

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

HECTOR CARLO BOSSO

PROPOSTA PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP DE UMA MÁQUINA
INJETORA DE CÂMARA FRIA EM UMA FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO

São Paulo

2014

HECTOR CARLO BOSSO

PROPOSTA PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP DE UMA MÁQUINA
INJETORA DE CÂMARA FRIA EM UMA FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO

Trabalho Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Tecnologia
de São Paulo, como requisito parcial
para obtenção do título de Tecnólogo em
Materiais.

Orientador: Prof. Me. Daniel Cirillo Marques

São Paulo

2014

HECTOR CARLO BOSSO

PROPOSTA PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP DE UMA MÁQUINA
INJETORA DE CÂMARA FRIA EM UMA FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO

Trabalho de Graduação aprovado como
requisito parcial para a obtenção do título
de Tecnólogo em Materiais da Faculdade
de Tecnologia de São Paulo.

Aprovado em onze de novembro de 2014

BANCA EXAMINADORA

Antonio Lopes de Miranda – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Daniel Cirillo Marques – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Marcos Roberto Nascimento – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Dedico este trabalho à minha mãe, avó e bisavó e ao meu pai, por serem os verdadeiros alicerces em minha vida, pessoas pelas quais devo meus feitos e educação.

Agradecimentos

Agradeço a meus pais Carlos Alberto Bosso e Martha Christina Bosso por serem os verdadeiros responsáveis pela realização deste estudo e por me ensinarem diariamente como dar continuidade no trabalho que eles um dia iniciaram. À minha avó Herondina Maria e à minha bisavó Arminda Albertina por fazerem parte de todos meus feitos em vida e me ensinarem coisas que livro algum ensinará.

Agradeço à empresa Alboss, por permitir a realização do estudo em suas dependências e cooperarem de todas as formas para o sucesso do trabalho.

Agradeço à professora Regina Maria Ricotta, por sempre ter primado pela qualidade do curso de Tecnologia de Materiais da FATEC SP, independentemente das adversidades existentes. À professora Lilian Satomi Hanamoto, por ter sido um divisor de águas em minha vida acadêmica. Ao professor Daniel Cirillo Marques, por, além de ter sido um professor e orientador, revelado-se um grande amigo, presente em momentos de lazer além das aulas na faculdade. Aos meus dois parceiros de curso Vitor Inoue Kurusu e André Vinicius Murano, por terem, por três anos, feito parte da minha graduação e cooperado para que nos tornássemos os melhores alunos do curso de Materiais, enfrentando com destreza todos os obstáculos do mesmo e concluindo-o com proficiência.

RESUMO

A fundição sob pressão do alumínio trata-se de um processo produtivo que, devido à grande abrangência de seu uso em diversos segmentos da indústria, mostrou necessária a procura por redução em seus custos produtivos. A troca de moldes é uma das variáveis presentes neste processo, que, se mal realizada, pode elevar os tempos de máquina parada e, conseqüentemente, diminuir a produtividade de uma célula. O objetivo deste trabalho foi reduzir o tempo da troca de moldes de uma máquina injetora de câmara fria de alumínio em uma fundição sob pressão. O trabalho se deu pela análise do *setup* na célula antes de qualquer modificação no processo, seguida pela proposta e implantação de melhorias e posterior análise do *setup* mediante as modificações e melhorias implantadas. Inicialmente, foram coletadas informações para o início do trabalho na empresa, como o planejamento de produção do mês em questão. Foi selecionada uma máquina injetora para ser analisada por um determinado período de tempo, definindo moldes com características semelhantes para as operações de *setup*. A análise dos *setups* consistiu em cronoanálises, segregando o tempo entre cada operação e anotações referentes aos problemas observados em cada operação. Analisando os resultados obtidos mediante as cronoanálises feitas, a redução de *setup* alcançada neste estudo foi de 54,14% ou 16:53 minutos.

Palavras-chave: Fundição sob pressão. Setup. Troca de moldes. Cronoanálise.

ABSTRACT

The aluminium die casting is a process that, due to the big comprisement of its use in many segments of the industry, showed necessary the look for the reduction in its productive costs. The mold change, the setup, it's one of the variables present in this productive process, which, if poorly performed, may elevate the times of stopped machine and, consequently, reduce the productivity of a cell. The objective of this research was to reduce the setup time of a cold chamber die casting machine in a foundry. The present work occurred by the analysis of the setup in a cell before the application of any modification in the process, followed by the purpose and implantation of improvements and subsequent analysis of the setup with the modifications applied. Initially, pieces of information were collected for the start of the work in the factory, such as the production plan of the present month. A cold chamber die casting machine was selected to be analyzed for a determined period of time, defining molds with similar characteristics for the setup operations. The analysis of the setups consisted in chronoanalysis, segregating the time spent in each operation and notes about the problems noticed during the process. Analyzing the results obtained from the chronoanalysis made, the setup time reduction reached in this study was of 54,14% or 16:53 minutes.

Keywords: Die casting. Setup. Mold changing. Chronoanalysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Peças injetadas em alumínio manufaturadas pela empresa estudada	3
Figura 2 – Etapas do processo de fundição sob pressão.....	8
Figura 3 - Representação do ciclo de injeção e ponto de início de suas fases	10
Figura 4 - Molde já colocado na máquina injetora.....	16
Figura 5 – Ciclo de injeção numa injetora IDRA 7000.....	18
Figura 6 - Componentes do dispositivo mecânico de fechamento de uma máquina injetora	19
Figura 7 – Representação de máquina de câmara quente	20
Figura 8 – Representação de máquina de câmara fria	21
Figura 9 – Bases para a implantação do SMED.....	31
Figura 10 – Sequência de um <i>setup</i> na produção e prestação de serviços	32
Figura 11 - Célula de produção estudada (Máquina injetora de câmara fria).....	37
Figura 12 – Exemplo de molde utilizado nos <i>setups</i> estudados.....	38
Figura 13 - Comparação entre os tempos médios consumidos em cada operação..	47
Figura 14 – Garra de fixação sustentada por calço.....	49
Figura 15 – Mesa de ferramentas desorganizada	50
Figura 16 - Ciclo do sistema de cartões de <i>setup</i>	55
Figura 17 - Representação 1 do painel de <i>setup</i>	56
Figura 18 - Representação 2 do painel de <i>setup</i>	57
Figura 19 - Representação 3 do painel de <i>setup</i>	57
Figura 20 - Garra de fixação com nivelador acoplado.....	59
Figura 21 - Mesa de ferramentas devidamente organizada	60
Figura 22 – Local para a disposição dos moldes usados na máquina	60

Figura 23- Painel de <i>setup</i>	61
Figura 24 - Comparação entre os tempos médios consumidos em cada operação interna	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos de liga para algumas das ligas de alumínio aplicadas ao processo de injeção	6
Tabela 2 – Comparação de parâmetros entre diferentes tipos de manufatura	13
Tabela 3 - Cronoanálise do <i>setup</i> 1A	41
Tabela 4 - Cronoanálise do <i>setup</i> 2A	42
Tabela 5 - Cronoanálise do <i>setup</i> 3A	43
Tabela 6 - Cronoanálise do <i>setup</i> 4A	44
Tabela 7 - Cronoanálise do <i>setup</i> 5A	45
Tabela 8 - Tempos consumidos em operações e suas médias.....	46
Tabela 9 – Proposta de nova ordem de procedimentos para a operação de <i>setup</i> ..	53
Tabela 10 - Cronoanálise do <i>setup</i> 1B	62
Tabela 11 - Cronoanálise do <i>setup</i> 2B	63
Tabela 12 - Cronoanálise do <i>setup</i> 3B	64
Tabela 13 - Cronoanálise do <i>setup</i> 4B	65
Tabela 14 - Cronoanálise do <i>setup</i> 5B	66
Tabela 15 - Tempos consumidos nas operações internas e suas médias	67
Tabela 16 - Comparação entre o tempo de <i>setup</i> antes e após a implantação das melhorias.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS

<i>JIT</i>	<i>Just in Time</i>
TRF	Troca Rápida de Ferramentas
<i>WIP</i>	<i>Work in Progress</i>
<i>EOQ</i>	<i>Economic Order Quantity</i>
<i>TPM</i>	<i>Total Productive Maintenance</i>
<i>TPS</i>	<i>Toyota Production System</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Apresentação do trabalho	1
1.2	A empresa.....	2
1.3	Objetivo	3
1.4	Organização do trabalho	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Historia da fundição sob pressão.....	5
2.1.1	Aplicações da fundição sob pressão	5
2.2	O processo de fundição do alumínio sob pressão	7
2.2.1	Fases de injeção.....	8
2.2.2	Defeitos em peças injetadas.....	10
2.2.3	As vantagens e desvantagens da fundição sob pressão.....	12
2.3	Moldes para fundição sob pressão	13
2.4	Máquinas utilizadas na fundição sob pressão.....	17
2.4.1	Máquinas de câmara quente	20
2.4.2	Máquinas de câmara fria	21
2.5	Manufatura enxuta (<i>Lean manufacturing</i>)	21
2.5.1	Ferramentas da Manufatura enxuta.....	24
2.5.2	Tipos de desperdício segundo a manufatura enxuta	25
2.5.3	A troca rápida de ferramentas	28

3	METODOLOGIA	36
3.1	Planejamento experimental.....	36
3.2	Materiais e métodos.....	38
3.2.1	Materiais	38
3.2.2	Métodos.....	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
4.1	Situação vigente.....	41
4.2	Problemas identificados ao longo dos <i>setups</i> realizados.....	47
4.3	Proposta de soluções para os problemas e melhorias no processo	50
4.4	Implantação das melhorias propostas e situação da empresa após as mesmas	58
5	CONCLUSÕES	70
6	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	71
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do trabalho

Componentes de ligas de alumínio para diversas aplicações são produzidos em massa usando um processo de produção chamado de fundição sob pressão. Neste processo, o alumínio fundido é injetado em altas pressões para dentro da cavidade de um molde, para preenchê-lo, e então solidificar-se, dando origem a uma peça com formato específico. Além disso, o custo desse tipo de manufatura é um componente importante, determinando a viabilidade econômica do processo [1]. A fundição sob pressão é o método mais eficiente em termos de custo e técnica para moldar sofisticadas e precisas partes de ligas não ferrosas de baixo ponto de fusão em largas escalas de produção [2]. Assim como em outros processos de produção, a injeção também usa-se de ferramentas, os denominados moldes, para realizar a conformação das peças.

Pelo fato do processo ser caro e consumir tempo, é freqüentemente um fator limitante na condução para reduzidos tempos de mercado para o desenvolvimento de novos produtos [1].

As organizações mais bem sucedidas no mercado são aquelas que atendem às reais necessidades dos seus clientes. A competitividade entre as organizações fez com que as empresas investissem em melhorias nos seus processos produtivos como, por exemplo, a mecanização. Com a diversificação dos produtos, materiais usados para fabricação e a concorrência houve a necessidade de investir em equipamentos que produzissem vários tipos de peças. Então foram criadas ferramentas para serem compartilhadas nas máquinas. A substituição destas ferramentas é denominada de *setup* ou troca de ferramenta. Muitas empresas, para fugirem dos *setups*, buscaram trabalhar apenas com a produção em grandes lotes e com pouca variação na demanda. Para aquelas organizações que atendem às variações de mercado, é importante ter tempos de *setup* reduzidos, para isto é preciso produzir em pequenas quantidades. Quanto mais diversificada a quantidade de itens a serem produzidos, maiores são as quantidades de *setups* [3].

“*Setup* são todas as tarefas necessárias desde o momento em que se tenha completado a última peça do lote anterior até o momento em que, dentro do

coeficiente normal de produtividade, se tenha feita a primeira peça do lote posterior”.
[4]

Tendo em vista a necessidade de produzir uma grande variedade de peças usando-se de um processo de produção relativamente complexo, somado às exigências de mercado quando aos tempos de produção, este trabalho teve como intuito analisar e reduzir os tempos de *setup* em uma máquina injetora – máquina utilizada no processo de fundição sob pressão – ou seja, o tempo entre as trocas de molde usadas neste processo de produção.

1.2 A empresa

Localizada em Guarulhos, na cidade de São Paulo, a empresa atua no setor de fundição sob pressão de metais não ferrosos desde 1996, produzindo peças injetadas em alumínio e zamac. Atualmente a empresa contém 13 máquinas injetoras de câmara fria, com capacidades de fechamento de 180 a 450 toneladas, estando apta a produzir peças injetadas de 0,05kg a 5kg. A fábrica dispõe de ferramentaria própria e é certificada pela ISO9001:2008.

A empresa produz produtos destinados a diversos segmentos da indústria nacional, como eletroeletrônica, utensílios domésticos, equipamentos pneumáticos, iluminação, implementos agrícolas, telecomunicações, informática, moveleiro, náutica, elevadores e componentes de segurança. Em segmentos da indústria internacional, são produzidos produtos para o setor automobilístico e, principalmente, automação e movimentação.



Figura 1 – Peças injetadas em alumínio manufaturadas pela empresa estudada
Fonte: Empresa estudada (2014)

1.3 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho foi reduzir ao máximo o tempo de *setup* de moldes numa máquina injetora de câmara fria de alumínio de 180 toneladas de capacidade de fechamento.

Foram definidos os seguintes parâmetros para a realização do trabalho:

- Cronoanálise dos *setups* na condição vigente da empresa;
- Definição das operações realizadas nos *setups* atuais;
- Identificação de todos os problemas existentes nas operações de *setup* atuais;
- Proposta e implantação de melhorias para os problemas identificados;
- Cronoanálise dos *setups* após a implantação de melhorias.

