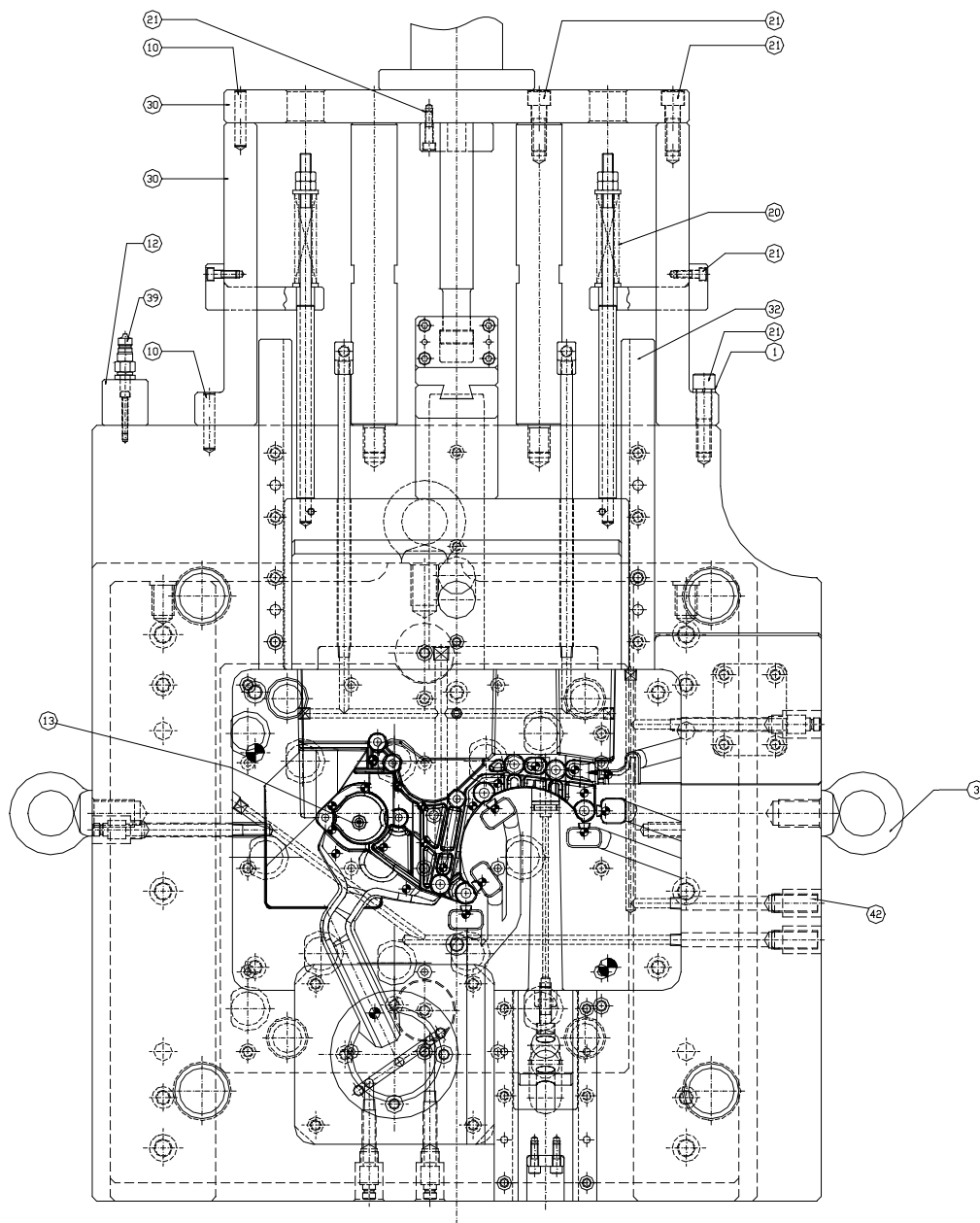


Figura 40 - Desenho de conjunto do molde (vista de frente) (4)

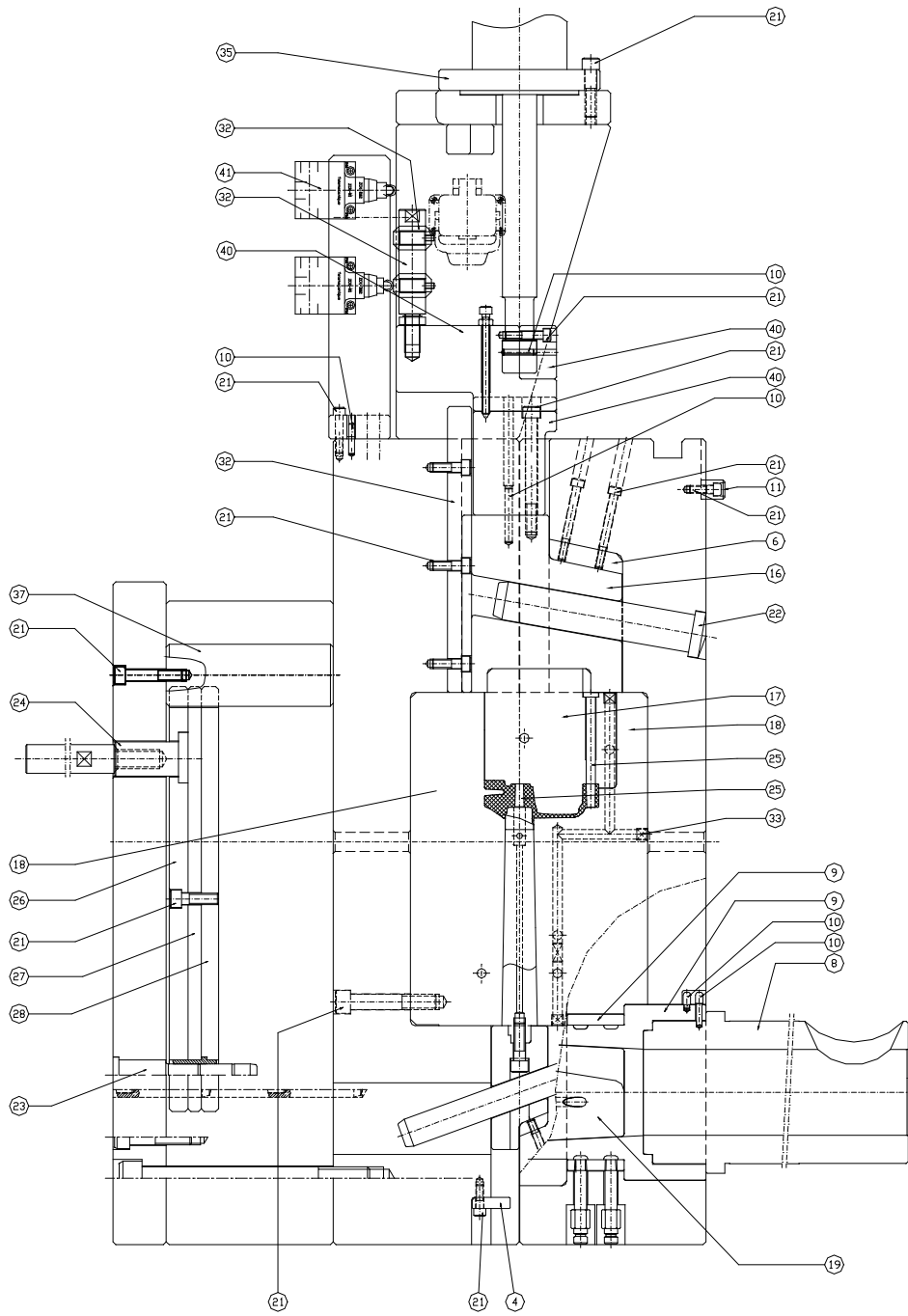


Figura 41 - Desenho de conjunto do molde (vista esquerda) (4)

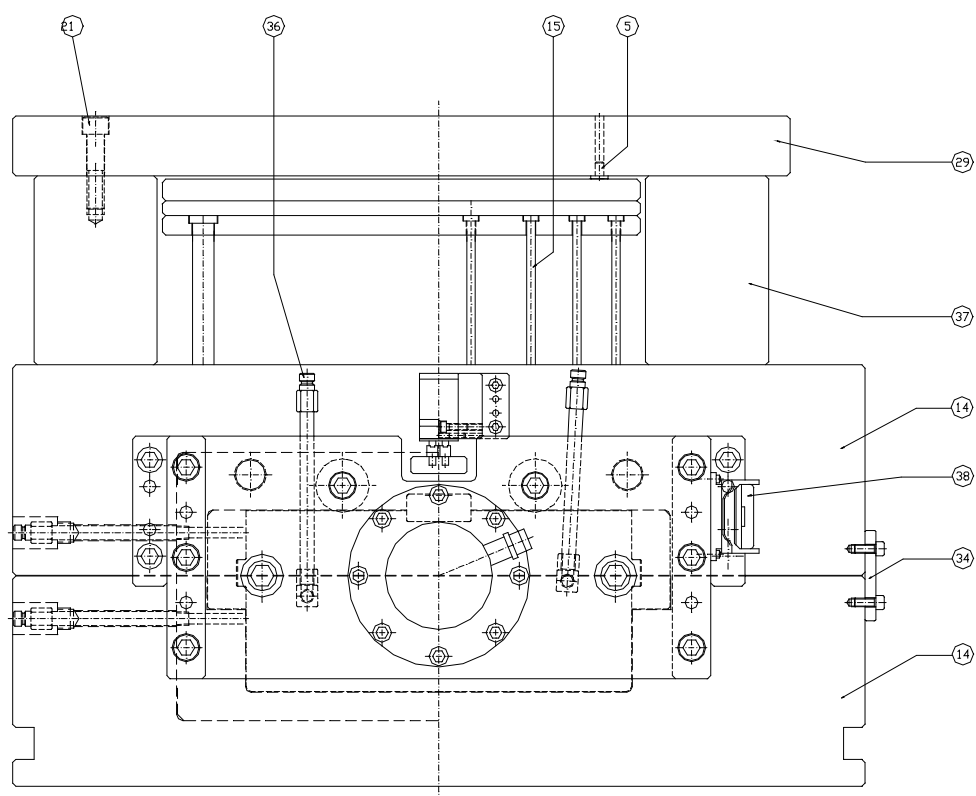


Figura 42 - Desenho de conjunto do molde (vista de cima) (4)

2.4 Vantagens do processo

A precisão dimensional é muito importante neste processo. O molde é mais rígido e preciso e as condições de enchimento explicam os valores de precisão dimensional atingidos.

A qualidade da superfície é excelente, devido ao elevado grau de acabamento do molde.

A característica mais evidente das peças fundidas por injeção é a obtenção de peças leves, devido à diminuição da espessura atingida.

A tolerância dimensional em cada zona do fundido é mais apertada do que é geralmente possível obter pelos outros processos de fundição. O alto grau de uniformidade entre fundidos reduz as operações de maquinagem e facilita a montagem automática.

A larga gama de ligas de Alumínio utilizadas permite obter determinadas características tais como: excelente resistência à corrosão, possibilidade de decoração por polimento (mecânico, químico e galvânico) e aptidão a revestimentos.

As características mecânicas das ligas são excelentes e por vezes não são necessários tratamentos térmicos (resistência à fadiga maior que nos outros processos).

A perda de metal é muito baixa e são reutilizados os canais de distribuição e as limalhas de maquinação.

- Excelente precisão dimensional;
- Excelente acabamento superficial;
- Possibilidade de obtenção de espessuras muito pequenas;
- Elevada produtividade;
- Eliminação de muitas operações de maquinagem;
- Operação de rebarbagem, em muitos casos, desnecessária.

2.5 Desvantagens do processo

Apesar da grande produtividade deste processo existe um investimento inicial em máquinas e ferramentas muito elevado.

Existem materiais que não podem ser produzidos por fundição injectada (ferros fundidos e aços).

As peças a produzir dependem dos desenhos dos moldes existentes ou possíveis de produzir.

Devido ao elevado custo associado ao processo, especialmente aos moldes, só se aplica esta técnica para a produção de um grande número de peças ou então para peças de enorme responsabilidade.

- Elevado custo do equipamento;
- Elevado custo das ferramentas;
- Limitações ao tipo de liga vazável;
- Limitação quer na dimensão máxima, quer na geometria das peças a obter.

2.6 Aplicações

O principal campo de aplicações deste processo é a indústria automóvel (com uma forte tendência a aumentar o número de peças utilizadas), porque se consegue obter uma excelente relação tenacidade / peso associada a uma boa qualidade de acabamento.

3 Abordagem teórica

Neste capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos nos quais o trabalho realizado está baseado.

3.1 Lean Manufacturing

A Produção *Lean* fortaleceu-se na falta de recursos naturais do Japão (período pós Segunda Guerra Mundial), onde o custo de mão-de-obra era elevadíssimo (cerca de 5 vezes maior que o valor da hora máquina) o que levou os japoneses a estudarem o assunto com bastante afinco (5).

Com todos estes problemas encontrados no Japão, principalmente a escassez de recursos, muitos estudos foram realizados em indústrias japonesas, sendo que a principal figura foi Taiichi Ohno (6), que elaborou estudos referentes à movimentação de um funcionário durante o seu expediente de trabalho. Isto teve uma grande repercussão, pois trouxe grandes melhorias no custo de produção da Toyota Motors, acabando com diversos paradigmas que rodeavam o assunto pelo mundo inteiro.

As origens literárias do Sistema Toyota de Produção (STP) encontram-se relatadas em livros escritos por Shigeo Shingo (5) e Taiichi Ohno (6). Estas obras descrevem de forma prática a implementação de diversos estudos que, com o passar do tempo, se tornaram referência para toda a indústria automóvel mundial.

Para se perceber na perfeição o Sistema Toyota de Produção é necessário compreender o funcionamento da produção, que é definida por Shingo (5) como uma rede de processos e operações. O percurso que sofre a matéria-prima até se tornar stock intermediário e finalmente terminar como produto acabado é definido por *processo* e a acção de produção destes produtos realizados pelo ser humano é denominada *operação*.

Com este conceito fundamentado é possível fazer o estudo de melhoria de duas frentes: o processo e as operações. Segundo Antunes (7) este entendimento permite:

- Compreender a lógica do Sistema Toyota de Produção;
- Esclarecer um método que possibilita a construção de outros sistemas complementares ao STP;
- Uma análise dos conceitos de perdas, propostas por Taylor, Ford, Ohno e Shingo.

Segundo Womack & Jones (8), há cinco pilares principais da Produção *Lean*:

- Especificar o valor;
- Identificar a cadeia de valor dos produtos e remover as operações que geram desperdícios;
- Fazer com que as operações que criam valor fluam;
- Fazer com que a produção seja “puxada” pela procura;
- Gerir de modo a se procurar a perfeição.

Conforme Miyake (9) expõe na Tabela 8, uma empresa para se tornar *Lean* precisa de melhorar e implementar diversas ferramentas, o que faz com que se atinja assim o efeito esperado por todos os colaboradores.

Tabela 8 - Implementação / Efeito de diversas ferramentas

Ferramenta	Efeito
Disciplina JIT e <i>Kanban</i>	<i>Pull System</i>
Heijunka	Nivelamento da produção
Takt Time	Balanceamento
Célula de fabrico	Redução de espaço
<i>One Piece Flow</i>	Redução de <i>WIP</i>
Troca Rápida de Ferramenta (TRF)	Redução do tempo de <i>setup</i>
Auto-controlo e <i>Poka Yoke</i>	Garantia de qualidade
Manutenção autónoma	Maior disponibilidade
Operador polivalente	Flexibilidade da mão-de-obra

3.2 O sistema Just-in-time (JIT)

Para Klippel (10), Ohno (6), Amato (11) e Vokurka (12), o just-in-time (JIT) apresenta-se como a principal ideia para produzir somente o que é necessário, no momento necessário e na quantia exacta.

Amato (11) relata que: “*esta filosofia de produção cerne do sucesso do modelo japonês de gestão industrial, que tem como ideia básica produzir somente o que for necessário, na quantidade e no momento certo.*”

Segundo Davis (13), “*o JIT é um conjunto de actividades projectado para atingir a produção de alto volume, utilizando stocks mínimos de matérias-primas, stocks mínimos intermediários e stocks mínimos de produtos acabados.*”

Tubino (14) comenta que “*alguns autores costumam apresentar separadamente os conceitos de JIT e TQC*”. Segundo este autor, o JIT seria uma filosofia voltada para a optimização de processos e produtos e o TQC voltado para a qualidade. Porém, o TQC e o JIT possuem algumas interfaces em comum conforme está ilustrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Interfaces em comum JIT / TQC (14)

Filosofia JIT / TQC	
Satisfazer as necessidades dos clientes	
Eliminar desperdícios	
Melhorar continuamente	
Envolver totalmente as pessoas	
Organização e visibilidade	
JIT	TQC
Produção focalizada	Produção orientada pelo cliente
Produção puxada	Lucro pelo domínio da qualidade
Nivelamento da produção	Periodizar as acções
Redução de <i>lead times</i>	Agir com base em factos
Fabricação de pequenos lotes	Controlo do processo
Redução de <i>setups</i>	Responsabilidade na fonte
Manutenção preventiva	Controlo a montante
Polivalência	Operações à prova de falhas
Integração interna e externa, etc.	Padronização

Slack (15) comenta que: “O JIT requer idealmente alto desempenho em todos os objectivos da produção.