1.4 Organização do trabalho

O presente trabalho foi dividido em 6 capítulos, organizados da seguinte maneira:

O capítulo 1 introduz o trabalho, apresentando detalhes sobre a empresa estudada, o objetivo do trabalho e sua organização.

O capítulo 2 engloba toda a revisão bibliográfica referente ao assunto estudado, contendo informações sobre o processo de fundição sob pressão e suas características e sobre a manufatura enxuta e suas ferramentas, incluindo a operação de *setup*, tema central do trabalho.

O capítulo 3 contém o planejamento experimental, materiais e procedimentos utilizados ao longo do trabalho.

O capítulo 4 contempla todos os resultados obtidos após os experimentos realizados e as discussões para o estudo de melhorias nas operações de *setup*.

O capítulo 5 apresenta todas as conclusões referentes aos experimentos realizados e seus respectivos ganhos mediante a implantação das melhorias propostas.

O capítulo 6 apresenta sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Historia da fundição sob pressão de alumínio

O processo de fundição sob pressão de alumínio é o que mais se destaca dentre os processos de fundição deste metal, sendo durante muito tempo restrito a utensílios domésticos, componente de eletrodomésticos e de equipamento de escritório. Na década de 70, com a crise do petróleo, as indústrias automotivas foram obrigadas a buscar alternativas para tornar os carros mais leves, consumindo menos combustível, sendo as ligas de alumínio uma boa opção por possuir o peso bem menor do que o aço. Inicialmente as peças em ligas de alumínio se restringiam a aplicações de menor importância na indústria automotiva, como frisos, suportes e maçanetas, mas atualmente já vem sendo utilizada em aplicações mais críticas como blocos de motores [2].

A fundição sob pressão é o método mais eficiente em termos de custo e técnica para moldar sofisticadas e precisas partes de ligas de alumínio em largas escalas de produção [5]. As peças produzidas neste processo são atualmente vistas como componentes de engenharia inovadora, que possibilitam redução de custos em processos posteriores e redução de peso. Dentre os processos de moldagem do alumínio, a fundição sob pressão é o processo mais utilizado globalmente, contabilizando cerca de 70% da produção de peças fundidas em alumínio [2].

2.1.1 Aplicações da fundição sob pressão

A moldagem por fundição sob pressão está largamente sendo usada devido às suas altas capacidades de injeção e bom desempenho. A injeção, outro termo que este processo recebe, é freqüentemente aplicada para peças leves, especialmente para as com componentes de paredes finas com corpo complexo, por causa de sua excelente capacidade de moldagem [6]. Este processo, ainda, permite obter peças de excelente acabamento e precisão, podendo até eliminar processos de usinagens posteriores [7].

Neste processo, os próprios equipamentos, materiais e procedimentos utilizados atingiram um nível de desenvolvimento muito elevado, que, para a maioria

dos autores, constitui o processo de fundição com o qual é possível obter produtos com o maior grau de precisão, associado à mais elevada cadência de produção, dentre todos os processos de fundição existentes [8]

As maiorias dos metais utilizados são não ferrosos, especialmente zamac, cobre, alumínio e magnésio. Peças fundidas são caracterizadas por um excelente acabamento de superfície e consistência dimensional [9].

Na empresa estudada, por exemplo, são fabricadas peças nas ligas de alumínio SAE 305, 306 e 383. As propriedades das ligas de alumínio comerciais dependem da quantidade de magnésio, cobre, silício, cromo e outros elementos de liga presentes nelas. As propriedades são também influenciadas pela técnica de manufatura e o tratamento térmico empregado [6]. A tabela abaixo mostra a proporção dos elementos de liga presentes nas ligas de alumínio produzidas pela empresa estudada:

Tabela 1 - Elementos de liga para algumas das ligas de alumínio aplicadas ao processo de injeção [10]

Norma		Elementos de liga (%)										
SAE	ANSI	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti	Outros
305	A413.0	11.0 - 13.0	1.3	1.0	0.35	0.10	-	0.50	0.50	0.15	-	0.15
306	A380.0	7.5 - 9.5	1.3	3.0 - 4.0	0.50	0.10	-	0.50	3.0	0.35	-	0.50
383	383.0	9.5 - 11.5	1.3	2.0 - 3.0	0.50	0.10	-	0.30	3.0	0.15	-	0.50

Os principais setores que usam-se de peças injetadas em alumínio são:

- Iluminação;
- Equipamentos domésticos;
- Automação;
- Automobilística e aeronáutica;

- Eletroeletrônica;
- Componentes mecânicos em geral.

2.2 O processo de fundição do alumínio sob pressão

O processo de fundição sob pressão é um processo em que, basicamente, a liga fundida é preenchida, sob alta pressão, para dentro de um molde, com alta velocidade, dando origem a uma peça com o formato da cavidade preenchida [11]. Trata-se de um processo de manufatura extremamente complexo, composto por mais de 1050 parâmetros [12].

A cavidade do molde é criada usando dois blocos de aço que compõe um molde (formato da peça) ao serem unidos, trabalhando em conjunto com a injeção do material líquido durante o processo [9]. O processo é automatizado, garantindo fechamento, pressão do líquido, abertura do molde e ejeção da peça por pinos ejetores [13].

Numa típica máquina injetora de câmara fria, o metal líquido é vazado na câmara de injeção, por uma concha. Após as placas do molde fecharem-se, um movimento de uma haste conduz um pistão que força o metal para dentro da cavidade - resultado do contato entre a parte móvel e fixa do molde - sob alta pressão. As máquinas injetoras permitem que o movimento da haste seja completo em três estágios. Um pistão inicialmente começa com uma velocidade baixa, então a velocidade aumenta conforme o pistão movimenta-se para a direção do molde e a velocidade diminui no final, quando boa parte do metal líquido está injetada na cavidade do molde [12].

O molde é então aberto e a parte solidificada é ejetada e extraída por um braço robótico ou manualmente. O molde é lubrificado com um líquido lubrificante, denominado desmoldante, existem também alguns pós-lubrificantes. A função do desmoldante é facilitar a extração da peça e evitar o agarramento da mesma com a superfície da cavidade do molde. A peça extraída pode ser resfriada para um próximo tratamento ou teste de controle de qualidade [12].

Para as duas ligas mais utilizadas em fundição sob pressão – alumínio e zamac – existem diferentes temperaturas de processo, estas temperaturas

acompanham as temperaturas de fusão, mais um acréscimo para manutenção pela perda durante o ciclo, favorecendo sua utilização [7].

A figura ilustra as etapas do ciclo do processo de injeção, onde, com o molde fechado, o metal líquido é vazado na câmara de injeção alojada na parte fixa do molde (Fig. 2a), o pistão executa a primeira fase de injeção (Fig. 2b), a segunda (Fig. 2c), e então, a terceira fase de injeção (Fig. 2d) e após a abertura do molde (Fig. 2e) a peça é extraída por pinos localizados na parte móvel do molde (Fig. 2f) [2].

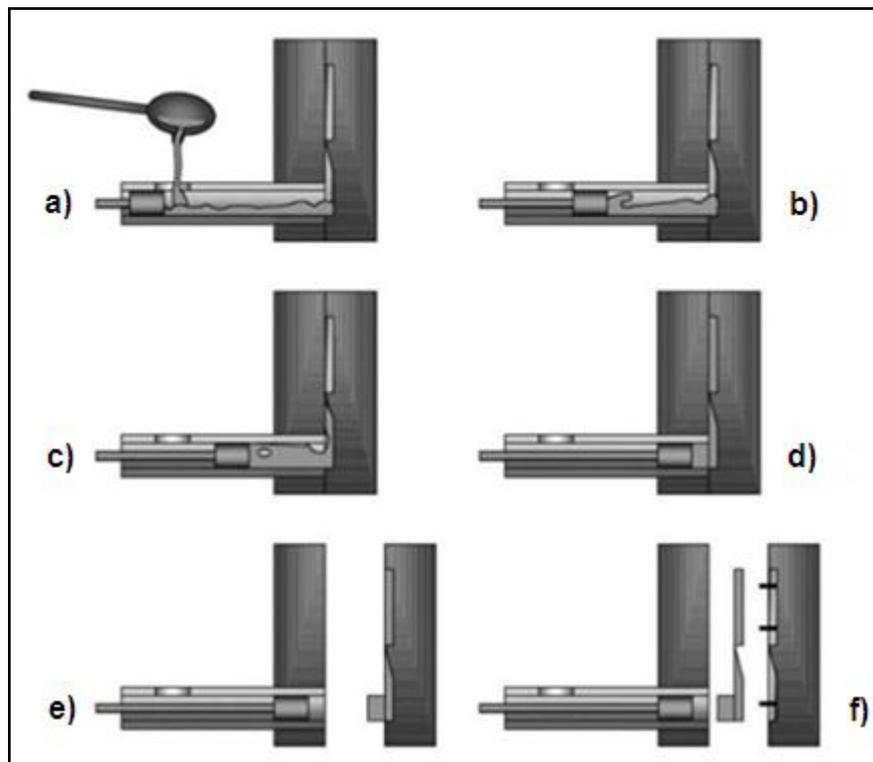


Figura 2 – Etapas do processo de fundição sob pressão [2]

2.2.1 Fases de injeção

O processo de fundição sob pressão é dividido em três fases de injeção [2]:

Primeira fase de injeção:

É a fase de aproximação do pistão de injeção, em baixa velocidade, para permitir a saída dos gases e ar do interior da câmara. A primeira fase termina quando todo o volume hidráulico da câmara está ocupado pelo metal líquido. Os parâmetros estabelecidos nesta fase são o curso e a velocidade, sendo o curso relativo ao volume de metal líquido e as dimensões da câmara de injeção, e a velocidade relacionada à porcentagem de enchimento da câmara com o metal líquido e de relações fluido dinâmicas durante o movimento do pistão de injeção para evitar a formação de ondas.

Segunda fase de injeção:

É o curso restante do pistão, onde o metal líquido preenche a cavidade do molde com maior velocidade imediatamente após o término da primeira fase de injeção. Os parâmetros estabelecidos nesta fase também são o curso e a velocidade, sendo o curso resultante do curso total da câmara de injeção subtraído do curso da primeira fase de injeção, e a velocidade se dá em função da espessura das paredes e a complexidade da peça fundida.

Terceira fase de injeção ou pressão de recalque:

É a pressão exercida pelo pistão de injeção sobre o metal líquido após o preenchimento total da cavidade do molde com função de impedir a expansão dos gases e compensar a contração do metal. A pressão específica aplicada é função da qualidade que se pretende no produto final, sendo exigidas maiores pressões para peças que exigem estanqueidade ou possuem funções estruturais. Outro parâmetro relacionado à terceira fase de injeção é o tempo de início, que deve ser imediatamente após o preenchimento do molde, pois caso ocorra demora, o material já terá se solidificado e a pressão não resultará em melhora alguma na peça.

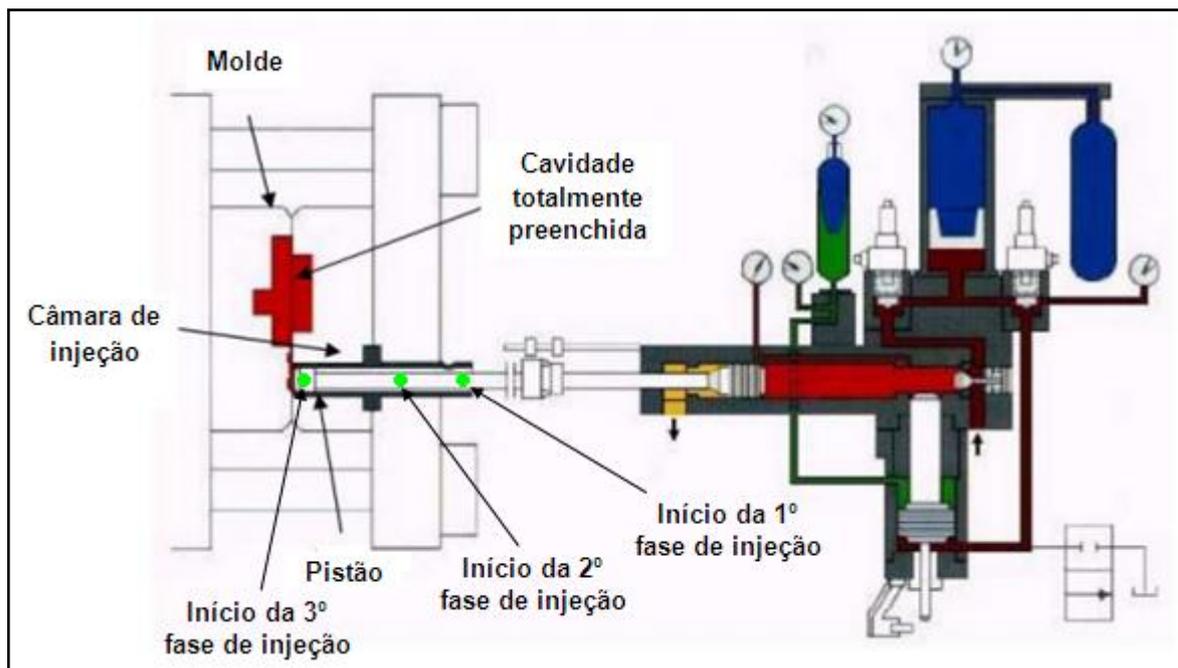


Figura 3 - Representação do ciclo de injeção e ponto de início de suas fases – ADAPTADO de [2]

2.2.2 Defeitos em peças injetadas

A complexidade desse processo de conformação por injeção resulta em defeitos, se configurado imprópriamente. Por outro lado, encontrar a configuração ideal é uma tarefa não trivial, pois eliminando um dos defeitos pode resultar na ocorrência de outros. A indústria geralmente tenta eliminar os defeitos pela tentativa e erro, o que pode ser difícil e caro, dependendo do conhecimento do preparador de máquinas e o tempo que este levará para configurar a máquina corretamente [12].