- A qualidade deve ser alta porque distúrbios na produção devido a erros de qualidade irão reduzir o fluxo de materiais, reduzir a confiança interna de fornecimento, além de gerar o aparecimento de stocks, caso os erros reduzam a taxa de produção nalgum ponto de operação;
- A velocidade, em termos de fluxo rápido de materiais, é essencial, caso se pretenda atender à procura dos clientes directamente com a produção, ao invés de ser feita através dos stocks;
- A confiança é um pré-requisito para um fluxo rápido, ou, vendo por outro lado, é muito difícil atingir fluxo rápido se o fornecimento de componentes ou os equipamentos não inspiram confiança;
- A flexibilidade é especialmente importante para que se consiga produzir em lotes pequenos, atingindo-se fluxo rápido e *lead times* curtos.”

Peinado (16) relata que “apenas a implementação, do sistema *Kanban* está longe de ser suficiente, pois este não reduz stocks, apenas limita o seu nível máximo”. O autor sugere que além da implementação do sistema, há outros itens que precisam de ser analisados para se efectuar a redução dos stocks, conforme é possível visualizar na Figura 43.



Figura 43 - Redução de stocks por Peinado (1999) (16)

Martil (17) considera o JIT uma filosofia de aplicação no mundo inteiro e é usualmente associada à: produção sem stocks, sem desperdício, melhorias contínuas de processo e os principais objectivos são:

- Redução do nível de inventário;
- Redução nos tempos de preparação (*setup*);
- Redução ao tamanho mínimo de lote;
- Libertação para a produção através do conceito de puxar stocks;
- Flexibilidade de produção pela redução dos tamanhos de lote.

Minadeo (18) comenta que: “O objectivo fundamental do JIT é a manutenção contínua do processo de produção, a redução dos stocks e trazer à tona os diversos problemas camuflados pela existência de stocks, que basicamente são:

- Qualidade;
- Avarias de máquinas;
- Preparação de máquinas: quando uma máquina é utilizada para produzir mais que um item, torna-se necessário prepará-la para cada mudança. Esta preparação apresenta custos referentes ao período inoperante do equipamento, à mão de obra empregada e à perda de material no início das operações.

O mesmo autor também descreve o JIT como um sistema que procura a contínua busca pela optimização de processos, reduzindo desperdícios e que todas as operações que não agregam valor sejam eliminadas, ou seja:

- Zero de stocks;
- Zero de lead times;
- Zero de setup times.

3.3 Troca rápida de ferramentas

O sistema de troca rápida de ferramentas (TRF) foi desenvolvido no início da década de 50, quando Shingo Shingo (5) elaborou um trabalho para optimização de prensas de estampagem de corpo na empresa *Mazda* da *Toyoy Kogyo* em Hiroshima, que era a operação *bottleneck* anteriormente ao estudo. Shingo (5) foi encarregado do estudo que passava pela melhoria do processo que visava obter maior rendimento das máquinas.

Logo no primeiro dia de estudos do grupo foi verificado por Shingo (5), no momento da troca de matrizes da prensa, a falta de um último parafuso para prender a matriz na máquina. Este parafuso foi localizado pela equipa de preparação de máquinas quase uma hora mais tarde. Posteriormente, Shingo (5) procurou soluções para que este problema não voltasse a ocorrer.

Segundo Shingo (5), “estabelecemos um processo de selecção cuidadosa e colocamos os parafusos necessários em caixas específicas. Também melhoramos o procedimento geral ao realizar todas as actividades possíveis em *setups* externos”.

Depois deste acontecimento, foi claramente visto que os *setups* precisavam de ser divididos em operações externas e internas. A partir deste caso começou-se a dar mais importância ao tempo perdido numa máquina entre o término de produção de um produto e o início de produção de um outro produto (redução do tempo de *setup*).

Entende-se por *setup* interno, todas as operações que apenas podem ser realizadas quando a máquina está parada e por *setup* externo aquelas operações que podem ser realizadas quando a máquina está em operação.

A segunda experiência relacionada com a TRF ocorreu na *Mitsubishi Heavy Industries*, quando Shingo (5) sugeriu a redução do tempo de *setup* onde posteriormente às melhorias, foi alcançado 40% de aumento de produtividade.

O terceiro estudo foi realizado em 1969, numa fábrica de carroçarias da Toyota Motor Company, onde Shingo (5) e a sua equipa separaram o *setup* interno em externo e com isso conseguiu reduzir o tempo de preparação de 4 horas para 90 minutos, em seis meses de trabalhos. Não satisfeita, a direcção da empresa colocou como meta a redução do *setup* para apenas 3 minutos.

Conforme Shingo (5), foi proposta a redução da preparação e este comentou “Por instantes fiquei abismado com o que foi exigido.” Um trimestre passado, a preparação alcançou os 3 minutos.

Depois destas experiências foi criado o conceito SMED (*Single Minute Exchange of Dies*), que nada mais é do que o tempo decorrido entre a saída do último produto A da máquina, até à saída do primeiro produto B com qualidade, conforme representado no Gráfico 1.

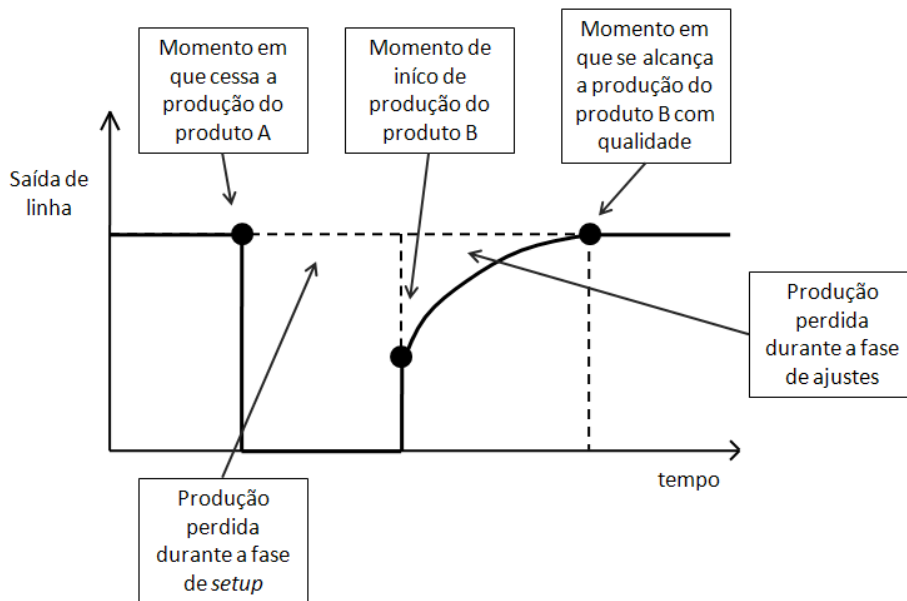


Gráfico 1 - Representação do conceito SMED (25)

A grande ideia da TRF é a redução e otimização dos *setups*. Na prática, a redução de *setups* é dividida em estratégias e técnicas práticas de implementação. Esta divisão parte da proposta de Shingo, designada por SMED. De seguida é comparada com ideias de outros autores.

3.3.1 Proposta metodológica de redução do *setup* – A filosofia Shingo (5)

Shingo (5) define a TRF como, numa primeira abordagem, algo estratégico numa organização e posteriormente como técnicas práticas de implementação destes conceitos além de técnicas para a análise e apoio às melhorias. Dois grupos de estratégias são abordados para a redução do tempo de troca de ferramentas.

- Estratégias que envolvem habilidades – onde as pessoas detêm o conhecimento empírico do processo de preparação da máquina (operador);
- Estratégias que envolvem o tamanho de lote – devido aos tempos altos de *setup*, as empresas preferem fazer muitas peças em cada preparação (stock). A TRF permite a redução dos custos de *setup*.

Conforme Shingo (5) o processo de melhoria de *setup* é dividido em 4 etapas:

- Estágio Preliminar, que é analisar e estudar toda a operação de *setup* actual ao mínimo detalhe com o auxílio dos operadores. Nesta tarefa, algumas maneiras de se monitorizar a situação podem ser a crono análise, as entrevistas aos operadores ou até mesmo a captação de imagens vídeo;
- Primeira Etapa, onde são divididas as operações de *setup* interno e externo. Shingo (5), menciona a possibilidade de, já nesta fase, haver ganho de 30 a 50% no tempo de preparação;
- Segunda Etapa, onde são feitas análises para transformar *setups* internos em *setups* externos;
- Terceira Etapa, onde após feitas as divisões de *setups* externos e internos, são realizados estudos para otimizar estes tempos de preparação.

Estas etapas mostram que a TRF é composta por duas acções principais: análise e implementação. Para haver implementação destas melhorias são utilizadas oito técnicas:

- Separar operações externas e internas;
- Transformar *setup* interno em externo;
- Padronizar as operações de *setup*;
- Utilizar fixadores funcionais ou não usar nenhum fixador;
- Utilizar dispositivos intermediários para eliminar ajustes;
- Utilizar operações paralelas;
- Optimizar operações;
- Mecanizar as operações.

Shingo (5) afirma que o método JIT, ponto-chave do Sistema Toyota de Produção, não teria sido desenvolvido se a TRF não existisse. Para este, a TRF começa no ambiente estratégico e só depois entram em cena o desenvolvimento e aplicação dos conceitos com o intuito de virem a ser implementados. Resumidamente para Shingo, as bases para a implementação do SMED são mostradas com detalhe no Gráfico 2.

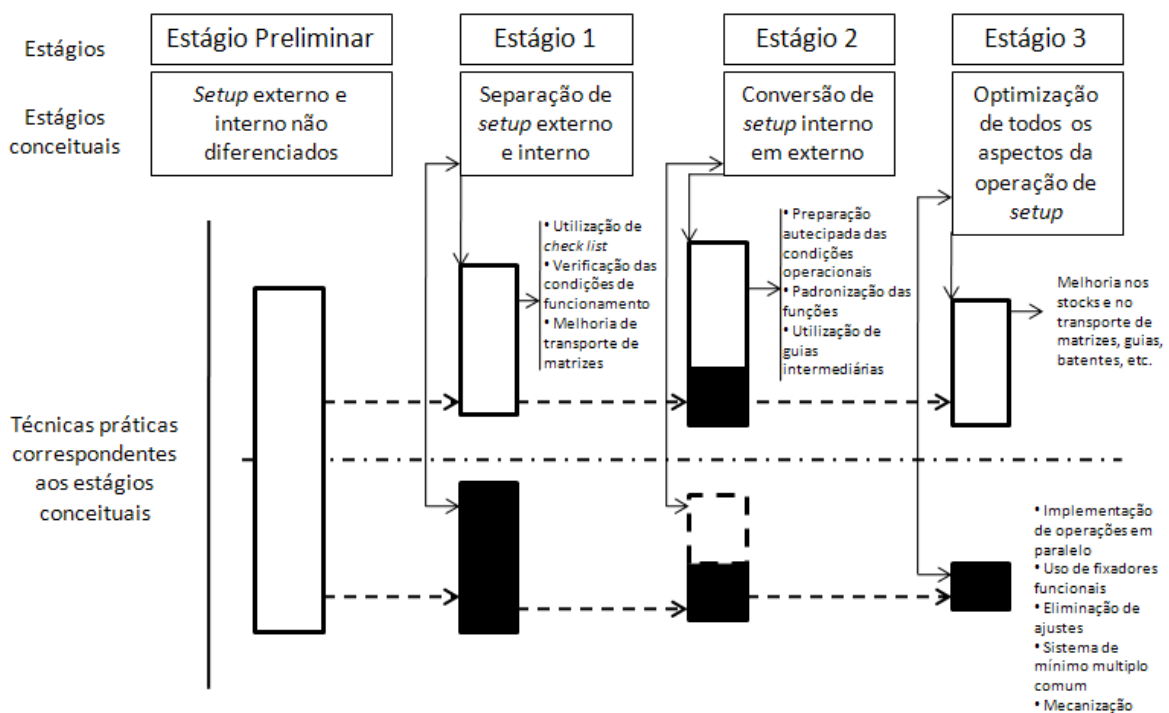


Gráfico 2 - Bases para a implementação do SMED (5)

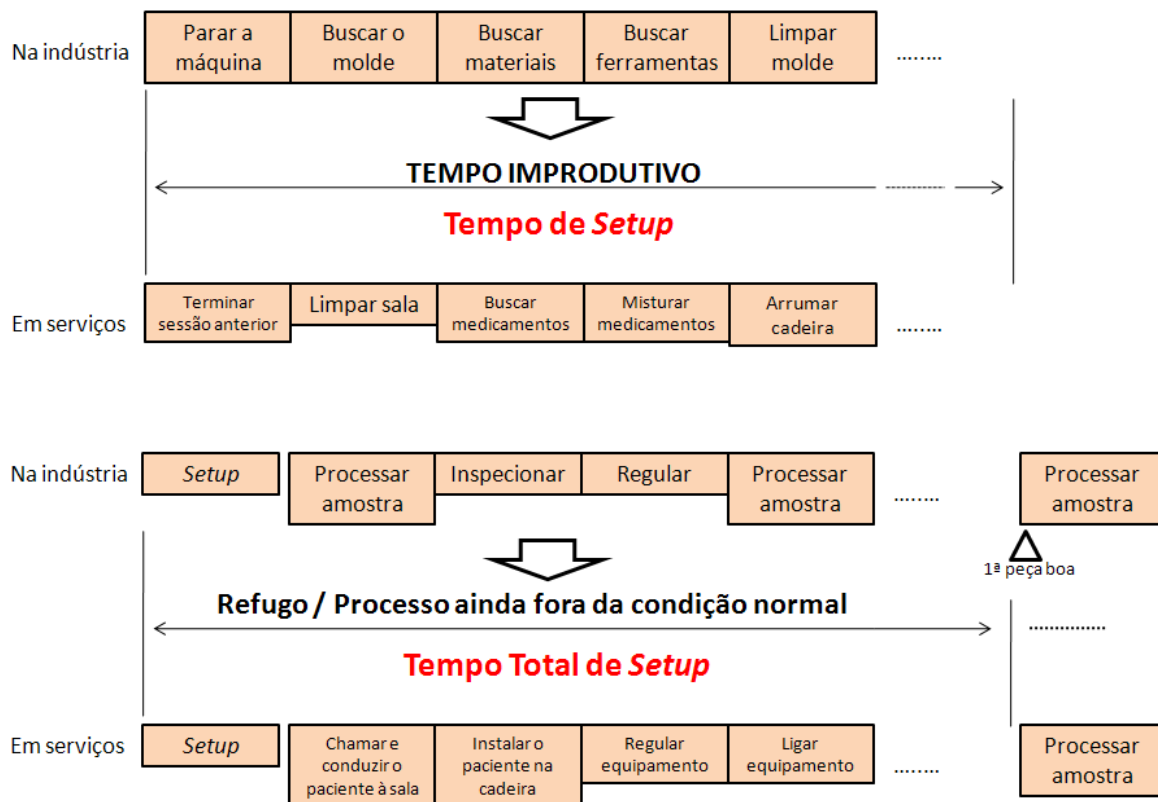
Ainda Shingo (5), comenta que o SMED se baseia no facto de os *setups* internos e externos ainda não estarem implementados, e então a primeira etapa seria analisar o *setup* e todos os pontos de possíveis ganhos de tempo (esta etapa é muito importante que seja realizada com os operadores e preparadores envolvidos com o equipamento).

Com este passo feito são separados todos os pontos que podem ser divididos em *setup* interno e externo. O próximo passo será a transformação de todas as etapas possíveis em *setups* externos e também a eliminação do maior número possível de ajustes. Por fim cada operação definida como interna e externa é treinada para ser executada com mais facilidade.

Ao atingir tais objectivos, consegue-se minimizar o stock e flexibilizar a produção a ponto de permitir ajustes de acordo com a alteração da procura, fazendo assim com que seja possível produzir-se em pequenos lotes.

Na Tabela 10 mostra-se esquematicamente a sequência de um *setup* tanto na produção de produtos como na prestação de serviços.

Tabela 10 - Sequência de um *setup* na indústria e na prestação de serviços (5)



3.3.2 Proposta metodológica de redução do *setup* segundo Mondem (19)

O modelo proposto por Mondem (19), segue o mesmo princípio abordado por Shingo (5), diferenciando-se nas estratégias e técnicas de implementação. Mondem (19) define a TRF em três estratégias e seis técnicas.