Peças injetadas falham por causa do número de diferentes parâmetros operacionais. Esses parâmetros são de dois tipos básicos: parâmetros oriundos da manufatura do molde e parâmetros oriundos da turbulência do processo [5].

Os possíveis defeitos em peças injetadas são [14]:

1 – *Junta fria*: é o encontro de duas frentes de metal líquido que não se fundem completamente em função da baixa temperatura em que se encontram ou em função da presença de resíduos.

2 – *Porosidade*: são vazios que se localizam nas partes internas do produto injetado, podendo ser provenientes do acúmulo de gases ou por conta da contração do material.

3 – *Aderência*: é o defeito onde o metal adere firmemente no molde ou em machos após a solidificação, sendo necessária sua remoção através de polimentos.

4 – *Trincas*: são descontinuidades no produto que comprometem sua utilização posterior. As trincas são geradas por movimentações de componentes móveis do molde durante sua abertura ou mesmo extração do produto.

5 – *Chupagens e rechupes*: são vazios provocados pela contração do metal líquido durante sua solidificação. Sua ocorrência está associada às transferências de calor no molde e como se dá a alimentação da cavidade. Ocorre, preferencialmente, em regiões de maior espessura, após a solidificação dos canais de entrada, que, portanto, não tem como compensar essa contração de solidificação.

6 – *Bolhas*: são formadas pelo aprisionamento de gases próximos à superfície da peça, que, durante a solidificação, se concentram em pontos específicos.

7 – *Superfície marmorizada*: são manchas superficiais na peça provocadas pelo deslocamento do metal próximo à superfície da cavidade que se resfriam primeiro. Este deslocamento segue o fluxo do material que penetra na cavidade logo em seguida.

8 – *Incrustações*: são materiais estranhos presentes no produto devido às contaminações externas decorrentes da falta de procedimentos e cuidados operacionais durante as operações de limpeza, transporte e manuseio do metal líquido.

9 – *Peças incompletas*: é um defeito decorrente da ausência de material durante a injeção, não permitindo, portanto, o completo preenchimento da cavidade do molde.

10 – *Pinos quebrados*: são defeitos associados ao desgaste do molde.

11 – *Pinos extratores recuados*: é um defeito que normalmente provoca retrabalho, elevando custos de produção. Trata-se do momento em que o pino não completa seu curso, deixando um sobremetal na peça.

12 – *Empenamento*: são peças deformadas durante a extração do produto.

As variáveis que cooperam para o combate dos defeitos em peças injetadas são:

- Projeto adequado do molde;
 - Correta disposição dos canais de alimentação;
 - Componentes do molde em bom estado;
 - Número de cavidades coerente com o tamanho da peça.
- Matéria prima de qualidade;
 - Elementos de liga dentro do percentual proposto pela norma.
- Temperatura de vazamento do material;
- Uso adequado de desmoldantes e graxas ao longo dos ciclos;
 - Respeitar as quantidades de desmoldantes na cavidade do molde, irrigando pontos críticos e sempre engraxando machos de maior espessura.
- Ritmo de injeção rápido;
 - Garantir a manutenção correta da temperatura do molde.
- Parâmetros de regulagem de máquina;
 - Regular as velocidades de injeção e posições de início das mesmas conforme o tamanho da peça e a espessura de suas paredes.

2.2.3 As vantagens e desvantagens da fundição sob pressão

De acordo com MORO e AURAS [13], algumas das vantagens do processo são:

- Possibilidade de produção de peças mais complexas em relação ao molde permanente por gravidade;
- Possibilidade de peças com paredes mais finas;
- Alta produção e automatização no processo.

Algumas das desvantagens são [13]:

- Limitações de materiais;
- Limitação de peso e dimensões;
- A produção deve ser grande para compensar o custo do molde.

A comparação de nove parâmetros entre a manufatura por areia verde, Shell molding, cera perdida, molde permanente e injeção são apresentados na tabela 1.

Tabela 2 – Comparação de parâmetros entre diferentes tipos de manufatura – ADAPTADO de [13]

	Areia Verde	Shell Molding	Cera Perdida	Molde Permanente	Injeção
Tolerância dimensional	± 1,2 mm ± 3,8 mm	± 0,5 mm ± 5,0 mm	± 0,02 mm ± 3,8 mm	± 2,5 mm ± 7,5 mm	± 2,5 mm ± 12,5 mm
Custo relativo (grande quantidade)	Baixo	Médio alto	Muito alto	Baixo	Muito baixo
Custo relativo (pequena quantidade)	Muito baixo	Médio alto	Médio	Alto	Muito alto
Peso fundido	Ilimitado	250lb	100lb	100lb	75lb
Espessura mínima	2,5 mm	2,5 mm	1,6 mm	3,2 mm	0,8 mm
Acabamento superficial relativo	Regular	Bom	Bom	Bom	Muito bom
Facilidade de fundição de peça complexa	Média	Regular	Alta	Média	Alta
Facilidade de alteração de projeto	Alta	Razoável	Razoável	Baixa	Muito baixa
Ligas que podem ser fundidas	Ilimitada	Ilimitada	Ilimitada	Melhor base Al e Cu	Melhor base Al

2.3 Moldes para fundição sob pressão

A fundição sob pressão utiliza moldes metálicos permanentes onde se localizam as cavidades moldantes, também ditas cavidades de moldação; e têm duas variantes, uma de câmara fria, destinada aos metais de mais alta temperatura

de vazamento, como é o caso das ligas de alumínio, e outra de câmara quente empregue em ligas de magnésio e zinco [7].

O molde recebe uma força externa de origem hidráulica para propulsionar o metal para o interior da cavidade moldante, obtendo um cacho ou galho que contém nele a(s) peça(s) [7]. O molde pode apresentar mais de uma cavidade, possibilitando produzir mais de uma peça por ciclo. Estas ferramentas são capazes de confeccionar entre 50 mil e 1 milhão de injeções [13].

Um molde para injeção é muito complexo, este é dotado de placas porta matrizes, sistemas de arrefecimento e sistemas de controle de acionamento. Uma parte do molde fica geralmente fixa à máquina e a outra parte move-se hidraulicamente em conjunto com o sistema hidráulico da máquina, a denominada placa móvel [7].

Os moldes são feitos de aço – normalmente aços para trabalho a quente – que podem resistir às condições do processo para um longo período de tempo [1]. Os termos ‘vida do molde’ e ‘esperado mínimo tempo de vida do molde antes da falha’ seguem do processo induzido de desgaste. Os moldes devem estar aptos a produzirem peças repetidamente, com dimensões prescritas e bom acabamento de superfície, condizentes com a especificação do produto. Depois de algum uso, a cavidade do molde se desgasta notadamente, implicando na necessidade de uma reforma para atingirem os requisitos dimensionais e o acabamento de superfície necessário do componente sendo produzido [1].

Uma longa vida de molde é essencial para a produção econômica e eficaz de peças [4]. A reposição do molde é cara tanto em custo quanto em tempo de produção [4]. Uma das principais causas que determinam o tempo de vida do molde é a sua temperatura de trabalho, que aumenta durante o processo de repetição dos ciclos de injeção e propaga-se ao longo do molde, induzindo a um estresse térmico de fadiga na superfície do molde. [5].

As propriedades da moldagem são influenciadas pelo processo empregado e os materiais usados [15]. O tipo de molde usado no metal moldado depende fortemente do tipo de peça a ser produzida, a complexidade de sua superfície e a liga envolvida. A transferência de calor entre a peça solidificada e o molde é crítica para a alta qualidade de moldagem. Em adição, a transferência de calor entre a peça injetada e o molde é primariamente controlada pelas condições na interface da

cavidade do molde, como por exemplo possíveis tratamentos térmicos na ferramenta. Em geral, a quantidade de resfriamento depende da quantidade de calor transferida entre o metal fundido e o molde, as propriedades térmicas do metal, o tempo de solidificação (controlado pela geometria da peça) e as características físicas do molde [16].

Na empresa estudada, percebi que os moldes utilizados na injeção passam por têmpera. Moldes mais antigos tendem a ter o tratamento de nitretação, porém, aparentemente tal tratamento entrou em desuso devido ao alto custo e pequeno ganho em termos de desempenho.

O molde de injeção é uma unidade completa capaz de reproduzir formas geométricas através de cavidades que possuem os formatos e dimensões das peças desejadas. Algumas das partes que compõe o molde de injeção de duas placas são [17]:

- Bucha de injeção – função de possibilitar passagem do material para o canal de enchimento ou distribuição;
- Cavidade – espaço vazio onde é injetado material fundido;
- Pino extrator – função de extrair o moldado da placa móvel;
- Macho – componente que gera espaços vazios na peça.

Para projetar um molde de injeção deve analisar-se os seguintes parâmetros [17]:

- Produto;
- Matéria prima a ser utilizada;
- Forma geométrica do produto;
- Aplicação ou emprego do produto;
- Produção prevista;
- Acabamento posterior à moldagem;
- Peso do produto;
- Matéria prima;
- Tipo de molde;
- Fabricante;

- Contração;
- Fluidez;
- Pressão de moldagem;
- Temperaturas de processo;
- Máquina injetora;
- Espaço entre colunas;
- Capacidade de injeção;
- Distância entre placas;
- Força de fechamento;
- Furo de centragem;
- Sistema de fixação do molde;
- Sistema de refrigeração;
- Máquinas operatrizes;
- O projetista deve procurar facilitar o trabalho da ferramentaria;
- Conhecer os equipamentos disponíveis;
- Procurar diminuir ao máximo o custo do molde.

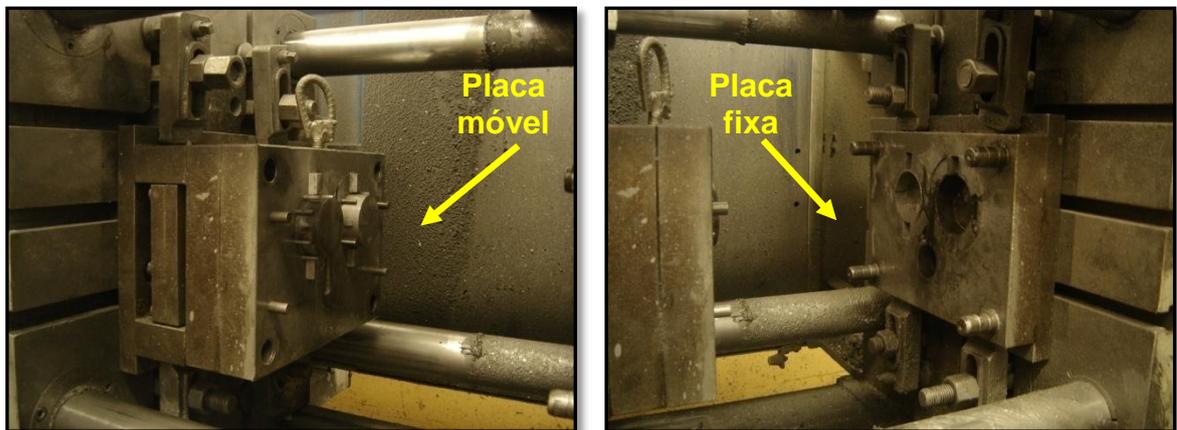


Figura 4 - Molde já colocado na máquina injetora (Esq.: placa móvel; Dir.: placa fixa)

Fonte: Empresa (2014)

2.4 Máquinas utilizadas na fundição sob pressão

As fundições contemporâneas, no intuito de realizar processos tecnológicos conectados com a manufatura por injeção, são equipadas com um número de máquinas e equipamentos parcialmente ou totalmente automatizados. Independentemente do grau de automação da máquina, é necessário incorrer em despesas ou manutenção e reparos, que, em consequência, estão conectados com a qualidade das peças produzidas [18].