O autor considera a diferenciação entre a preparação interna e externa como o conceito mais importante para a realização da TRF. Posteriormente a eliminação dos ajustes, que consomem em média 60% de tempo total do *setup* interno, os quais já devem ser pensados nas etapas de projecto. O terceiro passo seria a busca da padronização das ferramentas (posição diferente da pensada por Shingo (5)), procurando a sua intercambialidade.

Quanto às técnicas, o autor cita seis como as principais para a realização das melhorias:

- A padronização da função e conversão do *setup* interno em externo;
- Padronização das peças necessárias do equipamento;

- Utilização de fixadores rápidos;
- Utilização de ferramenta de fixação suplementar;
- Realização de operações em paralelo;
- Mecanização.

3.3.3 Proposta metodológica de redução do *setup* segundo Hay (20)

O modelo proposto por Hay (20) segue técnicas diferentes dos autores referenciados anteriormente, sendo mais abrangente, iniciando com o compromisso da alta administração da empresa junto do projecto, o que é para o autor um factor crítico para o sucesso da implementação da TRF.

A segunda etapa é a escolha do processo a ser melhorado, sendo nesta proposta considerado o melhor retorno consoante o impacto potencial da melhoria. O terceiro passo é a definição da equipa multidisciplinar a ser responsável pela melhoria a ser desenvolvida.

O quarto passo será a instrução da equipa com formações de TRF, e também todos os objectivos da melhoria que será realizada no processo. As demais etapas definidas pelo autor são bastante parecidas com as dos demais autores já mencionados no trabalho, sendo que as principais são: separação de *setup* interno e externo, conversão de *setup* interno para externo e a eliminação de ajustes.

A última etapa é garantir a fluidez das operações de *setup* eliminando os problemas encontrados na realização das actividades, tais como a falta de ferramentas, dispositivos ou elementos de fixação.

3.3.4 Proposta metodológica de redução do *setup* – A filosofia de Kannenberg (21)

Kannenberg (21), da mesma maneira que Hay (20), propõe um modelo de implementação de TRF bastante semelhante conforme os pontos listados. O primeiro passo é a criação de um ambiente favorável para a implementação da técnica começando pela consciencialização da alta direcção da empresa. O autor divide o seu método pelos níveis estratégico, tático e operacional.

A nível estratégico, o autor vê a necessidade de observar a aplicabilidade do método ao sistema tendo em conta uma visão a longo prazo. Os três passos propostos são: a obtenção do compromisso por parte da alta direcção, promover a formação de uma equipa responsável pelo planeamento e controlo da implementação e por fim uma avaliação do processo produtivo numa visão de futuro e crescimento.

A nível tático, é necessário segundo o autor, a difusão das políticas da empresa a médio e longo prazo, especialmente em relação aos investimentos, projectos de produtos, definição de metas e formação.

O nível operacional não difere das técnicas já propostas por Shingo (5) e Mondem (19).

3.3.5 Proposta metodológica de redução do *setup* – A filosofia de Black (22)

A abordagem proposta por Black (22), consiste no estudo de tempos e movimentos aplicados ao problema de redução do tempo de *setup*. O autor divide a sua metodologia de implementação em sete etapas, destacando os seguintes passos:

- Diagnosticar situação vigente (através de estudos de tempos e movimentos);
- Separação dos *setups* interno e externo;
- Migração de actividades para o *setup* externo;
- Racionalização das actividades internas;
- Análise dos métodos utilizados;
- Padronização e eliminação de ajustes;
- Eliminação do *setup* quando possível.

Assim como os outros autores, Black (22), sugere diversas técnicas específicas a serem aplicadas para a implementação da redução do *setup*. Para a análise do método existente o autor propõe a elaboração de um *check-list* objectivando a racionalização da análise. Outras propostas são a utilização de filmagens, para cálculo dos tempos de movimentos.

3.3.6 Tabela comparativa

Na Tabela 11 encontra-se um comparativo do trabalho desenvolvido por todos os autores mencionados nesta revisão bibliográfica.

Tabela 11 - Comparativo do trabalho desenvolvido pelos autores

Autores Questões	Shingo (5)	Mondem (19)	Hay (20)	Kannenber (21)	Black (22)
Sistemática e principais contribuições do autor	Criação da metodologia SMED através de 4 etapas conceituais e 8 técnicas	Segue Shingo nas 4 primeiras etapas conceituais e 6 técnicas	Ênfase na equipa de liderança. Método com 9 etapas	Método em 9 etapas dividido em Estratégico, Tático e Operacional	Método de 7 etapas
Criação de ambiente favorável à implementação da TRF	Parte do pressuposto da existência do STP	-	Procura envolver a alta administração, tempo de projecto e formação	Procura envolver a alta administração	-
Determinação do método existente	Estágio Preliminar: crono análise, entrevistas e filmagem	Idem a Shingo	Uso das técnicas propostas por Shingo e Mondem	Uso das técnicas propostas por Shingo e Mondem	Estudo dos tempos e movimentos
Separação dos setups interno e externo	Corresponde à 1ª Etapa: uso de check-list, organização e eliminação de transportes	Considerado o conceito de maior importância pelo autor			Uso das técnicas propostas por Shingo
Conversão do setup interno em externo	2ª Etapa: consiste na análise das actividades realizadas, aplicando técnicas de melhoria	A conversão do setup interno em externo é analisada junto à padronização de funções			
Racionalização de actividades	3ª Etapa: aplicação de técnicas específicas de melhoria	Propõe 5 técnicas para melhoria			Estudo de sistemas de fixação e redução de movimento
Padronizar práticas de setup	A cada nova melhoria, na planta da fábrica conforme método científico	Sem grande ênfase neste tópico	Preocupa-se com a fluidez das actividades e a repetibilidade (1)		Uso da documentação obtida no processo (check-list, filmagem)
Eliminar ajustes	Abordado na racionalização de actividades	Ênfase ao optar pela eliminação de ajustes desde o início do projecto	Auto-posicionamento de ferramentas. Eliminar produção de peças de teste		Idem a Shingo
Eliminar setup	-	Através da mecanização e intercambialidade de ferramenta	-		Propõe uma análise de viabilidade económica para eliminação do setup

4 Metodologia de trabalho

Neste capítulo pretende-se apresentar a metodologia de trabalho utilizada no decorrer do estudo realizado durante o estágio na Sonafi.

O primeiro passo foi tentar perceber como toda a dinâmica de planeamento de produção da fábrica funciona. Isto porque a troca de ferramentas surge como consequência de um planeamento de produção semanal arquitectado inicialmente pelo Departamento de Logística.

É então neste departamento que é preparado todo o planeamento semanal. São tidas em conta todas as encomendas a despachar na semana seguinte para a elaboração do plano. Tudo começa com a recepção dos pedidos, que prontamente são inseridos no *software* de gestão da empresa. Após este passo, o Departamento de Logística elabora um plano de produção a 4 semanas.

O passo seguinte é a apresentação deste plano aos Departamentos de Fundição, Controle de Processo, Manutenção de Ferramentas e Manutenção de Equipamentos. Nesta reunião, geralmente realizada na semana anterior à semana a planear, discutem-se a disponibilidade de máquinas, moldes e periféricos. Quando há problemas com um destes três meios, o planeamento semanal tem que ser revisto de modo a que se encaixe nessa realidade. A ideia é que não fiquem por entregar no final da semana encomendas aos clientes.

Depois de aprovado por todas as partes, o plano entra em execução. É revisto várias vezes durante a semana porque surgem por vezes problemas nos equipamentos ou moldes.

O enquadramento deste trabalho neste cenário tem que ver com o facto do planeamento semanal contemplar vários *setups* das máquinas ao longo da semana. O dia e a hora de execução das trocas de moldes surgem bem explícitos. Pode então concluir-se que é perfeitamente possível que haja uma boa organização nos *setups* das máquinas, desperdiçando-se o menos tempo possível.

Segundo a pesquisa bibliográfica do capítulo 3, Shingo (5) divide a implementação do conceito SMED em duas partes distintas. A análise da situação preliminar, e a implementação do conceito através das suas técnicas. É deste modo que o trabalho foi realizado, com a análise da situação preliminar da troca de ferramentas nas máquinas de fundição da Sonafi a ser apresentada no capítulo 5 e posteriormente a fase de implementação de melhorias através das técnicas do conceito SMED no capítulo 6.

A Figura 44 apresenta sucintamente os 4 passos básicos do procedimento proposto por Shingo (5) e seguidos no decorrer desta investigação.

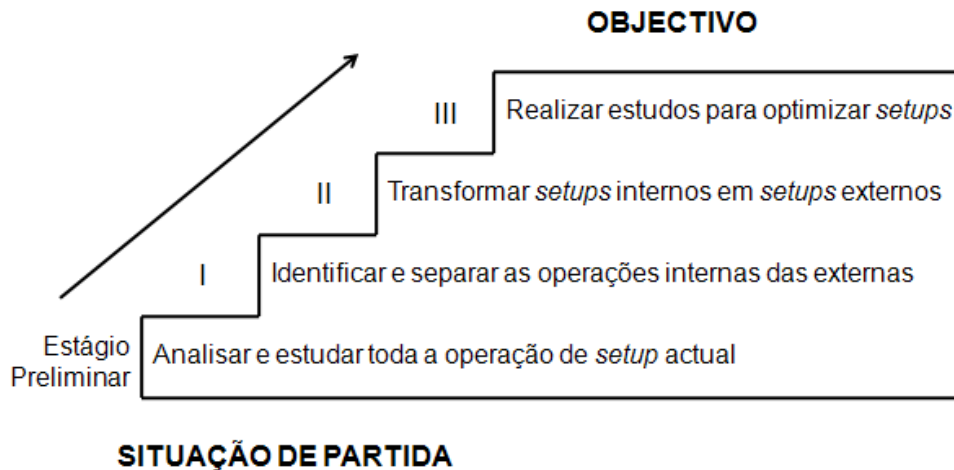


Figura 44 - Procedimento SMED segundo Shingo (5)

O Estágio Preliminar consiste no registo e análise da situação pré-intervenção. Era preciso conhecer ao detalhe como decorria a troca de ferramentas na Sonafi, para então se poder opinar sobre esta. Foram utilizados dois métodos de registo do tempo de troca de moldes. O primeiro foi um levantamento dos mesmos na base de dados interna (1) e o segundo através da cronometragem *in loco* das trocas de moldes.

O levantamento dos tempos de mudança de moldes da base de dados interna (1) é útil apenas pelo facto de nos conceder a informação do tempo absoluto que necessita cada mudança. O tipo de informação que este registo nos faculta é muito superficial, apenas diferenciando a sub-operações de desmontagem e montagem. É muito interessante quando se necessita saber quanto tempo se demorou a trocar a ferramenta X da máquina Y no dia Z. Apenas isto.

O passo seguinte em que se assistiram a variadíssimas mudanças de molde, registando todos os passos seguidos pelo operador e respectivos tempos, permitiu obter um tipo de informação muito mais aprofundada, em que se descreveram todas as operações constituintes da mudança de ferramentas.

Após o registo dos tempos, em ambos os métodos, foram construídos gráficos que permitiram uma análise crítica sobre a informação adquirida. No primeiro caso a análise gráfica não pode ser muito aprofundada, pelos motivos anteriormente descritos, mas no segundo caso conseguiu-se um elevado nível de detalhe que por consequência nos levou a conclusões bem explícitas.

De seguida identificaram-se e separaram-se as operações consideradas internas das operações consideradas externas, utilizando um caso específico de uma mudança de moldes. Enumeraram-se as falhas encontradas e propuseram-se soluções para estas. Posteriormente fizeram-se estudos para optimização do *setup* das máquinas com referências de *standardização* e sugestões de trabalhos futuros. Finaliza-se a investigação com a apresentação da Matriz “*Tempos de mudança de moldes – Máquina / Molde – Desmontar e Montar*”.

5 Análise (Estágio Preliminar)

5.1 Diagnóstico à base de dados interna

A Sonafi possui uma base de dados interna (1) onde os colaboradores introduzem todas as ocorrências que vão surgindo (planeadas e não planeadas) na fábrica. Diz-se que uma operação de troca é planeada quando esta é fruto do planeamento de produção semanal efectuado pelo Departamento de Logística da empresa. A operação de troca é não planeada quando surge por implicações de manutenção, isto é, quando ocorre alguma avaria na ferramenta e, perante a gravidade da ocorrência, esta tem que ser retirada da máquina para o Departamento de Manutenção de Ferramentas proceder à sua reparação.

Na base de dados (1) da fundição ficam registadas todas as trocas de moldes ocorridas, inclusivamente ficam registadas as horas de início e fim. São também discriminadas as acções de desmontagem e montagem.

Perante este registo de dados, fez-se um levantamento dos *setups* efectuados às máquinas de fundição entre os meses de Fevereiro e Maio de 2009.

5.1.1 Operação “Desmontar molde”

Como referido anteriormente, as operações “Desmontar” e “Montar” molde encontram-se discriminadas separadamente na base de dados interna (1). Assim sendo começamos por analisar o processo “Desmontar molde”.

Especificamente, a operação “Desmontar molde”, ocorre no intervalo de tempo que vai desde o momento em que o operador desliga a máquina de fundição em produção até que esta fica pronta para receber o molde de substituição.

A Tabela 12 discrimina esta operação durante os meses de Fevereiro, Março, Abril e Maio de 2009.

Tabela 12 - Tempos da operação "Desmontar" (1)

Desmontar Molde		
Máquina	Mês	Delta (h:m)
206	Abril	1:00
210	Fevereiro	1:40
210	Maio	1:45
212	Março	2:45
212	Abril	1:00
212	Maio	1:20
302	Fevereiro	0:45
302	Fevereiro	1:15
302	Março	1:16
302	Abril	0:30
302	Abril	0:43

302	Maio	2:23
403	Maio	1:30
404	Março	2:47
404	Março	1:27
404	Abril	1:58
404	Abril	1:30
404	Maio	1:30
404	Maio	1:30
404	Maio	0:46
404	Maio	0:50
405	Fevereiro	1:45
405	Fevereiro	0:45
405	Fevereiro	0:38
405	Abril	0:47

405	Abril	1:07
405	Maio	1:05
415	Fevereiro	2:45
415	Março	0:53
415	Maio	0:45
415	Maio	2:15
415	Maio	0:58
418	Março	1:07
418	Março	0:45
418	Março	1:50
418	Março	3:01
507	Março	2:30
507	Abril	3:05
507	Abril	1:46
507	Abril	2:46
507	Maio	1:47
513	Fevereiro	3:10
513	Abril	2:20
513	Abril	1:15
513	Abril	1:57
513	Maio	2:45
513	Maio	2:20
520	Fevereiro	2:00
520	Fevereiro	2:20
520	Fevereiro	3:10
520	Março	0:30
520	Março	2:00
520	Março	2:20
520	Abril	0:46

520	Abril	3:00
520	Maio	1:10
520	Maio	2:30
520	Maio	0:30
617	Fevereiro	2:00
617	Abril	2:00
617	Abril	0:55
617	Abril	0:50
617	Abril	0:55
617	Abril	1:55
617	Maio	3:00
619	Março	1:40
709	Abril	0:53
709	Maio	0:25
709	Maio	1:50
711	Março	2:00
711	Março	1:00
711	Abril	3:20
711	Abril	1:50
711	Abril	1:35
711	Abril	2:00
823	Maio	1:59
Média		1:40

Após ser feito este levantamento, procedeu-se à refinação dos dados adquiridos para poderem ser tratados com maior sensibilidade.

Para tal criaram-se duas tabelas. A primeira (Tabela 13) com o tempo médio mensal da operação e a segunda (Tabela 14) com o tempo médio da operação em cada máquina.

Tabela 13 - Tempo médio mensal da operação "Desmontar"

Mês	Média (h:m)
Fevereiro	1:51
Março	1:44
Abril	1:36
Maio	1:36

Tabela 14 - Tempo médio da operação "Desmontar" em cada máquina

Máquina	Média (h:m)
206	1:00
210	1:42
212	1:41
302	1:08
403	1:30
404	1:32
405	1:01

415	1:31
418	1:40
507	2:22
513	2:17
520	1:58
617	1:39
619	1:40
709	1:02
711	1:57
823	1:59

Das tabelas anteriores (Tabela 13 e Tabela 14) surgem os respectivos gráficos (Gráfico 3 e Gráfico 4) que proporcionam uma melhor observação dos dados.

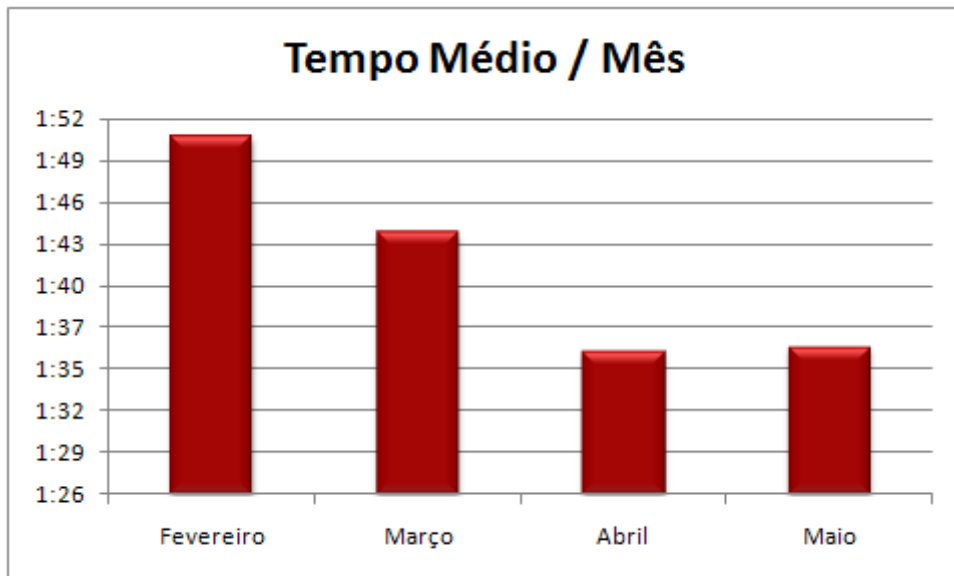


Gráfico 3 - Tempo médio mensal da operação "Desmontar"

Observando o Gráfico 3 verifica-se que o mês de Fevereiro é o que possui o tempo médio da operação "Desmontar" mais elevado. Denota-se uma tendência para este tempo médio descer nos meses seguintes, apesar de no mês de Maio se ter mantido ao nível do mês de Abril.

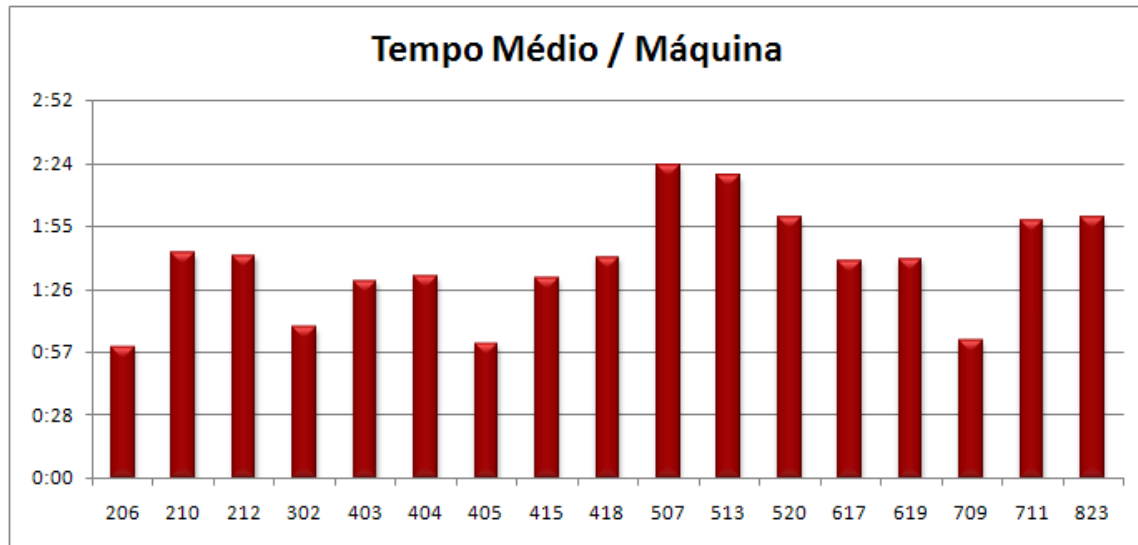


Gráfico 4 - Tempo médio da operação "Desmontar" em cada máquina

Observando o Gráfico 4 verifica-se que as máquinas 507 e 513 possuem o tempo médio da operação "Desmontar" mais elevado. De seguida surgem a 520, a 711 e a 823.

5.1.2 Operação “Montar molde”

Posteriormente analisou-se a operação “Montar molde” para o mesmo intervalo de tempo da operação anterior.

De referir que esta operação está registada na base de dados interna (1) como o intervalo de tempo que vai desde o início da montagem do molde até que a máquina de fundição produza a primeira peça dentro dos padrões de qualidade. Isto porque, a primeiras peças produzidas pelas máquinas após a montagem de um novo molde designam-se como peças de ensaio e servem para o Departamento de Controlo de Processo ajustar os parâmetros de trabalho da célula de produção.

Surge então a Tabela 15 que discrimina a operação “Montar molde” durante os meses de Fevereiro, Março, Abril e Maio de 2009.

Tabela 15 - Tempos da operação "Montar" (1)

Montar Molde		
Máquina	Mês	Delta (h:m)
210	Maio	2:15
212	Fevereiro	0:45
212	Março	1:10
212	Abril	3:00
302	Fevereiro	2:30
302	Março	3:00
403	Março	5:00
404	Fevereiro	2:15
404	Março	3:30

404	Abril	1:55
404	Abril	4:50
404	Maio	3:30
405	Fevereiro	5:15
405	Março	2:30
405	Maio	2:45
507	Fevereiro	1:00
507	Março	2:30
507	Março	5:30
711	Março	7:00
711	Abril	2:57
711	Abril	4:00
	Média	3:11

Após ser feito este levantamento, procedeu-se à refinação dos dados adquiridos para poderem ser tratados com maior sensibilidade.

Para tal criaram-se duas tabelas. A primeira (Tabela 16) com o tempo médio mensal da operação e a segunda (Tabela 17) com o tempo médio da operação em cada máquina.

Tabela 16 - Tempo médio mensal da operação "Montar"

Mês	Média (h:m)
Fevereiro	2:21
Março	3:46
Abril	3:20
Maio	2:50

Tabela 17 - Tempo médio da operação "Montar" em cada máquina

Máquina	Média (h:m)
210	2:15
212	1:38
302	2:45
403	5:00
404	3:12
405	3:30
507	3:00
711	4:39

Das tabelas anteriores (Tabela 16 e Tabela 17) surgem os respectivos gráficos (Gráfico 5 e Gráfico 6) que proporcionam uma melhor observação dos dados.

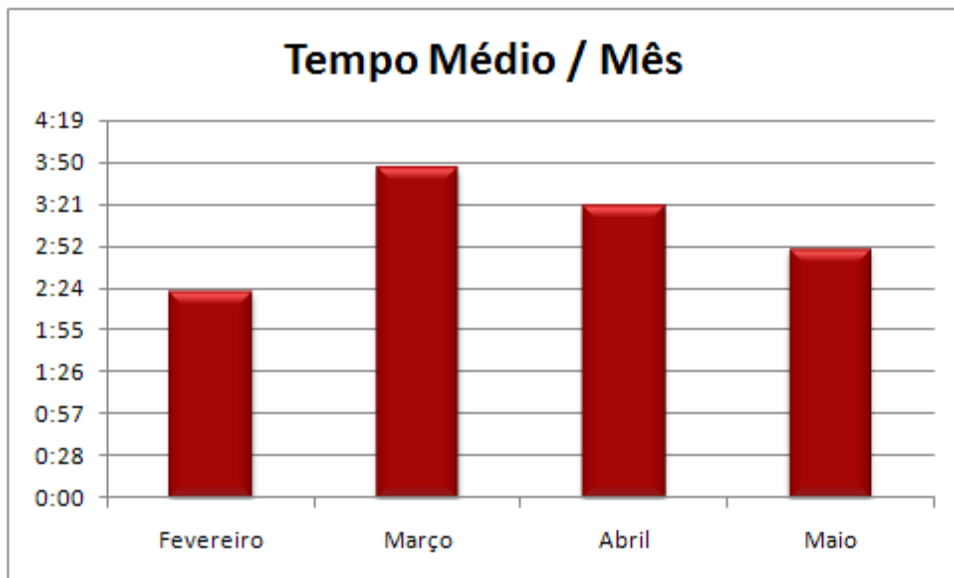


Gráfico 5 - Tempo médio mensal da operação "Montar"

Observando o Gráfico 5 verifica-se que o mês de Março é o que possui o mais elevado tempo médio para a operação "Montar" molde. Há uma subida entre Fevereiro e Março para depois a partir de aí a tendência ser de descida.

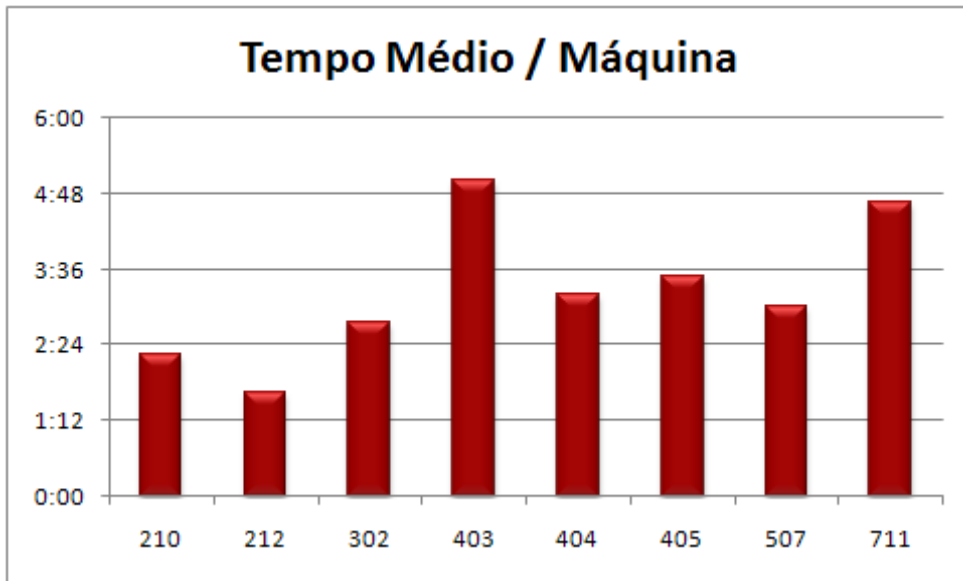


Gráfico 6 - Tempo médio da operação "Montar" em cada máquina

A partir do Gráfico 6 conclui-se que o grupo de máquinas com o tempo médio da operação "Montar" mais elevado é o das 400. De seguida surgem os das 700 e 500.

5.1.3 Operação "Desmontar molde" VS Operação "Montar molde"

Após a análise individual das duas operações anteriores surge o inevitável confronto para que se possam tirar conclusões em relação ao tempo total das mudanças de ferramentas registadas.

O método utilizado nesta análise foi o mesmo que anteriormente. Confrontaram-se então o tempo médio mensal de cada operação e o tempo médio de cada operação em cada máquina.

5.1.3.1 Tempo médio mensal da operação "Desmontar" VS tempo médio mensal da operação "Montar"

Tendo em conta os valores da Tabela 13 e da Tabela 16 surge então a Tabela 18 que é resultado do cálculo do tempo médio de cada operação, através do tempo médio mensal.

Tabela 18 - Tempo médio de cada operação calculado através do tempo médio mensal

	Média (h:m)
Desmontar	1:42
Montar	3:04
Total	4:46

Somando o tempo médio mensal de cada operação obtemos o tempo médio mensal total das mudanças de ferramentas efectuadas.

Da anterior tabela resulta o Gráfico 7:

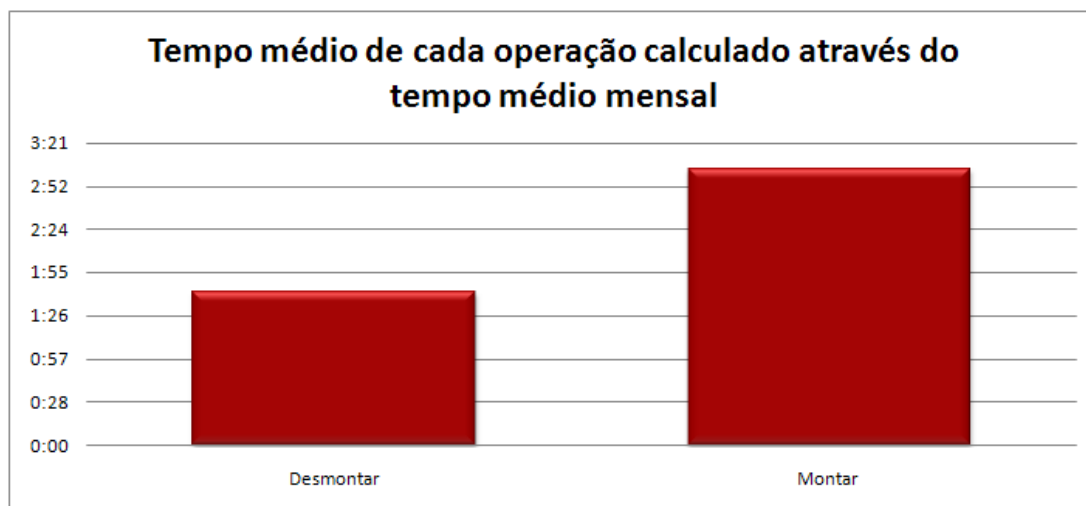


Gráfico 7 - Tempo médio de cada operação calculado através do tempo médio mensal

Observando o Gráfico 7, pode-se concluir que em média a operação “Montar” tem uma duração mais elevada quando comparada com a operação “Desmontar”.

5.1.3.2 Tempo médio da operação “Desmontar” VS tempo médio da operação “Montar” por máquina

Tendo em conta os valores da Tabela 14 e da Tabela 17 surge então a Tabela 19 que é resultado do cálculo do tempo médio de cada operação, através do tempo médio de cada máquina.

Tabela 19 - Tempo médio de cada operação calculado através do tempo médio de cada máquina

	Média (h:m)
Desmontar	1:38
Montar	3:14
Total	4:52

Somando os tempos médios das duas operações obtemos o tempo médio total de cada máquina.

Da anterior tabela resulta o Gráfico 8:

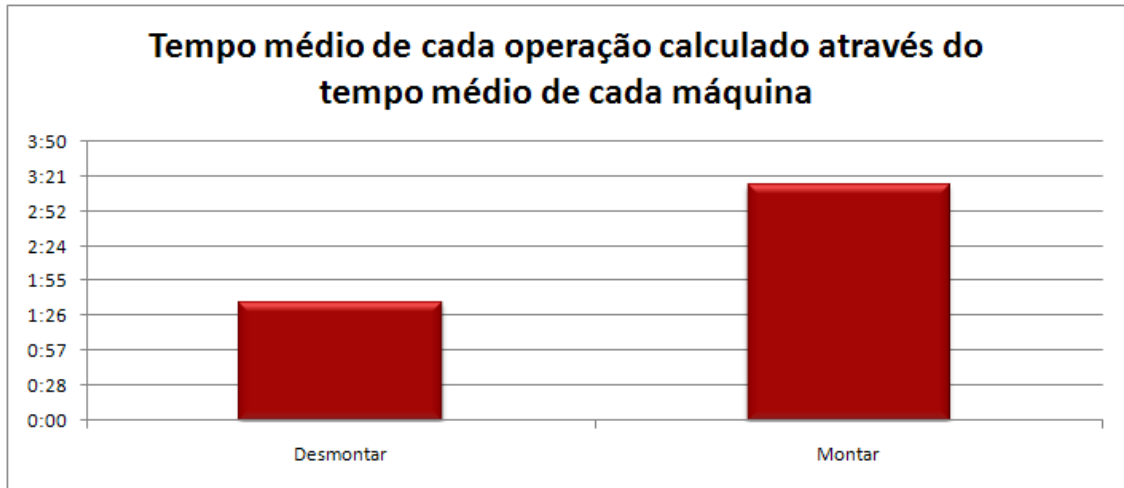


Gráfico 8 - Tempo médio de cada operação calculado através do tempo médio de cada máquina

Observando o Gráfico 8 conclui-se que, tal como no tempo médio mensal, a operação “Montar” tem uma amplitude mais elevada que a operação “Desmontar”.

Das duas análises gráficas anteriores já se puderam tirar algumas conclusões de para onde se deveriam apontar baterias em relação à redução do tempo de troca de molde. A operação de montagem é em média duas vezes mais demorada que a operação de desmontagem. Logo, empiricamente, poder-se-ia concluir que o trabalho a efectuar se deva concentrar nesta operação. Mas como relatado anteriormente, este levantamento e análise da informação da base de dados é muito superficial e pode levar a que se tirem conclusões precipitadas. A sub-etape seguinte do procedimento SMED, abordada no próximo subcapítulo 5.2, irá permitir uma análise mais detalhada dos factos. Conclusões mais aprofundadas e fundamentadas surgirão.

5.1.3.3 Comparação dos dois métodos de análise

A pesquisa referente à base de dados poderia ter-se focado apenas num critério de análise dos tempos das operações. Achou-se por bem efectuar as duas análises porque uma poderia surgir muito díspar da outra. Tal não se verificou como se comprova de seguida. Este facto confere a veracidade procurada aos dados adquiridos.

Comparando os dados da Tabela 18 e da Tabela 19 surge a Tabela 20 onde as anteriores se encontram compiladas e se comparam entre si. Pode verificar-se que percentualmente as diferenças de aquisição de dados pelos dois métodos diferem entre si em percentagens muito baixas.