É geralmente aceito que as partes de subconjuntos propriamente selecionadas e usadas contribuem para a melhoria da qualidade dos produtos manufaturados [18]. A modernidade das partes e equipamentos da máquina pode ser classificada pelo significado da tecnologia ABC. A categorização de subconjuntos nos grupos A, B ou C é conectada com a função realizada pelo dado subconjunto durante a manufatura de moldagem, que é conectada com o ciclo da máquina. O ciclo da máquina injetora é apresentado [6]:

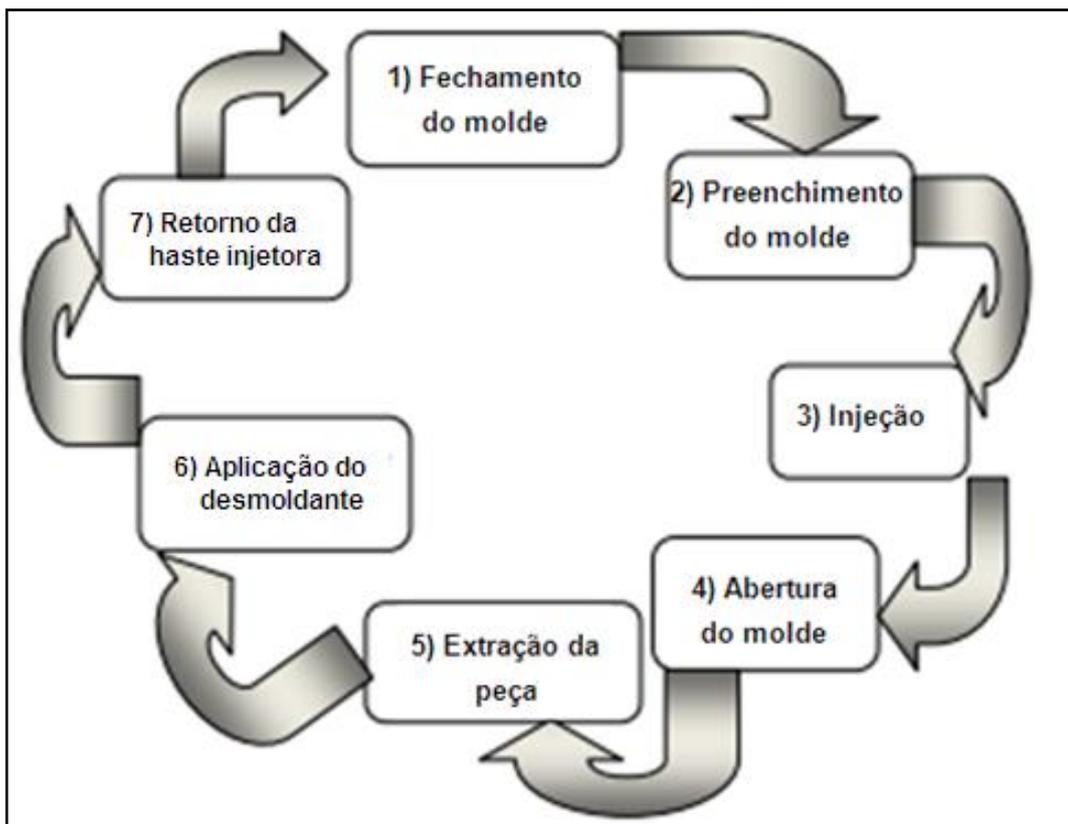


Figura 5 – Ciclo de injeção numa injetora IDRA 7000 – ADAPTADO de [18]

As máquinas de fundição sob pressão são constituídas por dois elementos principais. Um é responsável pela injeção do metal líquido, que é pressurizado, e o outro responsável pela manobra de fechamento e abertura mecânica da mesma, suportando as temperaturas e pressão do metal fundido que, logo após o resfriamento, abre e extrai a peça, através dos pinos extratores [7]

O elemento para a manobra mecânica da matriz é de construção similar em todos os tipos de máquinas e consiste basicamente em um mecanismo de cilindro e êmbolo de acionamento hidráulico [7].

O controle das máquinas pode ser automático, semi automático ou manual, este se aplica em função do tipo de máquina e seu nível de automatização ou característica da peça requerida [7]. No início do ciclo, é aplicado desmoldante nas cavidades do molde, que tem por finalidade formar uma lamina lubrificante para facilitar a extração do injetado, evitando a sua colagem à matriz do molde, ao

mesmo tempo proteger as matrizes dos choques térmicos e da degradação atmosférica presente no processo de injeção sob pressão [7].

Os componentes das máquinas e do sistema de injeção são de ferro fundido e de aço e ambos possuem extrema resistência para suportar as forças aplicadas durante o processo de injeção [7].

Componentes estruturais básicos de uma injetora [7]:

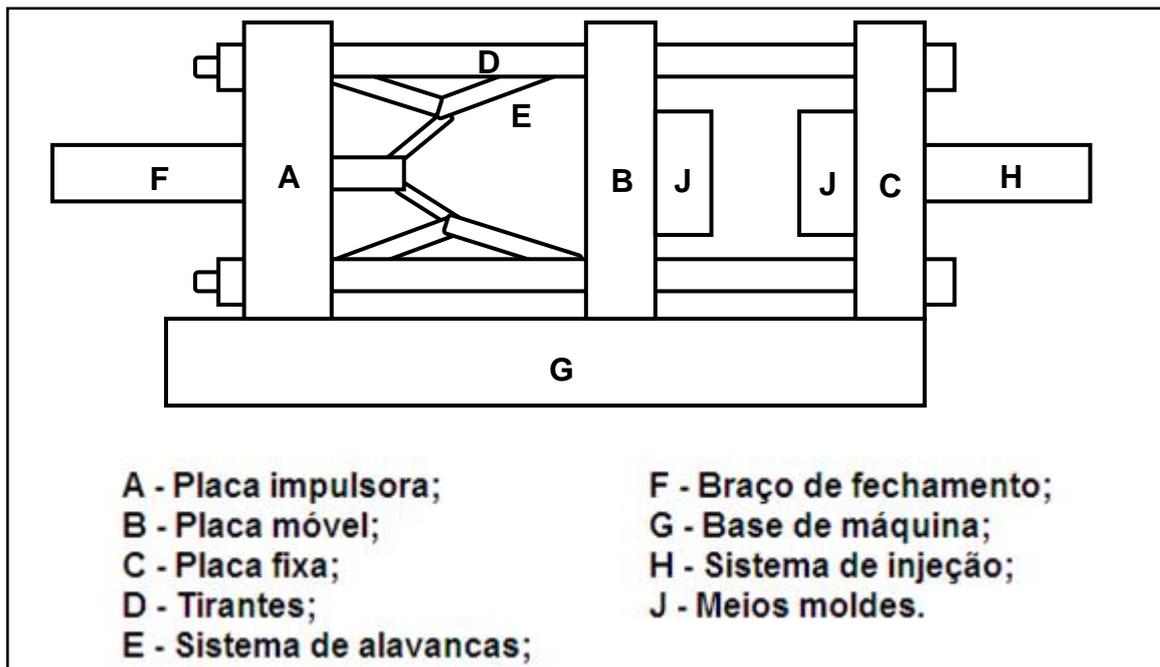


Figura 6 - Componentes do dispositivo mecânico de fechamento de uma máquina injetora – ADAPTADO de [7]

O sistema de fechamento permite a movimentação da placa móvel até a posição programada pelo preparador sendo aplicada uma elevada força no fechamento do molde. Esta operação é efetuada com o auxílio de uma bomba hidráulica, de um cilindro e de um sistema de alavancas denominado articulação [7].

Durante a operação de fechamento do molde verificam-se subidas e descidas da pressão do sistema hidráulico. Estas variações correspondem à movimentação do conjunto móvel [7].

Na prática, a força de fechamento tem que ser suficientemente grande para compensar a pressão de saída do metal. Os equipamentos podem variar de 150 a 3000 toneladas de força de fechamento [7].

As máquinas são divididas em dois tipos, em que a unidade de fusão do metal pode estar junto da máquina de fundição por injeção ou não, dependendo da temperatura de fusão do material. No primeiro caso, o equipamento é chamado de máquina de câmara quente, e no segundo, de câmara fria [13].

2.4.1 Máquinas de câmara quente

Na máquina de câmara quente, há um recipiente aquecido onde o metal líquido está depositado. Em seu interior, há um pistão hidráulico que força o metal líquido para dentro da matriz. Após a solidificação o pistão volta à posição inicial, a matriz se abre, e a peça é ejetada, iniciando um novo ciclo [13].

Estas máquinas têm uma capacidade produtiva maior, pois além de injetarem somente peças pequenas, o mecanismo envolvido é muito mais simples.

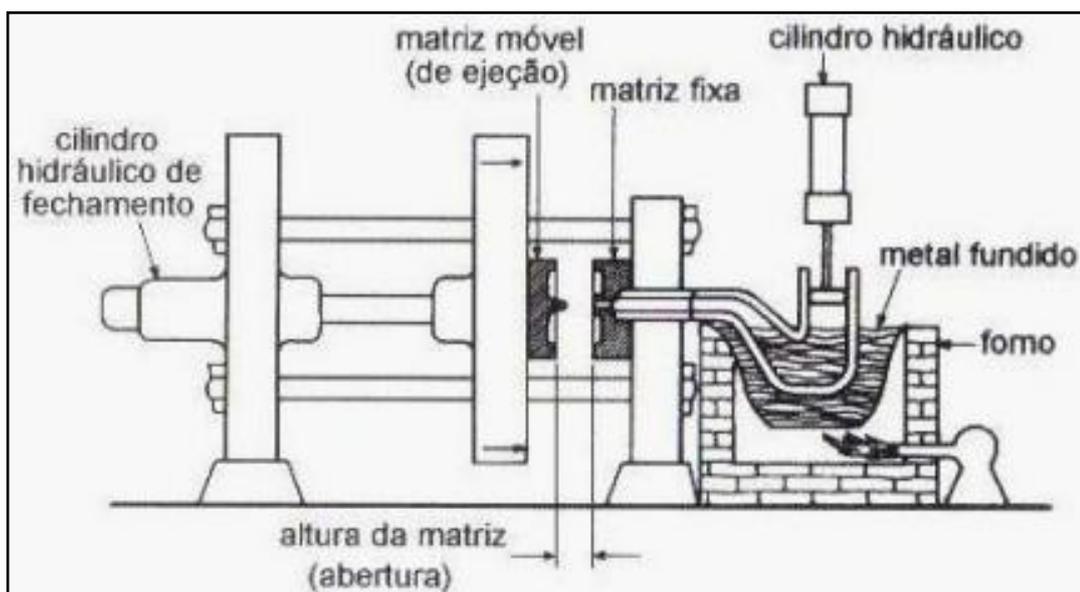


Figura 7 – Representação de máquina de câmara quente [13]

2.4.2 Máquinas de câmara fria

Na máquina de câmara fria, o princípio de funcionamento é o mesmo, sendo que o forno recipiente de metal líquido é uma unidade independente. O recipiente recebe apenas a quantidade de material para a peça [13].

Estas máquinas tem um ciclo mais lento, já que além de injetarem peças muito maiores, tem um mecanismo mais complexo – uso de um forno estacionário separado, transporte de material líquido e presença de um acumulador de nitrogênio, responsável pelo fornecimento da pressão do sistema.

Devido à maior quantidade de parâmetros e complexidade no processo, a injeção de alumínio por câmara fria é uma área que demanda maior *know-how* do fundidor. Para a obtenção de peças isentas de defeitos, o fundidor deve conhecer não somente o mecanismo da máquina por completo, mas também sobre as propriedades físico-químicas do material injetado, as características do molde e deve dominar todos os parâmetros de regulação da máquina de câmara fria.

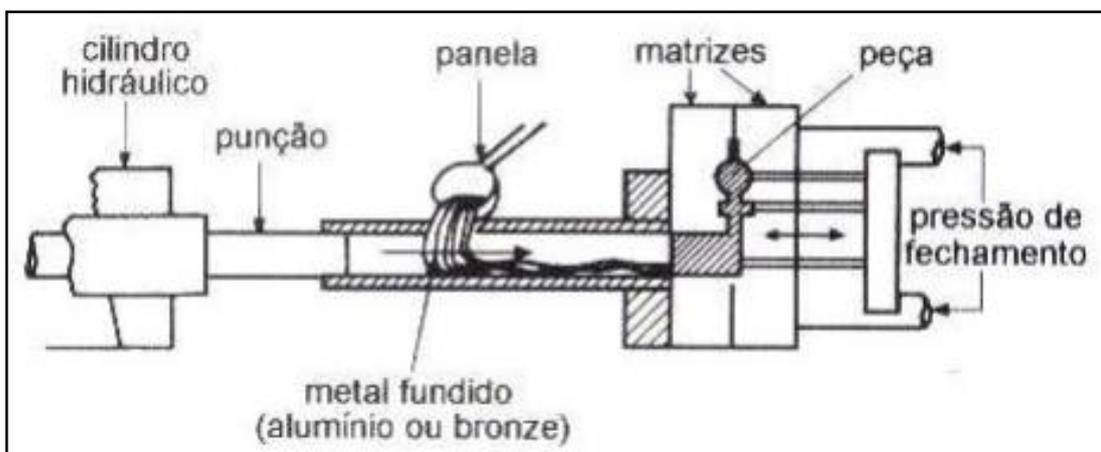


Figura 8 – Representação de máquina de câmara fria [13]

2.5 Manufatura enxuta (*Lean manufacturing*)

A manufatura enxuta, ou simplesmente *lean*, como é chamado, é definido como uma estratégia para alcançar significativa e contínua melhoria no desempenho pelo processo de eliminação de todos os gastos de recursos e no seu tempo total de processamento. O *lean* evoluiu da Toyota após a 2ª Guerra Mundial como uma

estratégia de negócio devido à limitação de recursos disponíveis no Japão, não contrastante com os vastos recursos disponíveis aos fabricantes nos EUA. Seus princípios aplicam-se a praticamente todas as operações de negócios, desde administração e design de produto até a manufatura [19].

De acordo com *Maryland Technology Extension Services* MTES, “*Lean* é um time baseado em aproximar para identificar e eliminar gastos (atividades que não adicionam valor) pela melhoria contínua através do acompanhamento do produto pela necessidade do cliente na busca por perfeição” [20].

O *lean* tem uma função chave no desenvolvimento de novos produtos e na melhoria de produtos já existentes, incluindo a criação de ideias, design para a manufatura, montagem e teste, prototipagem rápida, manutenção do portfólio do produto, marketing e análise de competidores, manutenção de risco, previsão de vendas, definição de indicadores chave de desempenho e análise de valor para reduzir o custo dos produtos existentes. O conceito do *lean* é derivado de métodos desenvolvidos no chão de fábrica da Toyota, que é descrito detalhadamente por autores como Taiichi Ohno e Shigeo Shingo [19].

O movimento do *lean* foi primeiramente vislumbrado na manufatura contemporânea por um estudo de cinco anos feito na Universidade de Harvard por Womack, Jones e Rose, que foi publicado num livro chamado “*A máquina que mudou o mundo*”, em 1990 [21]. Neste livro, a história da indústria automobilística foi estudada e as técnicas de melhoria de produtividade e qualidade foram aplicadas pela Toyota, nomeadas de “produção enxuta”. Esse sistema de produção, nomeado o Sistema Toyota de Produção, TPS, é a filosofia que pode ser usada para organizar as práticas de manufatura e processos também como para reestruturar fornecedores e clientes para garantir melhor qualidade, menor custo e menores *lead times* pela eliminação de várias formas de gastos envolvendo os funcionários [22].