Tabela 20 - Comparação entre os dois métodos de aquisição de dados

	Média / Mês (h:m) (Tabela 18)	Média / Máquina (h:m) (Tabela 19)	Delta (h:m)	Delta (%)
Desmontar	1:42	1:38	0:04	3,922
Montar	3:04	3:14	0:10	5,155
Total	4:46	4:52	0:06	2,055

Da Tabela 20 surge o Gráfico 9:

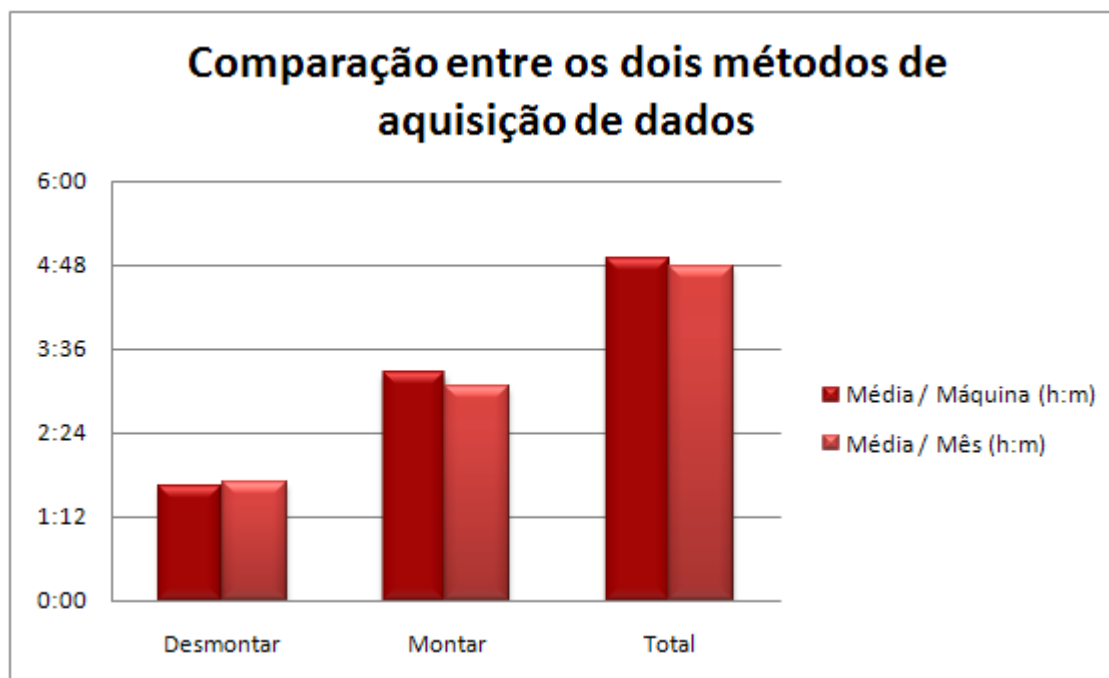


Gráfico 9 - Comparação entre os dois métodos de aquisição de dados

O Gráfico 9 demonstra as diferenças mínimas entre os dois tipos de aquisição de dados. A operação “Desmontar” calculada através da média mensal difere 3,9% da calculada através da média de cada máquina. A operação “Montar” calculada através do primeiro método difere 5,2% da calculada através do segundo método. O tempo total médio de mudança de molde para os meses entre Fevereiro e Maio inclusive difere entre os dois métodos de cálculo 2,1%.

Conclui-se então que as médias de tempo de *setup* tanto para as máquinas como para os meses são extremamente semelhantes.

5.1.4 Relação entre o tempo médio de *setup* e custo médio de utilização das máquinas

Após o levantamento dos tempos de *setup* da base de dados (1), é de grande interesse associá-los aos custos de utilização das máquinas para se ficar com a percepção da dimensão monetária que uma simples troca de ferramentas pode acarretar.

Surge então a Tabela 21 que mostra o custo de utilização de cada grupo de máquinas (por tonelagem).

Tabela 21 - Custo de utilização de cada grupo de máquinas por hora

Máquinas	Custo / hora (€) *
200	137,5
320	150
400	160
500	172,5
660	185
700 / 750	195
740	210
1100	222,5
Média	179,06

* Valores arbitrados por questões de confidencialidade

Cruzando os dados da Tabela 21 com os da Tabela 19, onde se multiplicou o custo / hora de cada grupo de máquinas com o seu tempo médio de *setup*, obtêm-se o custo médio de *setup*.

Custo médio de <i>setup</i>
871,43 €

Verificou-se que para os meses de Fevereiro, Março, Abril e Maio cada mudança de ferramentas custou em média 871,43 €.

Tendo em conta que se realizam em média 4 trocas de moldes por semana pode-se constatar que:

- O custo médio semanal de *setup* é de 3485 €;
- O custo médio mensal de *setup* é de 13943 €;
- O custo médio anual de *setup* é de 167316 €.

5.2 Registo no terreno

Após a sub-etapa inicial de pesquisa na base de dados da Sonafi (1) surge a aplicação directa da Etapa Preliminar do procedimento relatado por Shingo (5) no capítulo 3.

Durante os meses de Abril, Maio e Junho assistiram-se a diversas mudanças de molde, sem qualquer tipo de intervenção, apenas com o intuito de se registarem e cronometrarem todas as tarefas constituintes da operação de *setup*.

Na Tabela 22 apresentam-se os tempos cronometrados nas trocas de molde assistidas durante os meses atrás referidos.

Tabela 22 - Tempos cronometrados nas trocas de molde assistidas

Data	Máquina	Tempo cronometrado (h:m)
07-Abr	520	2:45
16-Abr	212	4:05
28-Abr	617	3:40
08-Mai	302	4:50
12-Mai	520	3:15
14-Mai	210	4:00
22-Mai	403	6:30
01-Jun	403	4:30
03-Jun	709	3:00
09-Jun	619	8:20
19-Jun	711	5:20
	Média	4:34

Se compararmos a média dos tempos registados nas trocas de moldes assistidas, 4:34 (h:m), com o tempo médio de *setup* obtido através do levantamento da base de dados, Tabela 20, verificamos que diferem entre si em cerca de 20 minutos.

5.3 Análise dos registos obtidos no terreno

Nesta análise dos registos obtidos no terreno discriminaram-se e categorizaram-se todas as operações constituintes de uma típica troca de moldes.

A tabela seguinte apresenta as diferentes operações desde o momento em que operador cessou a produção de peças do molde a retirar até que surge a primeira peça com qualidade do molde que entra em produção na troca efectuada a 9 de Junho na máquina 619. A coluna mais à direita (Categoria) será utilizada mais à frente.

Tabela 23 - Descrição da mudança de molde de dia 9 de Junho na máquina 619

Operação				Descrição	Observação	Categoria
Nº	Início	Fim	Tempo			
RETIRAR MOLDE						
1	9:00	9:01	0:01	Abrir a máquina		P
2	9:01	9:02	0:01	Descer cabeça de lubrificação		P
3	9:02	9:03	0:01	Cabeça ficou no centro da máquina		E
4	9:03	9:07	0:04	Procurar uma chave de bocas para desapertar cabeça de lubrificação (Chave 19)	Fornecer Chave	O
5	9:07	9:09	0:02	Mudar para o lado oposto da máquina. Arrumar carro de gitos.		PO
6	9:09	9:12	0:03	Começar a desapertar cabeça de lubrificação e colocar no chão		P
7	9:12	9:16	0:04	Retirar mangueiras de óleo dos radiais, posicionar ponte rolante e prendê-la no molde móvel	Dificuldade para desconectar o encaixe rápido	P
8	9:16	9:17	0:01	Retirar mangueira de água do molde fixo		P
9	9:17	9:19	0:02	Limpar colunas		O
10	9:19	9:21	0:02	Abrir carruagem para abrir a coluna		P
11	9:21	9:23	0:02	Subir ao topo da máquina, retirar a barra e descer		P
12	9:23	9:25	0:02	Desapertar calços do molde fixo		P
13	9:25	9:27	0:02	Pegar no comando da ponte para retirar molde do prato		T
14	9:27	9:30	0:03	Com a ponte retirar o molde, mover o grupo de injeção para retirar a camisa		P
15	9:30	9:35	0:05	Procurar maço de cobre para retirar a extracção	Fornecer cobre	O
16	9:35	9:37	0:02	Bater com o maço de cobre no extractor que estava preso		P
17	9:37	9:39	0:02	Trazer ponte, prender na camisa e descer até ao chão		T
18	9:39	9:40	0:01	Subir a ponte e prender o molde fixo		T
19	9:40	9:41	0:01	Desapertar calços do molde		P
20	9:41	9:42	0:01	Com a ponte, retirar o molde do prato e deixar suspenso		T
21	9:42	9:45	0:03	Bater com o maço de cobre na extracção e retirar os pernos impulsores		P
22	9:45	9:47	0:02	Verificar parâmetros do molde		O
23	9:47	9:50	0:03	Pegar na ponte, retirar o molde e colocar no chão		T
24	9:50	9:51	0:01	Retirar a vara com o pistão		P
25	9:51	9:54	0:03	Alterar a posição do grupo de injeção		P
26	9:54	9:57	0:03	Limpar colunas e pratos da máquina		P
27	9:57	10:09	0:12	Procurar cavalete para pousar o molde móvel	Antever a necessidade	O
28	10:09	10:16	0:07	Pousar o molde móvel no cavalete e alterar a posição onde entra a camisa		P
29	10:16	10:33	0:17	Entregar a ponte para retirar o molde fixo da máquina 520	Caso esporádico e urgente	O / E

Melhoria de Produtividade na Operação e Manutenção de Máquinas de Fundição Injectada

COLOCAR NOVO MOLDE						
30	10:33	10:38	0:05	Pegar com a ponte o molde fixo e colocar no prato		P
31	10:38	10:42	0:04	Ajustar medidas de posição e colocar calços de aperto		AJ
32	10:42	10:45	0:03	Retirar os cabos que sustentam o molde e pegar no molde móvel com a ponte		O
33	10:45	10:56	0:11	Colocar o molde no centro da máquina	Dificuldade acrescida pelo elevado tamanho do molde	P
34	10:56	13:30	2:34	Esperar pela MF para colocar gaveta inferior no molde	Evitar situações desta natureza	O
35	13:30	14:00	0:30	Colocar a gaveta no molde	Se não fosse necessário retirar a gaveta para a montagem, este tempo seria evitado	P / O
36	14:00	14:04	0:04	Continuar a montagem do molde, colocar mangueiras no molde fixo		P
37	14:04	14:07	0:03	Pegar na ponte e colocar cabo no molde móvel		T
38	14:07	14:12	0:05	Colocar a barra que guia a capota		P
39	14:12	14:14	0:02	Subir ao topo da máquina e ajustar a corrente da ponte ao molde		T
40	14:14	14:23	0:09	Deteção de falta de acessórios na ligação das mangueiras do óleo. Ir ao armazém de moldes	Evitar falha de acessórios no local de montagem	O / E
41	14:23	14:37	0:14	Retirar mangueiras de óleo e colocar outras para fazer ligação directa (procurar mangueiras)	Se o molde estivesse completo este tempo era desnecessário	O / E
42	14:38	14:39	0:01	Testar cilindros		TS
43	14:39	14:47	0:08	Fuga de óleo	Tarefas causadas pela falta de "bicos" no molde	O / PR
44	14:47	14:48	0:01	Testar cilindros, novamente fuga de óleo	"	TS / PR
45	14:48	14:55	0:07	Retirar acessórios do molde, trocar e ajustar	"	PR
46	14:55	15:08	0:13	Procurar acessórios para colocar no molde	"	O / E
47	15:08	15:10	0:02	Colocar acessórios no molde	"	P
48	15:10	15:11	0:01	Testar cilindros (ok)		TS
49	15:11	15:13	0:02	Pegar na ponte e subir o molde fixo para ajustar		P / AJ
50	15:13	15:14	0:01	Fechar a coluna		P
51	15:14	15:22	0:08	Fazer o ajuste do molde móvel ao fixo com ajuda da ponte		AJ
52	15:22	15:26	0:04	Abrir carroçaria e colocar pernos impulsores		P
53	15:26	15:28	0:02	Fechar a carruagem		P
54	15:28	15:35	0:07	Apertar calços do molde		P
55	15:35	15:40	0:05	Procurar máquina para apertar placa de extracção	Antever a necessidade da máquina	O / E
AJUSTAR MÁQUINA / MOLDE						
56	15:40	15:45	0:05	Ajustar placa de extracção		AJ
57	15:45	15:48	0:03	Pegar na ponte e abrir carruagem para retirar os cabos do molde		P
58	15:48	15:50	0:02	Falta de cabo eléctrico para ligar os radiais	Antever a necessidade	O / E
59	15:50	15:56	0:06	Colocar mangueiras no radial 3 e cabo eléctrico		P
60	15:56	16:00	0:04	Colocar mangueiras de água		P
61	16:00	16:02	0:02	Testar radiais		TS
62	16:02	16:14	0:12	Colocar gaveta superior	Durante a montagem do molde detectou-se uma anomalia e foi retirada a gaveta	P / PR
63	16:14	16:20	0:06	Testar radiais		TS
64	16:20	16:28	0:08	Ajustar fecho dos moldes, retirar escória agarrada nas portas		AJ / O
65	16:28	16:31	0:03	Colocar cabeça de injeção		P
66	16:31	16:35	0:04	Testar lubrificador e afinar		TS
67	16:35	17:00	0:25	Afinação do robot		AJ

AQUECER E PRODUZIR						
68	17:00	17:13	0:13	Aquecer molde		P
69	17:13	17:20	0:07	Produzir primeira peça com qualidade		P

Como é referenciado na Tabela 22 a troca de moldes discriminada na Tabela 23 decorreu durante 8:20 (h:m). Trata-se de um *setup* demasiado demorado, quando comparado com a média obtida de 4:34 (h:m). Por tal, vamos estudá-lo mais aprofundadamente e tentar compreender o porquê desta troca de ferramentas na máquina 619 ter fugido à regra. A análise deste caso específico é a solução mais abrangente, porque aqui se puderam constatar as operações e ocorrências mais anómalas. As conclusões e ensinamentos de melhoria daqui retirados são 100% utilizáveis nos restantes *setups*.

Na Tabela 24 e posteriormente no Gráfico 10 apresenta-se uma Análise ABC da operação de *setup* ocorrida dia 9 de Junho na máquina 619.

Tabela 24 - Análise ABC do *setup* da máquina 619

Operação			Descrição
Início	Fim	Tempo	
9:00	10:33	1:33	Retirar molde
10:33	15:40	5:07	Colocar novo molde
15:40	17:00	1:20	Ajustar máquina / molde
17:00	17:20	0:20	Aquecer e produzir

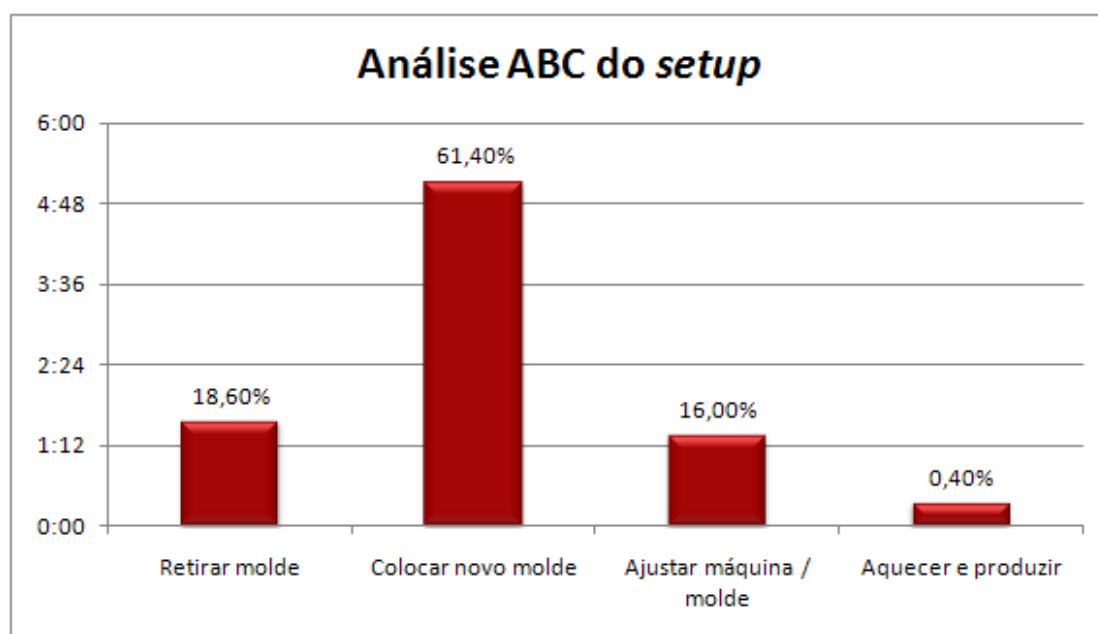


Gráfico 10 - Análise ABC do *setup* da máquina 619

Observando o Gráfico 10 verificamos que a etapa de colocação do novo molde requereu mais de 60% do tempo total da troca. A operação de ajuste máquina / molde equipara-se à primeira de desmontagem do molde a retirar.