John Shook, quem introduziu TPS nos EUA nos 1980's, define *Lean* como uma “filosofia de manufatura que encurta o cronograma entre o pedido do cliente e a entrega/embarque pela eliminação de gastos”. A produção enxuta foca-se em eliminar o gasto em toda área de produção, incluindo relações entre clientes, redes de fornecedores e gerência de fábrica. Seu objetivo é incorporar menos trabalho humano, menos inventário, menos tempo para desenvolver produtos e menos espaço para se tornar altamente responsivo à demanda do cliente enquanto produz

o produto com alta qualidade da maneira mais eficiente e econômica possível. Duas categorias de gastos podem ser discernidas como a original forma de gasto e a nova forma de gasto para o entendimento da necessidade emergente em aproximar-se do *lean* como um desempenho melhorado [20].

De acordo com Womack, em seu livro ele definiu cinco passos para guiar a implantação bem sucedida do *lean* [23]:

1 - Especificar valor

Womack e Jones afirmam que o valor só pode ser definido pelo cliente final e só é significativo quando expresso em termos de um produto específico com capacidades específicas que atingem as necessidades do cliente num preço e tempo específicos. O problema é que enquanto o valor é definido pelo cliente, ele é criado pelo produto e muitas outras coisas entram no caminho quando o produto tenta expressar como ele gera valor [19].

2 - Identificar o fluxo de valor

O fluxo de valor é definido como toda ação específica necessária para trazer um específico produto. Identificam-se todos os passos ao longo de toda a corrente de valor, rastreando a sequência de processos do material bruto até o bem acabado, que dão valor ao cliente [19].

3 - Criação de fluxo

Ter certeza que esses passos fluem melhor garantem ações, que criam um valor de fluxo propriamente dito e eliminam os atrasos e interrupções para criar um processo suave e fluído [19].

4 – Produção puxada

Puxar é o termo mais simples que significa que nenhum fluxo seguinte deve ser produzido até que o fluxo atual ou anterior do cliente peça por isso. A produção somente faz o que é pedido quando é pedido [12].

5 - A caça pela perfeição

Conforme o valor é especificado, os fluxos de valor são identificados, passos com gastos são eliminados e o fluxo e a produção puxada são introduzidos, começando o processo novamente e continuando até que o estado de perfeição seja alcançado de modo que o perfeito valor crie-se sem gastos [19].

2.5.1 Ferramentas da Manufatura enxuta

Várias ferramentas ajudam na transformação do *lean* para remover gastos, melhorando e diversificando áreas específicas. Toda ferramenta tem sua maneira de eliminar gastos. Eis algumas das ferramentas [19]:

1 – *Poka Yoke (à prova de erro)*

O *poka yoke* é estruturado para garantir um ambiente livre de erros, porém com qualidade. Este garante que o defeito nunca passe para a próxima operação. *Poka Yoke* significa prova enganadora, e pretende garantir que o erro nunca vai acontecer. Trata-se de uma técnica de prevenção de erros pelo design do processo de manufatura, equipamento e ferramentas, assim a operação literalmente não pode ser realizada de maneira incorreta. O conceito básico disso é evitar os problemas pela correção do processo.

2 – *JIT (Just in Time)*

Uma filosofia de manufatura baseada na eliminação planejada de todos os gastos e melhoria contínua de produtividade. Ele engloba a execução bem sucedida de todas as atividades de manufaturas necessárias para produzir o produto final. Trata-se de fazer as coisas necessárias somente quando for necessário, daí o nome '*Just in Time*' – na hora.

3 - *Kanban*

Um método para manter um fluxo de pedidos de material. Cartões de *Kanban* são usados para indicar os pontos de pedido, quanto material é necessário e se ele deve ser enviado, por intermédio do cliente. A essência dos conceitos do *kanban* é que o fornecedor ou o armazém deve apenas enviar componentes para a linha de produção quando eles precisarem, assim não tem nenhum estoque na área de produção.

4 - *Kaizen*

É o termo japonês para a melhoria continua envolvendo todas as pessoas. Na manufatura, o *kaizen* refere-se a encontrar e eliminar gastos no maquinário, trabalho ou nos métodos de produção.

5 – *Métrica do Lean*

A métrica do *lean* permite que as companhias possam medir, avaliar e responder à sua performance duma maneira balanceada sem sacrificar a qualidade

para atingir a quantidade de objetivos ou aumentar os níveis de inventário para alcançar eficiência das máquinas. O tipo de métrica do *lean* depende da organização e pode ser das seguintes categorias: desempenho financeiro, desempenho comportamental e desempenho de processo de núcleo.

6 – Mapa de fluxo de valor

É um conceito que significa que os itens são processados e movidos diretamente de um passo do processo para o outro, um pedaço por vez. O mapeamento do fluxo de valor ajuda a maximizar a utilização de recursos, diminuir *lead times* e identificar problemas e comunicações entre operações.

7 – Standard Work

A padronização de alguma atividade dentro de uma célula de trabalho, para garantir que tal atividade será sempre realizada da mesma forma, sanando problemas de qualidade e variações no processo.

8 – Total Productive Maintenance (TPM)

É um conceito de programa de manutenção, que traz como foco maximizar o uso de equipamento; o objetivo do TPM é evitar reparos emergenciais e manter a manutenção não agendada no mínimo.

9 – Troca rápida de ferramenta (TRF)

Método que visa reduzir os tempos de *setup* para ganhar maiores tempos de produção. Ferramenta-chave para a realização deste trabalho, aplicada à troca dos moldes.

10 – Gestão visual

É um conjunto de técnicas que tornam os padrões de operações visíveis, possibilitando que os funcionários as sigam mais facilmente.

2.5.2 Tipos de desperdício segundo a manufatura enxuta

A manufatura enxuta define gastos específicos numa organização, facilitando o diagnóstico de problemas num sistema produtivo para uma possível procura de solução. Gastos em economia referem-se ao desempenho ruim em geral na planta de diferentes perspectivas, como o mal uso de recursos, atribuição imprópria de recursos para a posição errada, processos ineficientes e ineficiência na transformação da certa entrada para a certa saída. Um ataque sistemático nos

gastos é também um ataque sistemático nos fatores por trás da baixa qualidade e provavelmente fundamental na solução de problemas. No Sistema Toyota de Produção, sete tipos de gastos foram identificados por Shigeo Shingo [24]:

1 – Superprodução

Produzir em excesso ou muito cedo, resultando num fluxo pobre de informações [25]. Isso também é descrito como fazer bens mais que em *Just in Time* (JIT). Tradicionalmente, fabricantes tem usado o conceito da *Economic Order Quantity* (EOQ) que é também conhecido como o tamanho de lote econômico ou pedido de mínimo custo para determinar os lotes ideais e suas quantias [19].

2 – Defeitos

Erros frequentes, retrabalho, problemas de qualidade ou baixo desempenho de entregas. A existência de uma unidade deficiente em um processo é tipicamente o resultado de um fraco sistema de qualidade preventiva. Quando um erro é detectado, este é passado para a próxima operação ou, pior, para o cliente, e a perda inevitavelmente ocorre. Como resultado, algo tem de ser manufaturado, montado ou servido duas vezes, aonde o cliente vai legitimamente só pagar pelos bens ou serviços. Assim, fazer tudo certo na primeira vez é o mais eficiente [19].

3 – Inventário desnecessário

Acúmulo de produtos e atraso de informações ou produtos, resultando em inventário excessivo [25]. Isso é normalmente uma maneira custosa de cobrir problemas de qualidade como o retrabalho e defeitos de mão de obra ou problemas de agendamento de produção, *lead times* grandes e problemas de fornecimento [12].

4 – Processamento inadequado

Continuar o processo de trabalho usando o conjunto errado de ferramentas, procedimentos ou sistemas, quando na verdade um mecanismo mais simples pode ser mais efetivo [25]. Um design pobre de processo pode levar à produção de produtos ou serviços que um cliente não precisa e não pretende pagar [19].

5 – Movimentação excessiva

Excesso de movimentação de pessoas, informações ou bens, resultando em tempo perdido, gasto de energia e custos [25]. Como por exemplo, funcionários andando repetidamente na da área de trabalho para a área de fornecimento,

movendo-se envolta de um equipamento desnecessário ou realizando movimentos redundantes que podem ser completamente eliminados ou automatizados para acelerar o processo [19].

6 – Espera

A espera inclui os atrasos vindos de pessoas, processos ou *Work in Progress* (WIP) – trabalho dentro do processo - , inventário inativo esperando por instruções ou informações, material bruto ou qualquer outro recurso. O desperdício de tempo implica em consumo de capital, aumenta o risco de obsolescência ou dano, e outra necessidade de movimento ou manuseio adicional de bens [19].

7 – Transporte

Baixa organização do local, resultando em pouca ergonomia e problemas logísticos.

Adicionalmente, enquanto pensando sobre os gastos, vale mencionar três tipos de atividades que devem ser definidas dentro das organizações [26]:

1 – Atividades que adicionam valor

Aquelas atividades, que, na visão do cliente final, tornam um produto ou serviço mais valioso. Uma atividade que acresce valor é simples de definir; indústrias podem perguntar a si mesmas se elas, como um consumidor, estariam satisfeitas em pagar por tal serviço [26].

2 – Atividades necessárias que não adicionam valor

Aquelas atividades que, na visão do cliente final, não tornam um produto ou serviço mais valioso, mas que são necessárias, e que se removidas, mudam radicalmente o processo de fornecimento. Esse tipo de gasto é mais difícil de se remover a curto prazo e deve ser um alvo para mudanças a longo prazo, mais radicais [26].

3 – Atividades que não adicionam valor

Aquelas atividades que, na visão do cliente final, não tornam um produto ou serviço mais valioso e que não são necessárias mesmo mediante certas circunstâncias. Essas atividades são claramente gastos e devem, portanto, ser um alvo imediato, para uma remoção a curto prazo [26].

2.5.3 A troca rápida de ferramentas

Visto que esse trabalho trata-se de uma proposta de redução de tempos de troca de ferramentas – *setup* – é necessário dar ênfase ao tema, abordando suas principais características.

Quando manufaturando algum produto em um molde de injeção em grandes quantidades, várias trocas de moldes (ferramentas) tomam lugar para o mesmo produto. A troca rápida de ferramenta é largamente conhecida como um essencial pré-requisito para uma manufatura flexível e responsável [11].

A *Troca rápida de Ferramentas* (TRF) foi desenvolvida por Shigeo Shingo na década de 1950, no Japão, em resposta às necessidades emergentes de cada vez mais produções com lotes pequenos necessários para atender a requerida flexibilidade para a demanda do consumidor. O estudo foi originalmente desenvolvido pela análise da troca de uma ferramenta [27]. Geralmente, a TRF objetiva uniformizar e simplificar as operações. Por estes meios, a necessidade para a mão de obra especializada é também minimizada. A técnica da TRF é usada como um elemento no *Total Productivity Maintenance* (TPM) e no processo de melhoria contínua em vários estudos para alcançar a manufatura enxuta [28]. A TRF é, ainda, uma ferramenta para aumentar a efetividade geral do equipamento ao mesmo tempo em que aumenta sua disponibilidade [20].

A TRF é um método que torna possível realizar o *setup* e a troca de operações em poucos minutos, e é também usado como um elemento de *Total Productive Maintenance* – TPM. [11].

Para alcançar a sustentabilidade desejada dos procedimentos padrões bem arranjados, devem ser preparados procedimentos enxutos da troca de ferramenta, que são constituídos com o cuidado de um sistema de tempo predeterminado para padronizar e preservar as operações de troca melhoradas [11].

Podem ser explorados dois mecanismos fundamentais pelo qual a melhor troca pode ser alcançada. O primeiro é a melhor alocação de tarefas para recursos necessários, onde as tarefas propriamente ditas permanecem inalteradas. O segundo mecanismo é procurar uma mudança estrutural para tarefas já existentes, intrinsecamente ativando elas para serem completadas mais rapidamente. Esses

dois mecanismos são descritos em relação ao uso do método da TRF onde melhores opções de melhoria podem ser ganhas [11].

O processo de moldagem por injeção usa-se de máquinas de alto nível de produção. A utilização da capacidade da máquina é o objetivo chave para alcançar o mínimo de consumo. O processo de troca de ferramenta durante a fundição sob pressão é reconhecido como uma possível área para redução de tempo de consumo. O método da TRF foi melhorado por procedimentos adicionais simultâneos aplicando o método 5S. A sua contribuição é evidente no reconhecimento de atividades internas e externas, particularmente quando transferindo atividade internas para externas uma a uma, ao máximo possível, minimizando, ao mesmo tempo, as internas. A validade dos métodos e procedimentos podem ser verificadas pelo exemplo da aplicação numa fundição sob pressão, em que significantes economias de tempos podem ser alcançadas com mínimo investimento [11].

Existem sete passos básicos que são usados para reduzir o tempo de *setup* usando o sistema TRF [20]:

- 1 – *Observação da metodologia atual;*
- 2 – *Separações das atividades internas e externas.* (Atividades internas são aquelas que só podem ser feitas quando o processo é parado, enquanto as atividades externas são aquelas que podem ser feitas enquanto o último lote está sendo produzido, ou ainda quando o próximo lote tenha começado. Por exemplo, ir e pegar as ferramentas para o trabalho antes que a máquina pare);
- 3 – *Conversões (quando for possível) de atividades internas em atividades externas* (pré-aquecimento de ferramentas é um exemplo disso);
- 4 – *Simplificação das atividades internas, simplificando-as.* (Foca em corrigir – Isso foi acertadamente observado que só o último giro de um parafuso aperta-o – o resto é só movimento);
- 5 – *Simplificação das atividades externas.* (Assim elas estão numa escala similar às internas);
- 6 – *Documentação do novo procedimento, e ações que ainda podem ser concluídas;*

7 – *Repetir*. (Para cada rodada/tentativa uma melhoria de 45% nos tempos de *setup* deve ser esperada, então isso deve levar várias iterações para cruzar a linha dos dez minutos.)

2.5.3.1 Proposta metodológica de redução de *setup* segundo Shingo

Shingo 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 [28]:

1 - *Estratégias que envolvem habilidades*: onde as pessoas detêm o conhecimento empírico do processo de preparação da máquina (operador);

2 - *Estratégias que envolvem o tamanho de lote*: devido aos tempos altos de *setup*, as empresas preferem fazer muitas peças em cada preparação (estoque). A TRF permite a redução dos custos de *setup*.

De acordo com Shingo, o processo de melhoria de *setup* é dividido em 4 etapas [28]:

1 – Analisar e estudar toda a operação de *setup* atual ao mínimo detalhe com o auxílio dos operadores. Nesta tarefa, algumas maneiras de se monitorizar a situação podem ser a cronoanálise, as entrevistas aos operadores ou até mesmo a captação de imagens e vídeos;

2 - Divisão das operações de *setup* interno e externo. Shingo menciona a possibilidade de, já nesta fase, haver ganhado de 30 a 50% no tempo de preparação;

3 - Realização de análises para transformar *setups* internos em *setups* externos;

4 - Depois de feitas as divisões de *setups* externos e internos, são realizados estudos para aperfeiçoar estes tempo de preparação.

Estas etapas mostram que a TRF é composta por duas ações principais: análise e implantação. Para haver a implantação 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;
- Aperfeiçoar operações;
- Mecanizar as operações.

Shingo afirma que o método JIT, ponto-chave do Sistema Toyota de Produção, não teria sido desenvolvido se a TRF não existisse. Para este, a troca rápida de ferramentas começa no ambiente estratégico e só depois entram em cena o desenvolvimento e aplicação dos conceitos com o intuito de serem implantados. Resumidamente, para Shingo, as bases para a implementação da técnica são mostradas com detalhe na figura a seguir [28]:

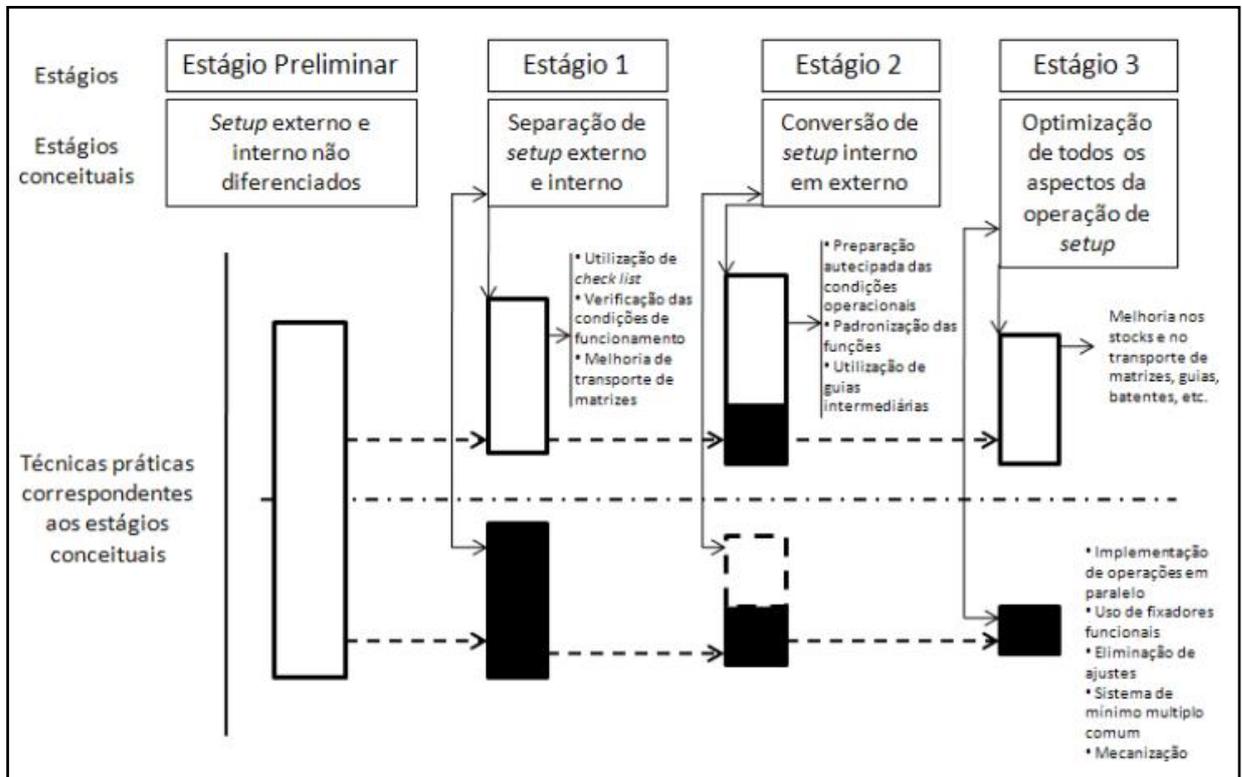


Figura 9 – Bases para a implantação do SMED [28]

Ainda, Shingo comenta que a TRF se baseia no fato de os *setups* internos e externos ainda não estarem implementados, e então a primeira etapa seria analisar no *setup* todos os pontos de possíveis ganhos de tempo (deve ser realizada com os operadores e preparadores envolvidos com o equipamento) [28].

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 [28].

Ao atingir tais objetivos, consegue-se 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 [28].

Na figura, mostra-se esquematicamente a sequência de um *setup* tanto na produção de produtos como na prestação de serviços [28].

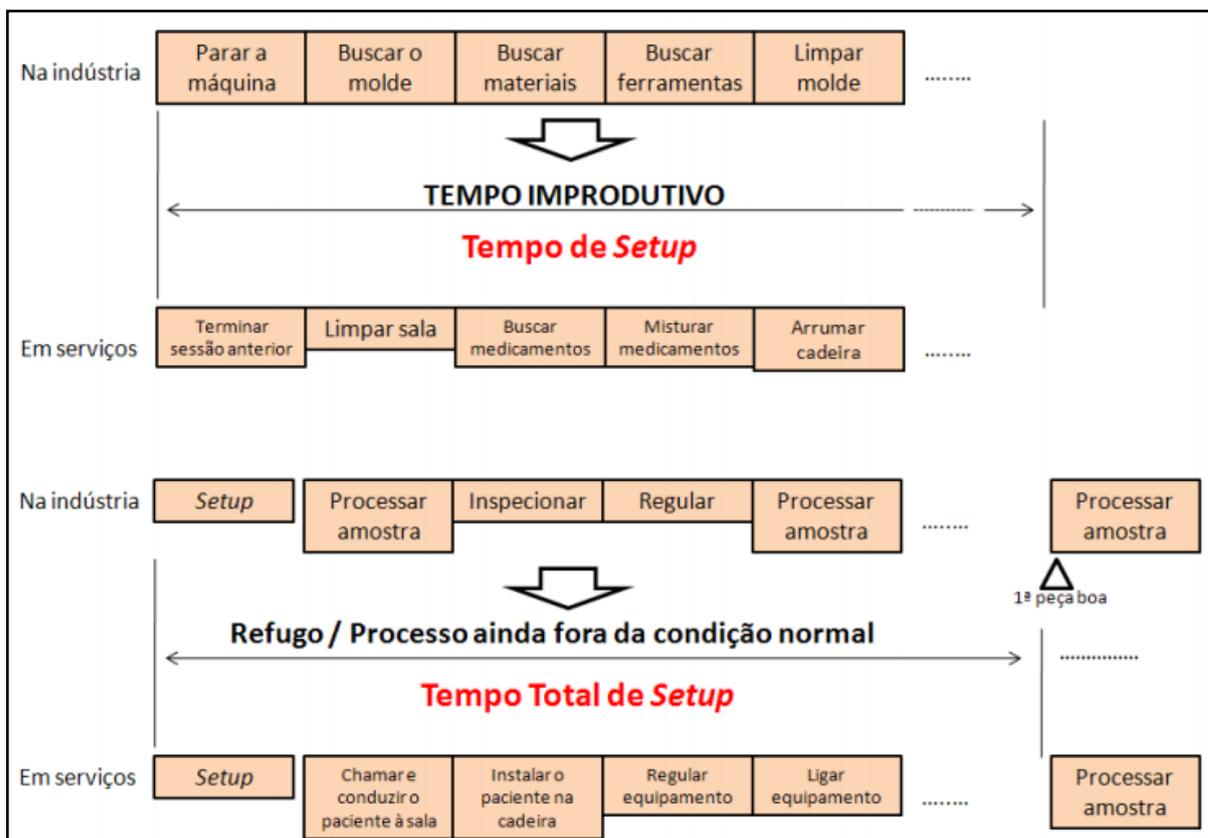


Figura 10 – Sequência de um *setup* na produção e prestação de serviços [28]

2.5.3.2 Proposta metodológica de redução de *setup* segundo

Mondem

O modelo proposto por Mondem [29], segue o mesmo princípio abordado por Shingo [28], diferenciando-se nas estratégias e técnicas de implantação. Mondem define a TRF em três estratégias e seis técnicas.

O autor considera a diferenciação entre a preparação interna (realizada com a máquina desligada) e externa (realizada com a máquina ligada) 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 projeto. O terceiro passo seria a busca da padronização das ferramentas (posição diferente da pensada por Shingo [28]), procurando a sua intercambialidade.

Quanto às técnicas, o autor cita seis como as principais para a realização das melhorias [29]:

- 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.

2.5.3.3 Proposta metodológica de redução de *setup* segundo Hay

O modelo proposto por Hay [30] segue técnicas diferentes dos autores referenciados anteriormente, sendo mais abrangente, iniciando com o compromisso da alta administração da empresa em estar junto do projeto, o que é para o autor um fator crítico para o sucesso da implementação da TRF.

A segunda etapa é a escolha do processo a ser melhorado, sendo nesta proposta considerado como o melhor retorno consoante o impacto potencial da

melhoria. O terceiro passo é a definição da equipe multidisciplinar a ser responsável pela melhoria a ser desenvolvida [30].

O quarto passo será a instrução da equipe com formações de TRF, e também todos os objetivos 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 atividades, tais como a falta de ferramentas, dispositivos ou elementos de fixação [28]

2.5.3.4 Proposta metodológica de redução de *setup* segundo Black

A abordagem proposta por Black [31], consiste no estudo de tempos e movimentos aplicados ao problema de redução do tempo de *setup*. O autor divide a sua metodologia de implantação 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 atividades para o *setup* externo;
- Racionalização das atividades internas;
- Análise dos métodos utilizados;
- Padronização e eliminação de ajustes;
- Eliminação do *setup* quando possível.

Assim como os outros autores, Black [31] 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*, objetivando a racionalização da análise. Outras propostas são a utilização de filmagens, para cálculo dos tempos de movimentos.

2.5.3.5 Proposta metodológica de redução de *setup* segundo Kannenberg

Kannenberg [32], da mesma maneira que Hay [30], propõe um modelo de implantação de TRF bastante semelhante conforme os pontos listados. O primeiro passo é a criação de um ambiente favorável para a implantação da técnica começando pela conscientização da alta direção 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 direção, promover a formação de uma equipe responsável pelo planejamento e controle da implantação e, por fim, uma avaliação do processo produtivo numa visão de futuro e crescimento [32].

A nível tático, é necessário, segundo o autor, a difusão das políticas da empresa a médio e longo prazo, especialmente em relação aos investimentos, projetos de produtos, definição de metas e formação [32].

O nível operacional não difere das técnicas já propostas por Shingo [28] e Mondem [29].

3 METODOLOGIA

3.1 Planejamento experimental

O trabalho teve início com a identificação do problema. O problema identificado foi o tempo de troca de ferramentas no setor de fundição, avaliado para todas as máquinas presentes – a troca de ferramentas ou *setup* influencia na produtividade das máquinas, uma vez que, enquanto paradas para uma troca, as máquinas não podem produzir peças. Desta forma, tomou-se como critério estudar uma única máquina para, posteriormente, reproduzir as possíveis melhorias encontradas a partir das análises realizadas nesta célula.

Após definido o problema, o longo tempo de *setup*, foi feita uma análise da situação atual, que consistiu na análise de todas as operações de troca de ferramenta realizadas antes da implantação de qualquer melhoria. Para isso, foi selecionada uma máquina de uso intenso e um determinado número de ferramentas com características semelhantes (massa e tamanho), tal que as informações e dados sobre o *setup* das mesmas na máquina foram coletados ao longo de um mês. Todas estas operações de *setup* e análise foram feitas com o auxílio do operador da máquina e os preparadores, usando-se de práticas como cronoanálise, documentação de operações e separação de *setup* interno de externo.



Figura 11 - Célula de produção estudada (Máquina injetora de câmara fria)

A etapa seguinte foi a separação de informações necessárias para que o estudo se iniciasse. Tais informações, provenientes do planejamento mensal de produção, permitiram avaliar quais ferramentas entrariam em máquina em qual momento e qual seria o lote a ser produzido. Além disso, coletaram-se dados sobre as ferramentas que poderiam influenciar nos tempos de *setup*, como o diâmetro de câmara de injeção, nível da mesa da máquina injetora, quantidade de garras usadas, posicionamento das garras, etc.