De seguida na Tabela 25, apresentam-se as categorias de classificação dos passos do *setup* apresentados na Tabela 23.

Tabela 25 - Categorias para classificação de operações

Organização	O	Aperto	A
Espera	E	Ajuste	AJ
Transporte	T	Teste	TS
Preparação	P	Problemas	PR
Posicionamento	PO	Outros	OT

No Gráfico 11 apresenta-se a contabilização das operações classificadas na Tabela 23.

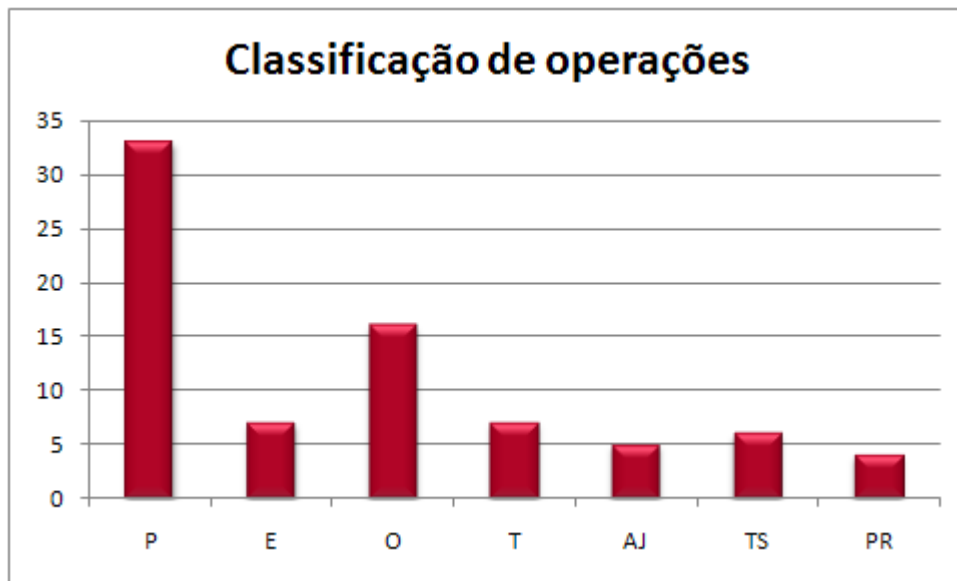


Gráfico 11 - Contabilização de operações segundo a classificação

Como seria de esperar a categoria preparação (P) surge em evidência e é a que mais vezes surge na descrição do *setup*. É perfeitamente normal.

As categorias ajuste (AJ) e teste (TS) são também parte integrante de um *setup* que ocorre em condições normais, desde que perdurem por um período de tempo previsto.

As categorias espera (E), organização (O), transporte (T) e problemas (PR) surgem no Gráfico 11 de uma forma que é considerada alarmante. Isto porque, são tipos de operações “inúteis” em termos de preparação e que revelam falta de organização e preparação prévia da troca de moldes. Se um bom planeamento da operação for feito, estas etapas são exteriores à mudança

de moldes (são feitas antes de se iniciar o *setup*) e partir do instante que a máquina é desligada apenas operações internas são realizadas.

No capítulo 6 apresenta-se este facto mais explicitamente.

6 Implementação

6.1 Identificar e separar operações internas das externas

O primeiro passo da fase de implementação é fazer a separação das operações externas ao *setup* das operações internas.

Como foi referido no capítulo 3, há operações que surgem a meio do *setup* que podem ser realizadas antes de este se iniciar. Estas fazem parte integrante do *setup* externo, que não é nada mais que a preparação da troca de ferramentas. Para melhor se compreender vejamos este exemplo:

O molde que se vai montar na máquina encontra-se ainda no armazém de manutenção de ferramentas enquanto que a operação de desmontagem do molde a retirar da máquina já decorre. Irá surgir o momento em que a máquina já se encontra pronta a receber o novo molde, mas este ainda terá que ser transportado para junto desta. Então, este tempo de espera para que o molde se apresente junto à máquina é desperdiçado. Se esta operação de transporte for efectuada antes de se iniciar o setup, permitirá o ganho deste tempo e encurtará o tempo total de preparação.

Utilizando de novo a operação de *setup* de 9 de Junho na máquina 619 apresenta-se na Tabela 26 a identificação e separação das operações externas e internas de *setup*.

Tabela 26 - Identificação e separação das operações externas e internas de setup

Operação				Descrição	Identificar e separar elementos	
Nº	Início	Fim	Tempo		Externos	Internos
RETIRAR MOLDE						
1	9:00	9:01	0:01	Abrir a máquina		0:01
2	9:01	9:02	0:01	Descer cabeça de lubrificação		0:01
3	9:02	9:03	0:01	Cabeça ficou no centro da máquina		0:01
4	9:03	9:07	0:04	Procurar uma chave de bocas para desapertar cabeça de lubrificação (Chave 19)	0:04	
5	9:07	9:09	0:02	Mudar para o lado oposto da máquina. Arrumar carro de gitos.	0:02	
6	9:09	9:12	0:03	Começar a desapertar cabeça de lubrificação e colocar no chão		0:03
7	9:12	9:16	0:04	Retirar mangueiras de óleo dos radiais, posicionar ponte rolante e prendê-la no molde móvel		0:04
8	9:16	9:17	0:01	Retirar mangueira de água do molde fixo		0:01
9	9:17	9:19	0:02	Limpar colunas	0:02	
10	9:19	9:21	0:02	Abrir carruagem para abrir a coluna		0:02
11	9:21	9:23	0:02	Subir ao topo da máquina, retirar a barra e descer		0:02
12	9:23	9:25	0:02	Desapertar calços do molde fixo		0:02
13	9:25	9:27	0:02	Pegar no comando da ponte para retirar molde do prato	0:02	
14	9:27	9:30	0:03	Com a ponte retirar o molde, mover o grupo de injeção para retirar a camisa		0:03
15	9:30	9:35	0:05	Procurar maço de cobre para retirar a extracção	0:05	
16	9:35	9:37	0:02	Bater com o maço de cobre no extractor que estava preso		0:02
17	9:37	9:39	0:02	Trazer ponte, prender na camisa e descer até ao chão		0:02
18	9:39	9:40	0:01	Subir a ponte e prender o molde fixo	0:01	

Melhoria de Produtividade na Operação e Manutenção de Máquinas de Fundição Injectada

19	9:40	9:41	0:01	Desapertar calços do molde		0:01
20	9:41	9:42	0:01	Com a ponte, retirar o molde do prato e deixar suspenso		0:01
21	9:42	9:45	0:03	Bater com o maço de cobre na extracção e retirar os pernos impulsores		0:03
22	9:45	9:47	0:02	Verificar parâmetros do molde	0:02	
23	9:47	9:50	0:03	Pegar na ponte, retirar o molde e colocar no chão		0:03
24	9:50	9:51	0:01	Retirar a vara com o pistão		0:01
25	9:51	9:54	0:03	Alterar a posição do grupo de injeção		0:03
26	9:54	9:57	0:03	Limpar colunas e pratos da máquina		0:03
27	9:57	10:09	0:12	Procurar cavalete para pousar o molde móvel	0:12	
28	10:09	10:16	0:07	Pousar o molde móvel no cavalete e alterar a posição onde entra a camisa	0:07	
29	10:16	10:33	0:17	Entregar a ponte para retirar o molde fixo da máquina 520	0:17	
COLOCAR NOVO MOLDE						
30	10:33	10:38	0:05	Pegar com a ponte o molde fixo e colocar no prato		0:05
31	10:38	10:42	0:04	Ajustar medidas de posição e colocar calços de aperto		0:04
32	10:42	10:45	0:03	Retirar os cabos que sustentam o molde e pegar no molde móvel com a ponte		0:03
33	10:45	10:56	0:11	Colocar o molde no centro da máquina		0:11
34	10:56	13:30	2:34	Esperar pela MF para colocar gaveta inferior no molde	2:34	
35	13:30	14:00	0:30	Colocar a gaveta no molde		0:30
36	14:00	14:04	0:04	Continuar a montagem do molde, colocar mangueiras no molde fixo		0:04
37	14:04	14:07	0:03	Pegar na ponte e colocar cabo no molde móvel		0:03
38	14:07	14:12	0:05	Colocar a barra que guia a capota		0:05
39	14:12	14:14	0:02	Subir ao topo da máquina e ajustar a corrente da ponte ao molde		0:02
40	14:14	14:23	0:09	Deteção de falta de acessórios na ligação das mangueiras do óleo. Ir ao armazém de moldes	0:09	
41	14:23	14:37	0:14	Retirar mangueiras de óleo e colocar outras para fazer ligação directa (procurar mangueiras)	0:14	
42	14:38	14:39	0:01	Testar cilindros		0:01
43	14:39	14:47	0:08	Fuga de óleo	0:08	
44	14:47	14:48	0:01	Testar cilindros, novamente fuga de óleo	0:01	
45	14:48	14:55	0:07	Retirar acessórios do molde, trocar e ajustar	0:07	
46	14:55	15:08	0:13	Procurar acessórios para colocar no molde	0:13	
47	15:08	15:10	0:02	Colocar acessórios no molde		0:02
48	15:10	15:11	0:01	Testar cilindros (ok)		0:01
49	15:11	15:13	0:02	Pegar na ponte e subir o molde fixo para ajustar		0:02
50	15:13	15:14	0:01	Fechar a coluna		0:01
51	15:14	15:22	0:08	Fazer o ajuste do molde móvel ao fixo com ajuda da ponte		0:08
52	15:22	15:26	0:04	Abrir carroçaria e colocar pernos impulsores	0:04	
53	15:26	15:28	0:02	Fechar a carruagem		0:02
54	15:28	15:35	0:07	Apertar calços do molde		0:07
55	15:35	15:40	0:05	Procurar máquina para apertar placa de extracção	0:05	
AJUSTAR MÁQUINA / MOLDE						
56	15:40	15:45	0:05	Ajustar placa de extracção		0:05
57	15:45	15:48	0:03	Pegar na ponte e abrir carruagem para retirar os cabos do molde	0:03	
58	15:48	15:50	0:02	Falta de cabo eléctrico para ligar os radiais	0:02	
59	15:50	15:56	0:06	Colocar mangueiras no radial 3 e cabo eléctrico		0:06

60	15:56	16:00	0:04	Colocar mangueiras de água		0:04
61	16:00	16:02	0:02	Testar radiais		0:02
62	16:02	16:14	0:12	Colocar gaveta superior		0:12
63	16:14	16:20	0:06	Testar radiais		0:06
64	16:20	16:28	0:08	Ajustar fecho dos moldes, retirar escoria agarrada nas portas		0:08
65	16:28	16:31	0:03	Colocar cabeça de injeção		0:03
66	16:31	16:35	0:04	Testar lubrificador e afinar		0:04
67	16:35	17:00	0:25	Afinação do robot		0:25
AQUECER E PRODUZIR						
68	17:00	17:13	0:13	Aquecer molde		0:13
69	17:13	17:20	0:07	Produzir primeira peça com qualidade		0:07

Da Tabela 26 retiramos o Gráfico 12.

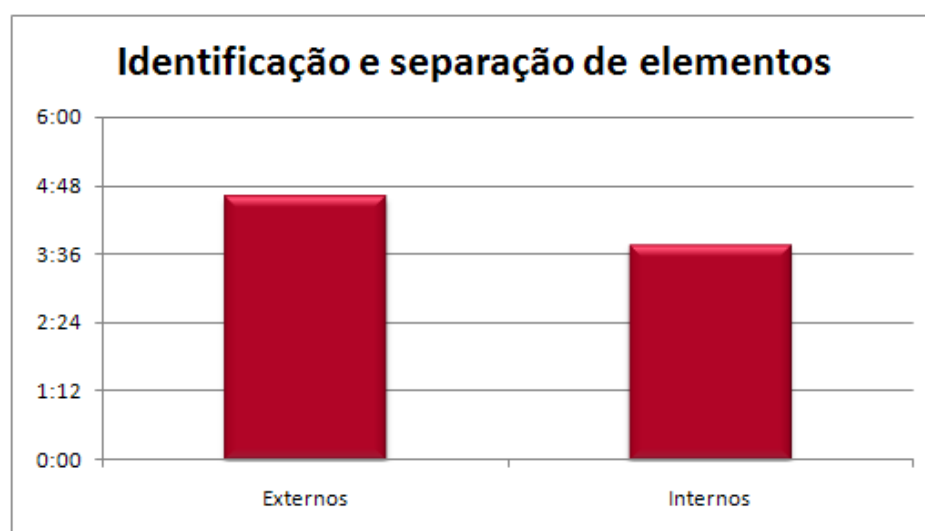


Gráfico 12 - Identificação e separação de elementos externos e internos

O Gráfico 12 demonstra uma situação preocupante para o normal funcionamento de uma troca de moldes. O tempo dispendido com operações externas é superior ao tempo dispendido com operações internas. A situação será normal quando os elementos internos tomam grande parte do tempo do *setup*, e numa situação ideal tomam a totalidade do tempo. Estes elementos trazem trabalho produtivo e são a acção propriamente dita da troca de ferramentas. Os elementos externos são tarefas de organização e preparação que servem de suporte aos elementos internos.

Este caso específico da troca de moldes do dia 9 de Junho na máquina 619 tem a particularidade de possuir uma operação, a número 34, que é externa ao *setup* e que por ser muito demorada acaba por trazer as consequências visíveis no Gráfico 12. Ou seja, “*Esperar pela M. F. (Manutenção de Ferramentas) para colocar gaveta inferior no molde*” 2 horas e 34 minutos num universo de 8 horas e 20 minutos é relevante, e muito! É cerca de 31 % do tempo total. Trata-se de uma operação que está classificada como “Organizacional” que com uma preparação prévia bem estudada e um bom entendimento entre departamentos intervenientes pode ser evitada muito facilmente.

6.1.1 Falhas identificadas

A troca de moldes estudada no ponto 6.1 é relativa ao dia 9 de Junho na máquina 619. Como explicado anteriormente trata-se de um exemplo muito abrangente, onde surgiram inúmeras falhas. Daí a sua selecção para ser citado e estudado neste relatório.

Assistiram-se a mais 10 trocas de moldes ao longo dos meses de Abril, Maio e Junho (como revela a Tabela 22) onde da mesma forma foram identificados problemas organizacionais e de preparação.

Os problemas mais frequentes identificados encontram-se listados de seguida:

- Mangueiras de óleo e água não se encontravam preparadas junto à máquina para serem montadas;
- Ferramentas necessárias para que a troca de moldes se realizasse não se encontravam devidamente organizadas no carrinho, e por vezes faltavam chaves;
- Carrinho de ferramentas não se encontrava junto à máquina;
- Longos períodos de espera pelo Departamento de Manutenção de Ferramentas quando era necessária a sua intervenção (retirar ou colocar gavetas);
- Longos períodos de espera pelo Departamento de Controle de Processo quando era necessária a sua intervenção (inserir parâmetros e afinar máquinas);
- Faltavam acessórios necessários para o funcionamento das máquinas;
- A afinação da pinça extractora era muito demorada;
- Engates rápidos de mangueiras encontravam-se danificados;
- O colaborador era chamado frequentemente as outras tarefas, deixando o *setup* da máquina em *stand-by*;
- Faltavam vara e pistão.

6.1.2 Soluções propostas

De seguida apresentam-se soluções que visam eliminar os problemas encontrados anteriormente.

Uma troca típica de moldes está planeada desde o final da semana de trabalho anterior. Logo, há tempo suficiente para estar em acção um plano organizacional que proporcione uma boa fluidez ao decorrer dos trabalhos.

Sendo assim, após a reunião entre os departamentos de Logística, Fundição e Controle de Processo no final cada semana ficam acertados todos os pormenores dos *setups* a efectuar na semana seguinte. Pode então, a partir deste momento ser notificado cada departamento da fábrica que intervenha directa ou indirectamente nos *setups* para que tenha a sua “cota” de trabalho pronta no dia e hora do *setup* previsto.

Em relação à operação *setup* propriamente dita elaborou-se um *check-list* que se encontra subdividido em duas partes:

I – *Check-list* de preparação – onde o operador deve, após receber ordem para efectuar a troca de moldes, verificar a presença dos elementos necessários para que a operação decorra sem que tenha que ser interrompida por falta de alguma ferramenta, acessórios, ...

Após verificar este *check-list*, o operador pode prosseguir para a operação de *setup* (operações internas) se tiver feito “*check*” a todos os itens. Basta que um dos elementos não tenha visto de confirmação para que este não se realize, e deixe a máquina continuar a produção das peças do molde que iria sair. A máquina parada não traz valor acrescentado à empresa.

II – *Check-list* da operação – lista todos os passos que o operador deve seguir para que uma normal troca de moldes decorra.

O *check-list* contém ainda informação acerca das tarefas que são necessárias mais que um operário.

De seguida apresenta-se o *check-list* “*Operação genérica de troca de moldes*”.






Operação genérica de troca de moldes

REQUISITOS DE CARÁCTER IMPERATIVO PARA SE EFECTUAR A TROCA



I - Check-list de preparação



<u>VERIFICAR</u>	<u>OBSERVAÇÃO</u>			<u>CHECK?</u> 
Molde de substituição em posição de entrada		X		
Ponte rolante disponível	Verificar argolas para: <ul style="list-style-type: none"> • Molde a desmontar • Molde de substituição 	X		
Carro de ferramentas em posição	Contém: <ul style="list-style-type: none"> • Pistola pneumática e respectivas chaves de caixa • Chaves de bocas • Material de limpeza: desperdício, espátula, ... 	X		
Vara, pistão e camisa para molde de substituição		X		
Mangueiras do circuito de refrigeração	Para: <ul style="list-style-type: none"> • Radiais • Vara 	X		
Calços adequados ao molde de substituição	Presença de: <ul style="list-style-type: none"> • Ferramenta para desaperto e aperto dos calços 	X		
Suporte para molde a desmontar	<ul style="list-style-type: none"> • Estrutura metálica ou • Calços de madeira 			
Documento com parâmetros de funcionamento da máquina com o molde de substituição	Fornecido pelo Controlo de Processo	X		
Cabeça de lubrificação	(se necessário)	X		



<u>VERIFICAR</u>	<u>OBSERVAÇÃO</u>			<u>CHECK?</u> 
Die heater	Presença de: <ul style="list-style-type: none"> • Equipamento • Mangueiras hidráulicas • Mangueiras de água • Ligações de água • Ligações eléctricas 	X		
Calibres de controlo das peças do molde de substituição		X		
Pernos impulsores	Presença de: Ferramentas para desmontar / montar	X		

ATENÇÃO: Enquanto os itens do Check-list I não estiverem todos OK, não prosseguir para o Check-list II

II - Check-list da operação

Operação	Ferramenta	Observação		
Parar ciclo de injeccção			X	
Fechar a máquina em modo manual			X	
Segurar molde com a ponte rolante		Utilizar sempre o gancho na parte móvel, por esta ser a mais pesada	X	
Retirar mangueiras do sistema de refrigeração (água e óleo) e desligar fichas eléctricas dos radiais (caso existam)			X	
Desapertar pernos impulsores da placa extractora da máquina			X	
Se necessário, recuar uma das colunas da máquina para possibilitar a saída do molde			X	

Operação	Ferramenta	Observação		
Abrir a máquina			X	
Desapertar calços da parte móvel	Chave de bocas		X	
(retirar parte móvel do molde da máquina, quando este sai por partes)			X	
(Pousar molde no respectivo suporte)			X	
(segurar parte fixa do molde com a ponte rolante)			X	
Desapertar calços da parte fixa	Chave de bocas		X	
Retirar molde da máquina através da ponte rolante			X	
Pousar molde no respectivo suporte			X	
Limpar pratos da máquina	Desperdício, espátula, ...		X	
Trocar camisa, vara e pistão consoante a necessidade do novo molde			X	
Acoplar camisa		<ul style="list-style-type: none"> • Ao molde ou • À máquina 	X	
Prender ponte rolante ao molde a montar		Podem ser necessárias 2 pessoas para posicionar o molde	X	XX
Encostar molde ao prato fixo			X	XX
Apertar calços do molde fixo	Chave de bocas		X	
Montar coluna da máquina			X	
Ajustar carruagem ao molde			X	
Aproximar prato móvel ao molde, colocar pernos impulsores no mesmo e alinha-los com a furação do molde			X	
Encostar o prato móvel da máquina ao molde de modo a que se consigam apertar os pernos impulsores à placa extractora do molde	Chave de bocas	Pode ser utilizado um tubo para aumentar o braço de aperto	X	
Fechar prato da máquina totalmente			X	
Apertar calços do molde móvel	Chave de bocas		X	

Operação	Ferramenta	Observação		
Apertar pernos impulsores na placa extractora da máquina	<ul style="list-style-type: none"> • Pernos sem espiga: utilizar chave de impacto para apertar parafuso da extremidade • Pernos com espiga: chave de bocas para apertar porcas 	Pode ser utilizado um tubo para aumentar o braço de aperto	X	
Afinar molde		<ul style="list-style-type: none"> • Afinar paralelismo • Afinar distância entre pratos • Afinar fecho do molde 	X	
Montar vara e pistão		Previamente seleccionados	X	
Apertar mangueiras à vara			X	
Montar cabeça de lubrificação			X	

Na sequência das acções de melhoria contínua implementadas, criou-se uma ficha denominada “*Relatório de troca de moldes*” na qual o operador que realiza o *setup* descreve o aparecimento de algum problema ocorrido. É muito importante este tipo de acção porque permite ao Departamento de Engenharia de Produção analisar dados concretos e registados, podendo assim trabalhar no sentido de melhorar a *performance* do *setup* das máquinas. Qualquer ocorrência registada neste relatório passa a ser estudada e combatida de modo a que não reapareça.

6.2 Transformar *setups* internos em *setups* externos

Nesta segunda etapa da fase de implementação analisa-se ao detalhe cada elemento interno e, se possível, deve-se fazer a sua conversão para os elementos externos.

Utilizando mais uma vez o exemplo concreto da troca de moldes do dia 9 de Junho na máquina 619, verifica-se que existem muitas tarefas realizadas internamente que, como analisado no ponto 6.1, podem ser convertidas em tarefas externas.

De seguida listam-se e criticam-se alguns exemplos de tarefas mencionadas.

Nº. 4 – “*Procurar uma chave de bocas para desapertar cabeça de lubrificação (Chave 19)*”. Trata-se de uma típica tarefa que pode ser evitada quando há uma boa organização das ferramentas.

Nº. 5 – “*Arrumar carro de gitos*”. É uma tarefa que pode ser realizada antes de se desligar a máquina de injeção.

Nº. 15 – “*Procurar maço de cobre para retirar a extracção*”. Outra tarefa que pode ser evitada quando há uma boa organização das ferramentas.

Nº. 27 – “*Procurar cavalete para pousar o molde móvel*”. Trata-se de uma tarefa que tem que ser realizada antes de se iniciar a troca de moldes.

Nº. 29 – “*Entregar a ponte para retirar o molde fixo da máquina 520*”. Este tipo de operações tem que ser evitado a todo o custo. Trata-se de um interregno à mudança de moldes, mantendo a máquina inoperacional.

Nº. 34 – “*Esperar pela MF para colocar gaveta inferior no molde*”. O Departamento de Manutenção de Ferramentas demorou cerca de 2 horas e 20 minutos a colocar a gaveta inferior no molde. Operação que deveria ter sido feita antes de se iniciar o *setup*.

Nº. 40 – “*Deteção de falta de acessórios na ligação das mangueiras do óleo. Ir ao armazém de moldes*”. Todos os acessórios necessários para o bom funcionamento da máquina têm obrigatoriamente que estar presentes junto desta antes de se iniciar a operação.

6.2.1 Soluções propostas

O *check-list* apresentado no ponto 6.1 contempla as seguintes soluções que permitem passar estas etapas internas ao *setup* para externas.

O molde de substituição deve-se encontrar em posição junto à máquina que vai ser alvo da troca. Este facto permite que não se despenda tempo após o *setup* se ter iniciado com o seu transporte.



Figura 46 - Molde de substituição junto à máquina 520

Outra questão importante e citada no *check-list* elaborado prende-se com o facto de haver disponibilidade da ponte rolante para retirar e colocar os moldes na máquina. Se o uso desta estiver previsto para outra operação durante o intervalo de tempo estipulado para a troca de moldes, o *setup* da máquina não deve ser iniciado.



Figura 45 - Ponte rolante com cadeados

Os calibres de controlo das peças a fabricar no molde que vai dar entrada devem encontrar-se na sua posição de utilização.

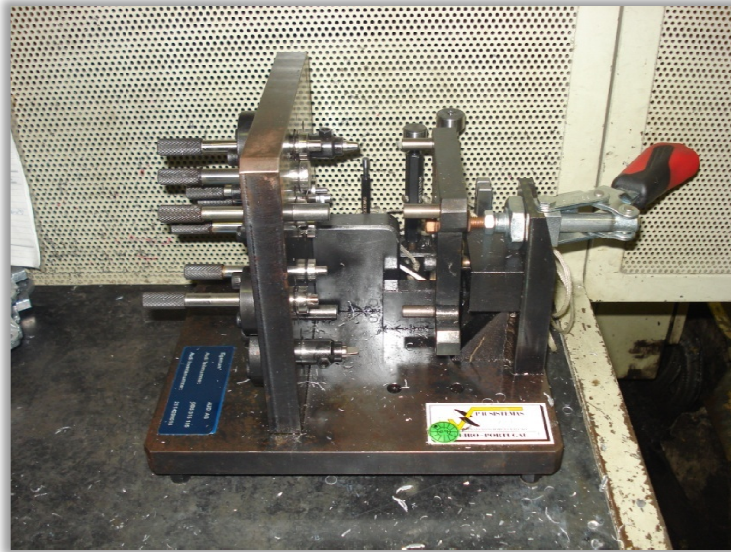


Figura 47 - Calibre de controlo

O *Die Heater* (se necessário) deve, à semelhança do molde que vai dar entrada, encontrar-se junto à máquina. Mais uma vez, se este for transportado apenas no momento em que se vão fazer as ligações das mangueiras de água e óleo desperdiçar-se-á este tempo com tarefas improdutivas.



Figura 48 - Die Heater junto à máquina

A boa organização dos carrinhos de ferramentas (Figura 49) é essencial para que a troca de moldes decorra dentro das condições esperadas.



Figura 49 - Carrinho de ferramentas

O armazém do Departamento de Fundição deve encontrar-se muito bem organizado. A disposição em prateleiras bem identificadas das varas (Figura 50), camisas (Figura 51), pistões (Figura 52 e Figura 53), calços (Figura 54) e pernos impulsores (Figura 55 e Figura 56) facilita a sua selecção quando se vai efectuar um *setup* a uma máquina.



Figura 50 - Organização em prateleiras das varas



Figura 51 - Organização em prateleiras das camisas



Figura 52 - Separação em caixas pelos diferentes diâmetros dos pistões



Figura 53 - Pormenor da caixa dos pistões de diâmetro 55 mm



Figura 54 - Prateleira de armazenamento dos calços de aperto



Figura 55 - Prateleira nº 1 dos pernos impulsores



Figura 56 - Prateleira nº 2 dos pernos impulsores



Figura 57 - Vista geral do armazém do Departamento de Fundição

6.3 Realização de estudos para otimização de setups

Na sequência de um programa de uniformização e redução de custos foi efectuado um estudo com a finalidade de se melhorarem e uniformizarem os pistões, as varas e as varetas.

Numa fase inicial, o estudo incidiu nas máquinas de injeção de 200 toneladas. Desta forma, apresentam-se em anexo os desenhos propostos para os pistões de Ø 50, 55, 60 e 70 mm, as varas para estes pistões e as varetas para as respectivas varas.

6.3.1 Pistões (ANEXO A)

Aumentou-se o comprimento de todos os pistões, para se retirar o rasgo para a chave de bocas da zona funcional do pistão. Como o pistão com consumo mais elevado na empresa é o de Ø 60 mm decidiu-se fazer o de Ø 70 mm com a mesma rosca para poder ser maquinado e desta forma reutilizado. No entanto, como o pistão de Ø 70 mm é utilizado nas máquinas de maior tonelagem, que necessitam de varas bastante superiores, tanto em comprimento como em Ø, decidiu-se desenhá-lo com dimensões exteriores diferentes para ficar mais robusto. Quando se for maquiná-lo para diâmetros inferiores, será necessário fazê-lo em todo o seu comprimento e refazer o rasgo para a chave de bocas (*Nota: o pistão terá que ser maquinado para o diâmetro pretendido e só depois é que poderá ser feito o rasgo com a profundidade e comprimento devidos*). A cavidade interior para a rosca, a própria rosca, e a cavidade interior para a refrigeração mantêm-se iguais aos pistões de diâmetro frontal inferior de modo a permitir o seu reaproveitamento. Foi introduzido um chanfro na zona do pistão que fica em contacto com o alumínio. Este vai evitar que, devido ao aquecimento durante a sua utilização, vá dilatar e provocar uma prisão na camisa e posteriormente o seu desgaste.

6.3.2 Varas (ANEXO B)

As varas foram encurtadas devido à alteração do comprimento do pistão (o conjunto vara / pistão terá idêntico comprimento à situação anterior). Foram abertos dois rasgos a limitar a rosca para alojarem dois *o' rings*, evitando deste modo que haja electrólise na rosca, e ainda serão reduzidas as paragens de produção provocadas por fugas de água. Foi determinado que todas as roscas serão de passo fino, para evitar o desaperto dos pistões durante o funcionamento das máquinas. Nas varas para as máquinas de 200 toneladas foram soldados uns castelos para a montagem dos dois acessórios das mangueiras de refrigeração, evitando-se a rápida ruptura destes e consequentes fugas de água.

6.3.3 Varetas (ANEXO C)

Nas varetas foram criadas quatro entradas de água, de modo a otimizar a refrigeração. Foi criado um degrau para evitar a deformação da cabeça da vareta e a dificuldade sentida na desmontagem (situação que levava à fabricação de nova vareta para cada vara nova).

Ter em conta que, como se quer aproveitar o pistão de Ø 70 mm para diâmetros inferiores e uma vez que este só é utilizado em máquinas de maior tonelagem, terão que existir pelo

menos duas varas por máquina quando estes se utilizarem em máquinas de menor tonelagem, uma para a rosca de $\varnothing 70$ mm e outra para os pistões de rosca superior.

O estudo para as máquinas de maior tonelagem de pistões, varas e varetas ainda está a ser realizado, não havendo no presente momento resultados visíveis.

6.4 Matriz “*Tempos de mudança de moldes – Máquina / Molde – Desmontar e Montar*”

A Matriz “*Tempos de mudança de moldes – Máquina / Molde – Desmontar e Montar*” (ANEXO D) é o culminar do trabalho desenvolvido ao longo do Estágio Curricular do autor na Sonafi, S.A..

Esta matriz apresenta a compatibilidade entre máquinas e moldes, discriminando os tempos de desmontagem e montagem entre ambos.

Em coluna surgem as 23 máquinas instaladas na planta da fábrica e em linha os moldes de fabricação em uso no presente momento.

Encontra-se assinalada com um “X” a compatibilidade entre uma determinada máquina e um determinado molde. Todos estes “X”, após um trabalho feito a médio prazo de monitorização das trocas de moldes, respeitando os *check-lists* apresentados, vão sendo substituídos pelos respectivos tempos de desmontagem e montagem. Quando finalmente a matriz se encontrar totalmente preenchida, passar-se-á ter em mão um registo fidedigno dos tempos exactos das operações de desmontagem e montagem de cada molde em cada máquina (quando há compatibilidade).

Como esperado desde o início do projecto, tornou-se impossível em tão curto espaço de tempo o preenchimento total da matriz. Trocam-se em média 4 moldes por semana, permitindo apenas monitorizar-se uma pequena parte da matriz. Mesmo pequena, a amostra recolhida de 12 operações de desmontagem e 13 de montagem permite fazer uma análise ao trabalho efectuado, comparando-se resultados com a situação pré-interventiva estudada no capítulo 3.

De seguida apresenta-se a Tabela 27 com os tempos de desmontagem monitorizados.

Tabela 27 - Tempos de desmontagem monitorizados

Desmontar Molde		
Máquina	Molde	Delta (h:m)
401	10138	1:25
302	10255	1:00
405	10247	1:00
507	10138	1:50
709	10364	1:10
210	10147	1:30
210	10176	1:35
711	10277	1:30
212	10147	1:20
415	10319	1:30
619	10138	1:20
520	10138	1:35
	Média	1:23

Da Tabela 27 retira-se o Gráfico 13.

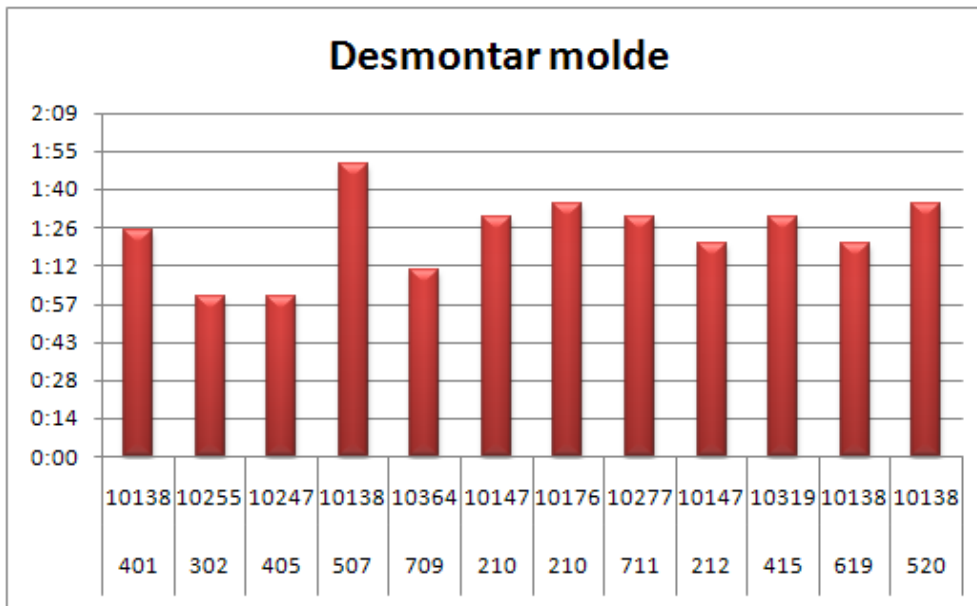


Gráfico 13 - Tempos de desmontagem monitorizados

A Tabela 19 do capítulo 5 apresenta o tempo médio de desmontagem cronometrado antes de se efectuar o processo de implementação, que era de 1:38 (h:m).

Comparado este tempo inicial com o novo tempo médio monitorizado (Tabela 27), de 1:23 (h:m), verificamos que houve um decréscimo de 15 minutos (15,3 %) na operação de desmontagem.

Após a operação de desmontagem, apresenta-se a Tabela 28 com os tempos de montagem monitorizados.

Tabela 28 - Tempos de montagem monitorizados

Montar Molde		
Máquina	Molde	Delta (h:m)
401	10292	2:00
302	10319	2:15
405	10292	2:50
507	10247	2:30
709	10398	2:30
210	10279	1:40
210	10322	1:50
711	10382	2:40
212	10176	1:30
415	10223	1:50
415	10376	1:40
619	10277	2:15
520	10276	2:40
	Média	2:10

Da Tabela 28 retira-se o Gráfico 14.

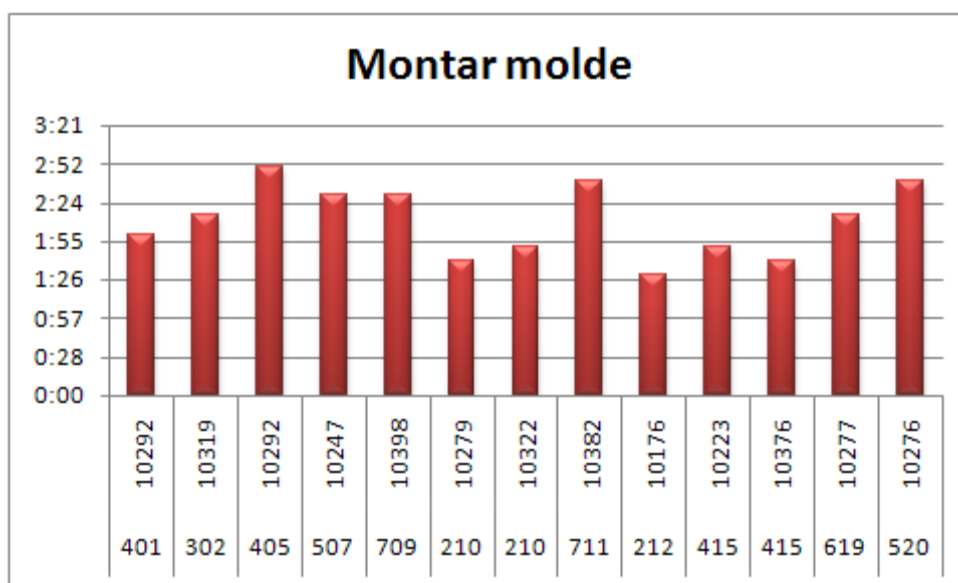


Gráfico 14 - Tempos de montagem monitorizados

Neste caso da operação de montagem, verificou-se que houve uma redução do tempo médio de 33,0 %, valor que é mais do dobro do atingido na operação de desmontagem. Comparando o tempo médio monitorizado da Tabela 28 com o tempo médio inicial de 3:14 (h:m) (Tabela 19), são agora gastos menos 54 minutos para se montar em média cada molde.

A Tabela 29 apresenta a comparação entre os tempos médios de troca de moldes antes e depois da implementação.

Tabela 29 - Comparação entre os tempos médios de troca de moldes

	Tempo médio pré-implementações	Tempo médio pós-implementações	Delta (h:m)	Delta (%)
Desmontar	1:38	1:23	0:15	15,3
Montar	3:14	2:10	1:04	33,0
Total	4:52	3:33	1:19	27,1

Da Tabela 29 surge o Gráfico 15.

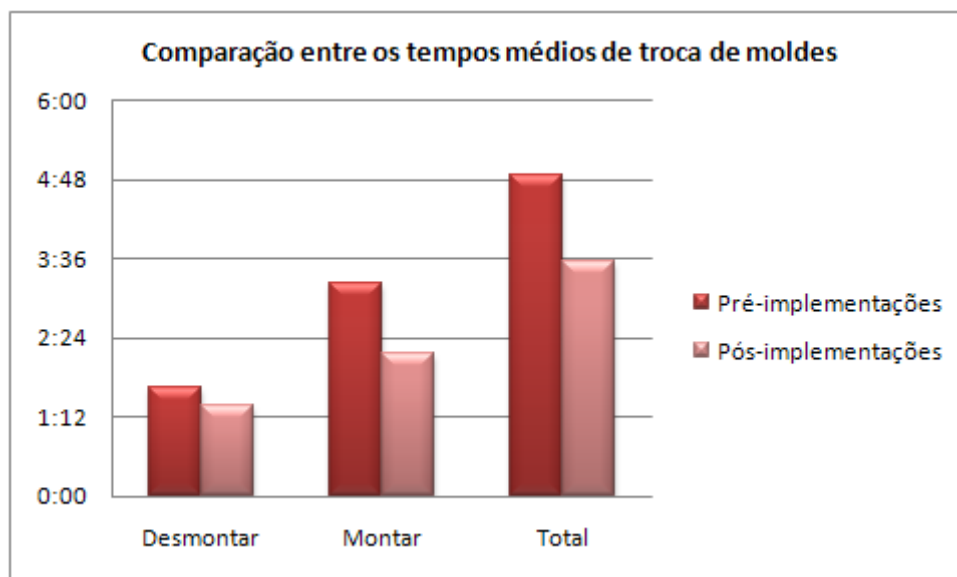


Gráfico 15 - Comparação entre os tempos médios de troca de moldes

Observando com atenção o Gráfico 15, constata-se que as melhorias implementadas se reflectem nos resultados alcançados. É notório um decréscimo global no tempo médio de troca de moldes. A operação de montagem foi a que mais beneficiou com a organização e preparação atempada do *setup* das máquinas. Era nesta, que se esperavam as grandes melhorias, e tal aconteceu.

O decréscimo de cerca de 30 % do tempo total de desmontagem e montagem demonstra o bom caminho que o trabalho tomou, apesar de esta amostra de monitorização ser pequena no universo total de mudanças apresentadas na Matriz “*Tempos de mudança de moldes – Máquina / Molde – Desmontar e Montar*”.

6.4.1 Relação entre o novo tempo médio de *setup* e o custo médio de utilização das máquinas

Tal como aconteceu no capítulo 5, após o levantamento dos tempos de *setup* da base de dados (1), apresenta-se de seguida a relação entre o novo tempo médio de *setup* e os custos de utilização das máquinas, que nos permite concluir quanto a empresa passa a poupar com as implementações.

Utilizando o valor final da Tabela 21 do capítulo 5, que é o custo médio de utilização das máquinas de fundição da Sonafi por hora (179,06 €/h), faz-se a sua relação com o novo tempo médio de *setup* das máquinas.

Novo custo médio de <i>setup</i>
635,67 €

Comparando este valor com o custo médio inicial de *setup* apresenta-se a Tabela 30.

Tabela 30 - Custo médio do *setup* pré-implementações VS Pós-implementações

	Custo médio de <i>setup</i>
Pré-implementações	871,43 €
Pós-implementações	635,67 €

Da Tabela 30 surge o Gráfico 16.

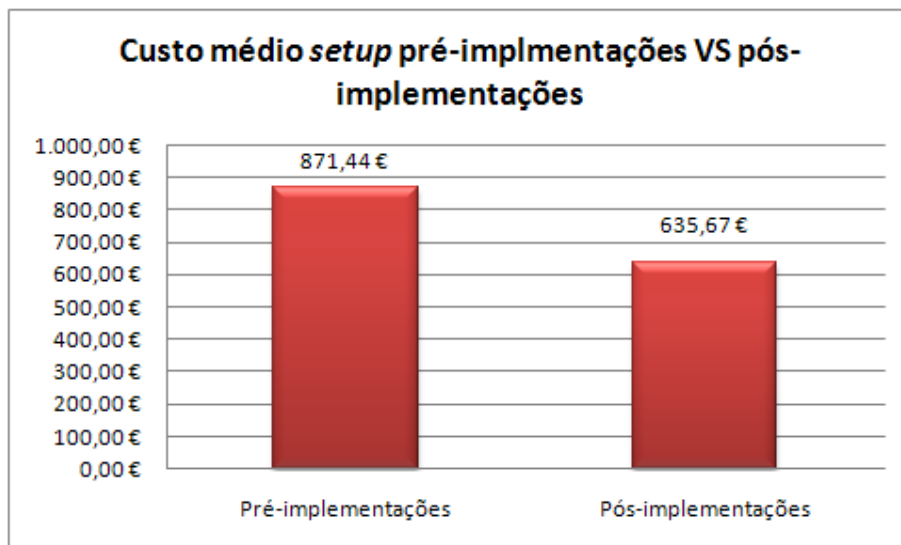


Gráfico 16 - Custo médio do *setup* pré-implementações VS pós-implementações

Analisando ao detalhe a Tabela 30 e o Gráfico 16 é perceptível que as melhorias implementadas tiveram um reflexo positivo nos gastos com o tempo inoperante das máquinas.

Houve uma redução de 871,47 € para 635,67 €, cerca de 27 % no custo médio de *setup*.

Tendo em conta que se realizam em média 4 trocas de moldes por semana pode-se constatar que:

- O custo médio semanal de setup passou de 3485 € para 2542 €;
- O custo médio mensal de setup passou de 13943 € para 10170 €;
- O custo médio anual de setup passou de 167316 € para 122049 €.

7 Conclusão

O trabalho desenvolvido, na Sonafi, ao longo dos quatro meses de estágio curricular, permite chegar a conclusões bem explícitas de quanto um sistema organizacional bem definido pode beneficiar uma empresa.

O sistema de troca de moldes encontrado inicialmente na instituição revelava-se pouco eficaz, apresentando inúmeras falhas na forma como era preparado e conduzido. Isto acontecia numa temporada em que a competitividade dos preços apresentados ao cliente tinha que ser explorada ao máximo, na esperança de que estes se mantivessem fiéis ao seu fornecedor e não procurassem condições mais apetecíveis noutros competidores directos da Sonafi.

O desperdício de tempo produtivo tem como consequência directa a não geração de produto que por sua vez trava o aumento de valor acrescentado, ou seja, quanto mais tempo as máquinas de fundição se encontrassem inactivas para se proceder à troca de moldes, menos tempo se encontravam em produção e consequentemente menos valor acrescentado traziam.

Havia a consciência, no Departamento de Engenharia de Produção, que o tempo despendido usualmente para se efectuar uma troca de moldes era elevado. Após os estudos realizados e apresentados no capítulo 5, obteve-se a confirmação do facto. A intervenção era inevitável, visto que a partir deste momento havia provas que o confirmavam. Fez-se uma análise à base de dados interna, de onde se retiraram tempos registados de troca de moldes. Posteriormente e ainda numa fase de pesquisa, assistiram-se a diversas mudanças de moldes onde foram cronometradas e registadas todas etapas do processo. A primeira relação entre tempos despendidos com os *setups* das máquinas e os seus custos associados foi realizada ainda durante esta fase de pesquisa, já com o intuito de ser confrontada com a mesma relação numa fase pós-implementações.

No capítulo 3 apresentam-se os fundamentos teóricos, nos quais o trabalho de pesquisa e implementação estão baseados. O conceito “Troca Rápida de Ferramentas” foi usado, seguindo-se toda a sua metodologia de pesquisa e acção.

Após a percepção de que a grande fatia do problema estava relacionada com questões de organização e preparação dos *setups* e não, como se possa pensar numa primeira abordagem, com as capacidades e instrução dos colaboradores para realizarem a tarefa, entendeu-se que este seria o problema a analisar. Foram criados os *check-lists* de preparação e modo operativo, assim como o “Relatório de troca de moldes” que contemplavam as soluções propostas para as falhas encontradas.

Elaboraram-se experiências piloto com a nova metodologia de trabalho. Compararam-se os resultados com os obtidos na primeira fase de pesquisa, saltando logo à vista o sucesso das implementações. Confrontou-se a relação entre tempos despendidos com os *setups* das máquinas e os seus custos associados após as implementações com a relação inicial e o decréscimo de cerca de 30% é bem expressivo.

Finalmente, propôs-se a criação da Matriz “*Tempos de mudança de moldes – Máquina / Molde – Desmontar e Montar*” (ANEXO D), que é o culminar do trabalho desenvolvido ao longo do Estágio Curricular. É um trabalho para ser terminado a médio prazo, visto tornar-se impossível o seu preenchimento total em tempo útil de estágio.

8 Bibliografia

1. <http://ext-server/intranet/>. *Intranet Sonafi*.
2. **Thyssen**. Catálogo Thyssen. 1997.
3. **Buhler-Miag**. *Livro Técnico Buhler-Miag*.
4. **Sonafi, S.A.** *Caderno de Encargos de Moldes, Departamento Técnico Comercial*. 2006.
5. **Shingo, S.** *Sistemas de produção com estoque zero*. Porto Alegre : Bookman, 1996.
6. **Ohno, T.** *Sistema Toyota de produção*. Porto Alegre : Bookman, 1997.
7. **Antunes Junior, J. A. V.** *A teoria das restrições como balizadoras das acções visando a troca rápida de ferramentas*. s.l. : Revisão Produção, 1993.
8. **Womack, J. P., Jones D. T., Roods D.** *A máquina que mudou o mundo*. Petrópolis : Editora Vozes Ltda., 1996.
9. **Miyake, D.I.** *The JIT, TQC and TPM paradigms: contributions for planning integrated applications in manufacturing firms. Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (P.H.D.)*. Tokyo, Japan : Department of Industrial Engineering and Management Tokyo Institute Technology, 1998.
10. Klippel Consultores Associados. <http://www.klippel.com.br>. [Online]
11. **Amato Neto, J.** *Gestões de operações*. São Paulo : s.n., 1998.
12. **Vokurka, J. R. e Rhonda, R. L.** *The role of just-in-time in supply chain management*. s.l. : The international journal of logistics management, 2000.
13. **Davis, M. M.** *Fundamentos da administração da produção*. Porto Alegre : Artmed, 2001.
14. **Tubino, D.F.** *Manual de planejamento e controle da produção*. São Paulo : Atlas, 2000.
15. **Slack, N.** *Administração da produção*. São Paulo : Atlas, 1999.
16. **Peinado, J.** *O papel do sistema de abastecimento Kanban na redução dos inventários*. Curitiba : Rev. FAE, 1999.
17. **Martil, A.D.** *Ciclo operacional da gestão de materiais e logística*. 2006.
18. **Minadeo**. JIT. <http://www.geocities.com/minadeo/TGA/jit.htm>. [Online] [Citação: 19 de Março de 2009.]
19. **Mondem, Y.** *O sistema Toyota de produção*. São Paulo : IMAM, 1983.
20. **Hay, E.J.** *Any machine set-up time can be reduced 75%*. s.l. : Industrial Engineering, 1987.
21. **Kannenber, G.** *Proposta de sistemática para implantação de Troca Rápida de Ferramentas - Dissertação de Mestrado em Engenharia da Produção*. Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.
22. **Black, J.T.** *O projecto da fábrica com futuro*. Porto Alegre : Bookman, 1998.
23. <http://paginas.fe.up.pt/fundicao/>. *Página da FEUP dedicada à fundição injectada*.

24. **Nuno Lourenço, Rui Moura.** *Fundição Injectada.* s.l. : FEUP, 2001.

25. **al, Culley et.** 2001.

ANEXO A:

“Estudo provisório do pistão de Ø 70 mm (desenho técnico)”

ANEXO B:

***“Estudo provisório da vara porta-pistões para as máquinas de 200T
(desenho técnico)”***

ANEXO C:

***“Estudo provisório da vareta de refrigeração para as máquinas de
200T (desenho técnico)”***

ANEXO D:

**Matriz “*Tempos de mudança de moldes – Máquina / Molde –
Desmontar e Montar*”**