Posterior à análise da situação atual, foram listados os problemas existentes. Todas as operações defeituosas e práticas que poderiam cooperar para um maior tempo de *setup* foram definidas, e, para cada uma, proposta uma melhoria, através de um *brainstorm* envolvendo a equipe de *setup* e a alta direção da empresa. Adicionalmente, melhorias para quais não haviam problemas existentes foram acrescentadas.

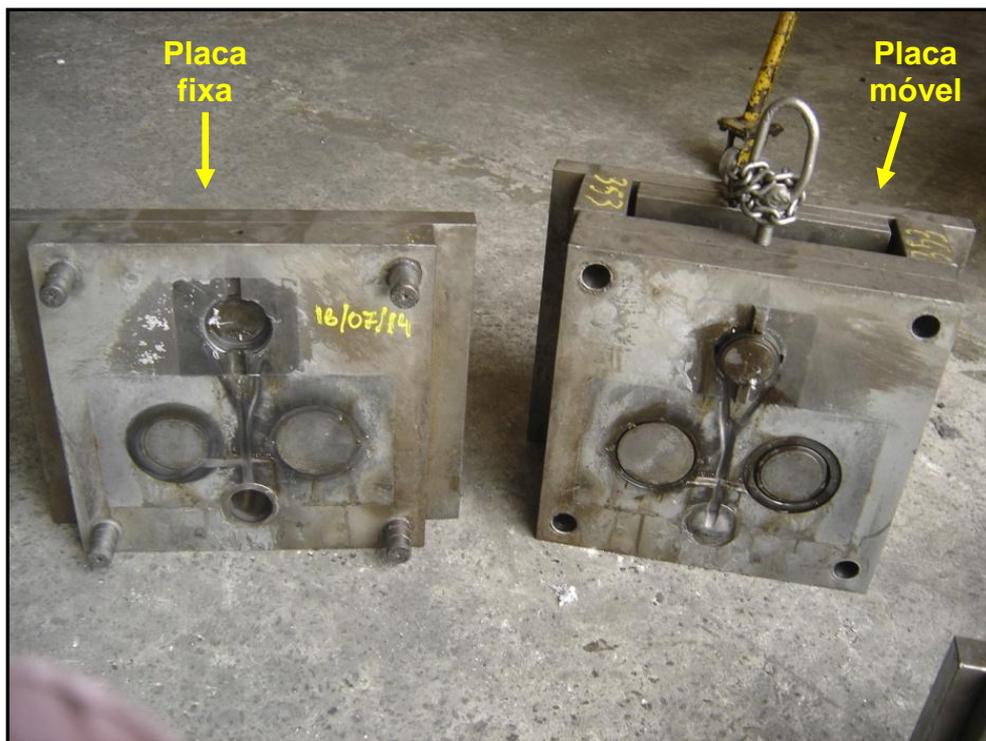


Figura 12 – Exemplo de molde utilizado nos *setups* estudados (Esq.: placa fixa; Dir.: placa móvel)

As melhorias propostas foram implantadas e novas cronoanálises foram realizadas, avaliando quais foram os impactos nos tempos de setup por meio da comparação com os tempos anteriormente obtidos.

3.2 Materiais e métodos

3.2.1 Materiais

Para a realização das análises, foram usados os seguintes materiais:

- Máquina injetora de câmara fria Alpresse CAST 180T;
- 2x Talhas de 1 tonelada de capacidade;
- 2x Chaves de boca;
- Cronômetro Mondaine Wasom;
- Caderno para anotações;

- 5x moldes para fundição sob pressão (moldes de 600kg a 1 ton.);
 - Moldes N° 105^a, 105B, 133, 160, 298, 395 e 1014.
- Câmera Sony Cybershot DSC-P93A.

3.2.2 Métodos

Os métodos passo-a-passo para a realização das análises foram os seguintes:

- Seleção de uma máquina de uso intenso;
- Seleção de um determinado número moldes de uso intenso que seriam usados na máquina em questão;
 - Coleta de informações sobre os *setups* atuais entre os moldes selecionados – cinco *setups* realizados, seguido do cálculo de uma média;
 - Cronoanálise dos *setups* e suas respectivas operações;
 - Separação das atividades internas e externas;
 - Comparação entre os tempos de cada operação;
 - Criação de um gráfico contemplando os tempos de operações;
 - Identificação dos possíveis problemas nos *setups* atuais;
 - Análise de possíveis conversões de atividades internas em externas;
 - Brainstorming para obtenção de soluções para os problemas atuais;
 - Proposta de melhorias adicionais, para as quais não existem problemas;
 - Definição de todas as possíveis melhorias que podem ser implantadas no processo de *setup*;
 - Documentação dos supostos novos procedimentos de *setup*;
 - Implantação das melhorias definidas;
 - Nova coleta de informações sobre os *setups* após a implantação de melhorias – cinco *setups* realizados, seguido do cálculo de uma média;
 - Cronoanálise dos *setups* e suas respectivas operações;
 - Separação das operações realizadas e seus respectivos tempos;

- Comparação entre os tempos antes e depois da implantação das melhorias;
- Criação de um gráfico contemplando os tempos de operações pós-melhoria;
- Avaliação do tempo adquirido após a adição das melhorias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Situação vigente

Setup 1A - 11/06 – 15:50 – Lote: 3000 peças: Troca do molde 1014 para o molde 160.

Resultados obtidos a partir da cronoanálise do setup 1A:

Tabela 3 - Cronoanálise do setup 1A

Setup 1A – Molde 1014 → 160		
Número	Operação	Tempo
1	Buscar talha 1 para remover molde	00:32
2	Buscar chaves de boca para remover garras	00:45
3	Remover garras	01:11
4	Levantar molde da máquina, colocá-lo sobre o carrinho e remover pinos extratores	07:45
5	Levar carrinho com o molde até a estante	00:39
6	Buscar talha 2 para guardar molde na estante	00:25
7	Levantar molde para guardar na estante	03:04
8	Conduzir talha 2 até o outro molde, içar e colocar no carrinho	03:50
9	Levar carrinho com molde até a máquina	02:03
10	Levantar molde para colocar na máquina com a talha 1 e realizar troca de câmara e pistão	02:07
11	Alinhar placa fixa com a câmara	00:53
12	Fixar garras	12:51
13	Regular fechamento da máquina	02:05
14	Alterar regulagem de máquina no painel	01:56
Tempo total consumido		40:06

Setup 2A - 23/06 – 08:06 – Lote: 1000 peças: Troca do molde 160 para o molde 133.

Resultados obtidos a partir da cronoanálise do setup 2A

Tabela 4 - Cronoanálise do setup 2A

Setup 2A – Molde 160 → 133		
Número	Operação	Tempo
1	Buscar talha 1 para remover molde	00:30
2	Buscar chaves de boca para remover garras	00:30
3	Remover garras	03:23
4	Levantar molde da máquina, colocá-lo sobre o carrinho e remover pinos extratores	01:59
5	Levar carrinho com molde até a estante	00:55
6	Buscar talha 2 para guardar molde na estante	00:58
7	Levantar molde para guardar na estante	03:30
8	Conduzir talha 2 até o outro molde, içar e colocar no carrinho	01:47
9	Levar carrinho com molde até a máquina	01:03
10	Levantar molde para colocar na máquina com a talha 1 e realizar troca de câmara e pistão	02:05
11	Alinhar placa fixa com a câmara	02:48
12	Fixar garras	17:16
13	Regular fechamento da máquina	01:34
14	Alterar regulagem de máquina no painel	01:12
Tempo total consumido		39:30

Setup 3A - 25/06 – 13:50 – Lote: 1000 peças: Troca do molde 133 para o molde 105A.

Resultados obtidos a partir da cronoanálise do setup 3A:

Tabela 5 - Cronoanálise do setup #3A

Setup 3A – Molde 133 → 105A		
Número	Operação	Tempo
1	Buscar talha 1 para remover molde	01:10
2	Buscar chaves de boca para remover garras	00:37
3	Remover garras	02:17
4	Levantar molde da máquina, colocá-lo sobre o carrinho e remover pinos extratores	04:50
5	Levar carrinho com molde até a estante	00:42
6	Buscar talha 2 para guardar molde na estante	00:20
7	Levantar molde para guardar na estante	03:04
8	Conduzir talha 2 até o outro molde, içar e colocar no carrinho	03:31
9	Levar carrinho com molde até a máquina	01:52
10	Levantar molde para colocar na máquina com a talha 1 e realizar troca de câmara e pistão	02:44
11	Alinhar placa fixa com a câmara	02:30
12	Fixar garras	12:27
13	Regular fechamento da máquina	01:13
14	Alterar regulagem de máquina no painel	01:20
Tempo total consumido		38:37

Setup 4A - 26/06 – 15:00 – Lote: 700 peças: Troca do molde 105A para o molde 395.

Resultados obtidos a partir da cronoanálise do setup 4A:

Tabela 6 - Cronoanálise do setup 4A

Setup 4A – Molde 105A → 395		
Número	Operação	Tempo
1	Buscar talha 1 para remover Molde	00:52
2	Buscar chaves de boca para remover garras	00:40
3	Remover garras	02:25
4	Levantar molde da máquina, colocá-lo sobre o carrinho e remover pinos extratores	01:10
5	Levar carrinho com molde até a estante	01:13
6	Buscar talha 2 para guardar molde na estante	00:27
7	Levantar molde para guardar na estante	02:56
8	Conduzir talha 2 até o outro molde, içar e colocar no carrinho	03:01
9	Levar carrinho com molde até a máquina	00:53
10	Levantar molde para colocar na máquina com a talha 1 e realizar troca de câmara e pistão	03:00
11	Alinhar placa fixa com a câmara	03:23
12	Fixar garras	08:03
13	Regular fechamento da máquina	02:32
14	Alterar regulagem de máquina no painel	01:01
Tempo total consumido		31:36

Setup 5A - 03/07 – 09:15 – Lote: 1000 peças: Troca do molde 395 para o molde 133.

Resultados obtidos a partir da cronoanálise do setup 5A:

Tabela 7 - Cronoanálise do setup 5A

Setup 5A – Molde 105A → 395		
Número	Operação	Tempo
1	Buscar talha 1 para remover molde	01:30
2	Buscar chaves de boca para remover garras	00:33
3	Remover garras	00:40
4	Levantar molde da máquina, colocá-lo sobre o carrinho e remover pinos extratores	00:59
5	Levar carrinho com molde até estante	01:14
6	Buscar talha 2 para guardar molde na estante	00:31
7	Levantar molde para guardar na estante	01:15
8	Conduzir talha 2 até o outro molde, içar e colocar no carrinho	02:27
9	Levar carrinho com molde até a máquina	00:58
10	Levantar molde para colocar na máquina com a talha 1 e realizar troca de câmara e pistão	03:58
11	Alinhar placa fixa com a câmara	02:32
12	Fixar garras	16:24
13	Regular fechamento da máquina	00:40
14	Alterar regulagem de máquina no painel	00:37
Tempo total consumido		34:18

A tabela a seguir compara os tempos consumidos nas operações de cada *setup* e a média entre os mesmos:

Tabela 8 - Tempos consumidos em operações e suas médias

Operação	Tempo consumido (min:seg)					Média
	Setup 1A	Setup 2A	Setup 3A	Setup 4A	Setup 5A	
1	00:32	00:30	01:10	00:52	01:30	00:54
2	00:45	00:30	00:37	00:40	00:33	00:37
3	01:11	03:23	02:17	02:25	00:40	01:59
4	07:45	01:59	04:50	01:10	00:59	03:20
5	00:39	00:55	00:42	01:13	01:14	00:56
6	00:25	00:58	00:20	00:27	00:31	00:32
7	03:04	03:30	03:04	02:56	01:15	02:45
8	03:50	01:47	03:31	03:01	02:27	02:55
9	02:03	01:03	01:52	00:53	00:58	01:21
10	02:07	02:05	02:44	03:00	03:58	02:46
11	00:53	02:48	02:30	03:23	02:32	02:25
12	12:51	17:16	12:27	08:03	16:24	13:24
13	02:05	01:34	01:13	02:32	00:40	01:36
14	01:56	01:12	01:20	01:01	00:37	01:13
Total	40:06	39:30	38:37	31:36	34:18	36:49

Com um gráfico entre os tempos médios consumidos em cada operação, é possível ver nitidamente quais operações consomem mais tempo ao longo do *setup*:

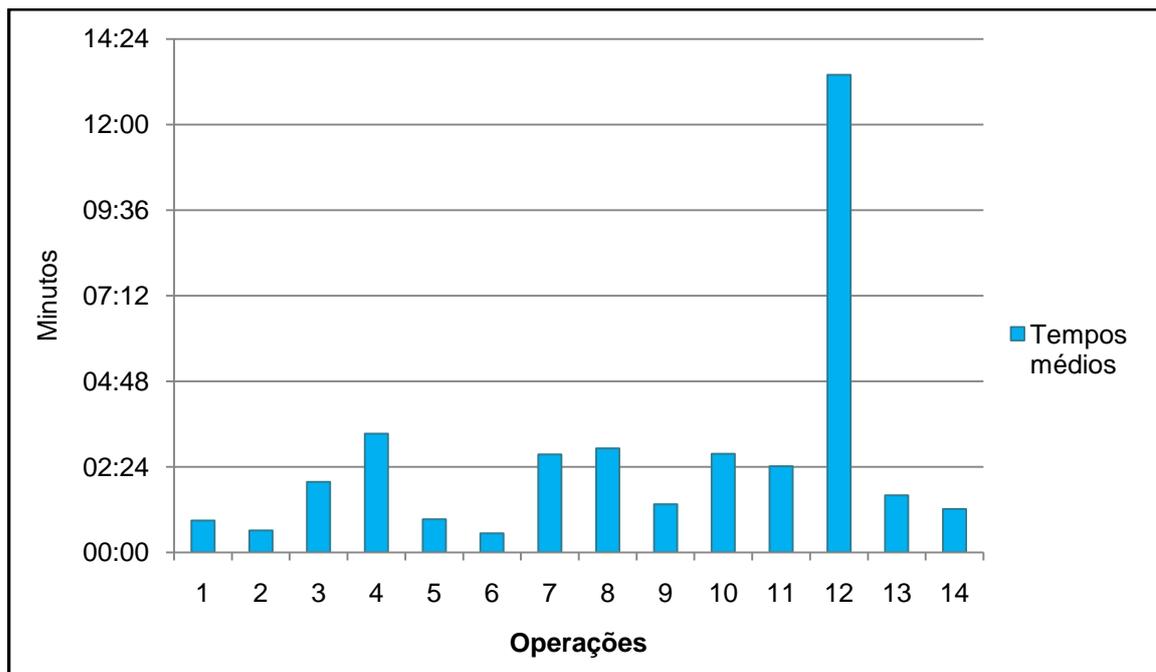


Figura 13 - Comparação entre os tempos médios consumidos em cada operação

4.2 Problemas identificados ao longo dos *setups* realizados

Notou-se que a operação que consumiu mais tempo ao longo do *setup* foi a fixação das garras, chamando a atenção para uma análise mais criteriosa. Nesta operação, além de as garras serem fixadas, os pinos extratores do molde eram colocados e ajustados à furação, o que consumia um tempo considerável, pois para ajustá-los é necessário abrir e fechar a placa da máquina diversas vezes, algo que só pode ser feito com a porta da máquina fechada, devido à norma de segurança, NR12, presente na mesma. Portanto, a simples ação de ter de abrir e fechar as portas da máquina diversas vezes para poder movimentar a placa móvel somava um grande tempo ao final da operação, já que para poder fixar as garras da placa móvel é necessário que os pinos extratores já estejam devidamente colocados e ajustados. Provavelmente, mesmo sob a implantação de melhorias e modificações à operação, esta ainda será a operação que consumirá mais tempo no *setup*, devido às necessidades impostas pela norma de segurança da máquina, que impedem que esta tenha sua placa móvel movimentada com a porta aberta.

Não levando em consideração os tempos, mas sim as anotações e observações feitas ao longo do acompanhamento metódico de cada *setup*, foi possível identificar os seguintes problemas:

1) Existência de momentos em que o operador permanece parado enquanto o preparador realiza alguma operação e vice-versa

Notou-se que em algumas operações ao longo da troca de moldes, enquanto um exercia alguma operação, o outro permanecia parado, não realizando nenhuma tarefa.

2) Falta de organização das ferramentas de trabalho

Durante todos os *setups*, foi possível identificar uma nítida falta de organização das ferramentas de trabalho. Na maioria das vezes, as ferramentas estavam ou muito distantes do local de trabalho ou distribuídas em alguma outra máquina. Isso fazia com que o operador consumisse um tempo desnecessário para ir procurar por essas ferramentas, aumentando o tempo da troca de molde.

3) Operações internas, somente

Percebeu-se que todas as operações realizadas ao longo do *setup* eram internas, ou seja, com a máquina desligada. Com isto, não há nenhum aproveitamento de operações enquanto a máquina ainda está ligada.

4) Dificuldade em fixar garras com calços

As garras usadas na máquina estudada eram sempre fixadas através de um calço, uma vez que as espessuras das placas dos moldes eram diferentes. O uso do calço fazia necessário procurar um calço compatível com a espessura da placa do molde, o que despendia um tempo muito grande, além da dificuldade em segurar o calço enquanto a garra era fixada. O problema mostrou-se mais severo quando tratou-se da fixação de garras embaixo do molde, já que a posição para segurar os calços era desajeitada, fazendo com que o operador tivesse dificuldades e consumisse mais tempo na operação.

5) Não padronização das operações

A maioria das trocas de moldes analisadas apresentaram diferenças entre si, em termos de ordem de operações. As operações eram realizadas randomicamente, mostrando que a operação não tinha nenhum padrão na ordem das operações, o que, muitas vezes, cooperava para tempos maiores de *setup*, uma vez que a troca não era feita na melhor ordem possível.

Fotos da área de trabalho antes da implantação das melhorias:

Garras de fixação:

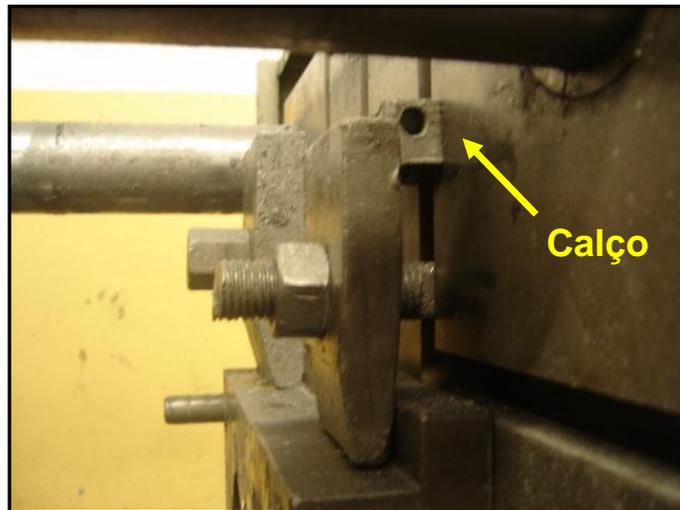


Figura 14 – Garra de fixação sustentada por calço

Mesa de ferramentas:



Figura 15 – Mesa de ferramentas desorganizada

4.3 Proposta de soluções para os problemas e melhorias no processo

Por conta de a fundição sob pressão tratar-se de um processo de produção com características, acessórios, máquina e ferramentas (moldes) específicas, este trabalho considerou uma metodologia legítima para a melhoria dos tempos de *setup*, considerando, porém, alguns dos procedimentos apresentados pela literatura existente. Portanto, tendo em vista os problemas observados ao longo do acompanhamento de cada um dos *setups* realizados, foram propostas as seguintes soluções e melhorias adicionais para as operações de *setup*:

1) Separar operações que serão realizadas pelo operador e pelo preparador

Definindo operações a serem realizadas pelo operador e pelo preparador, é possível determinar uma ordem ideal, de modo que ambos familiarizem-se com suas atividades e, a longo prazo, realizem cada uma de suas operações intuitivamente. Isso elimina a possibilidade de haver alguma dúvida por parte da equipe durante o *setup*, já que as operações foram analisadas minuciosamente a ponto de cada um ter uma função específica no processo.

2) Definição de operações paralelas

Definir operações paralelas consiste em determinar quais operações serão realizadas simultaneamente, ou seja, manter ambos da equipe de *setup* ativos na maior parte do tempo, consumindo o tempo com maior eficiência. Com a análise dos *setups* feita, percebeu-se que existem atividades podem e devem ser inseridas em meio a outras, já que apresentam sinergia entre si, de alguma forma (Ex: a realização da troca de pinos extratores, câmara e pistão é uma atividade que pode ser realizada paralelamente a outra).

3) Implantação dos conceitos dos 5S para as ferramentas usadas

A ferramenta dos 5S irá garantir que todas as ferramentas tenham um local definido na área de trabalho. O simples fato de ter as ferramentas próximas à máquina, devidamente organizadas, irá eliminar qualquer tipo de tempo relacionado à procura por ferramentas, uma vez que estas estarão sempre à mão da equipe de *setup*, no mesmo lugar. Este painel deve conter ferramentas usadas ao longo das trocas e para o processo de operação de máquina.

Para a implantação do painel de ferramentas, baseado nas análises feitas, foram verificadas todas as ferramentas usadas pelo operador de máquina tanto no *setup* quanto na operação de máquina, listadas a seguir:

- 2x Chaves de boca;
- 1x Talhadeira;
- 1x Marreta;
- 1x Espátula;

A proposta consiste em adaptar a atual mesa usada pelo operador de máquina com o painel de ferramentas proposto, diminuindo gastos significativos, uma vez que a estrutura de sustentação da mesa será aproveitada.

4) Conversão de operações internas em externas

A transformação de operações internas em externas, proposta de melhoria já contida na literatura, irá garantir um menor tempo de máquina parada, visto que irá

aproveitar o tempo de produção final do lote anterior para adiantar operações e reduzir o tempo de *setup* significativamente.

5) Trocar garras com calços por garras com niveladores acoplados

Os niveladores acoplados às garras irão abolir o uso dos calços, pois estes poderão regular o nível de fixação da garra conforme a espessura da placa do molde. Além de estas garras melhorarem o manuseio por parte da equipe de *setup*, irão eliminar os calços da área de trabalho, mantendo o ambiente mais limpo e sem ferramentas desnecessárias.

6) Criação e documentação de um trabalho padrão para a operação de *setup*

A criação de um trabalho padrão consiste em definir quais operações serão realizadas ao longo do *setup*, com uma ordem específica. A definição de uma ordem específica irá eliminar qualquer gargalo relacionado à perda de tempo, sendo possível, após uma análise das operações, perceber qual operação deve ser feita em qual momento, dando origem a um procedimento de trabalho dentro das melhores condições de desempenho possível (menor tempo possível). Este documento leva em consideração a transformação de operações internas em externas e as possíveis atividades que podem ser realizadas simultaneamente.

Eis a proposta do novo procedimento de trabalho padrão para a operação de *setup*:

Tabela 9 – Proposta de nova ordem de procedimentos para a operação de *setup*

Setup padrão			
INÍCIO DO SETUP: Quando 95% do lote anterior já tiverem sido injetados			
Número	Operação	Quem realiza	Tipo
1	Aproximar carrinho ao molde de entrada – se necessário, providenciar olhal para o molde	Preparador	Externa
2	Aproximar talha ao molde de entrada, colocá-lo sobre o carrinho e deixar em frente à porta traseira da máquina	Preparador	Externa
3	Providenciar câmara e pistão do molde de entrada	Preparador	Externa
4	Aproximar talha da máquina e prender gancho da mesma no olhal do molde de saída	Ambos	Interna
5	Remover garras	Ambos	Interna
6	Levantar molde de saída e colocar sobre o carrinho	Operador	Interna
7	Remover pinos extratores e trocar câmara e pistão	Preparador	Interna
8	Levantar molde de entrada e colocar na máquina	Operador	Interna
9	Alinhar placa fixa do molde com a câmara	Ambos	Interna
10	Fixar garras da placa fixa do molde	Ambos	Interna
11	Abrir placa móvel da máquina e colocar pinos extratores	Preparador	Interna
12	Fechar placa móvel da máquina e fixar garras restantes	Ambos	Interna
13	Tirar talha da região de trabalho	Ambos	Interna
14	Ajustar fechamento da máquina	Preparador	Interna
15	Consultar fichas de preparação de máquina e inserir regulagem de máquina para a peça	Preparador	Interna
16	Guardar ferramentas utilizadas e limpar área de trabalho	Operador	Interna
17	Levar carrinho com molde de saída e colocar em seu devido lugar na ilha de moldes com a talha	Operador	Externa

Operações em azul: paralelas (iniciadas/realizadas ao mesmo tempo).

7) Introdução de documentos próximos à máquina contendo os procedimentos de trabalho padrão

Após a criação dos procedimentos de trabalho padrão, a introdução de um documento devidamente posicionado na região de trabalho irá facilitar a visualização da equipe de *setup* de todas as tarefas que têm de serem realizadas.

8) Criação de um sistema de notificação sobre o próximo *setup* da máquina em questão

Esta melhoria fez-se necessária após a transformação de algumas atividades internas em externas. Na situação vigente da empresa, o preparador era notificado verbalmente pelo responsável pela produção para saber qual ferramenta iria entrar em máquina; o que é um empecilho para a realização de operações externas, uma vez que o preparador teria de se comunicar frequentemente com o encarregado da produção para saber qual atividade externa realizar para o *setup*. O painel permite que o preparador saiba quando puder iniciar as operações externas a partir da quantidade de lote informada.

Este sistema pretende criar um dinamismo entre os *setups*, garantindo que as trocas ocorram com maior fluidez, evitando equívocos e possíveis trocas de moldes erradas. Tal sistema é constituído de cartões inseridos num pequeno painel, próximos às máquinas. Os cartões contidos representam:

- Molde que entrará em máquina e sua quantidade (informa qual o próximo molde);
- Molde que está em máquina e sua quantidade (informa quando o *setup* deve ocorrer, a partir da quantidade do lote);
- Cartão verde e vermelho: o verde indica que a última operação já foi realizada e o vermelho indica que uma nova operação deve ser realizada.

Estes cartões devem ser administrados pelo responsável pelo encarregado da produção e pelo preparador de máquinas; que, ao atualizarem os cartões frequentemente, estabelecem um “contato informal” entre si, uma vez que o cartão

irá informar a ação que já foi ou que deverá ser tomada na célula em questão (Ex: o molde deverá ser trocado quando o lote atingir 720 peças). Leva-se em consideração que o preparador deve iniciar as operações externas quando o lote atual produzido atingir 95% do lote final, dando tempo para as operações externas quando a produção do lote em questão terminar, ou muito próximo disso.

Assim como a necessidade da documentação de um procedimento de trabalho padrão para a operação de *setup*, para a implantação bem sucedida desta melhoria, além do treinamento, é necessário manter um documento de orientação sobre como o sistema funciona, guiando a equipe de *setup* passo a passo sobre o funcionamento do sistema.

O funcionamento do sistema dos cartões de *setup*, de maneira cíclica, funciona conforme a figura abaixo:

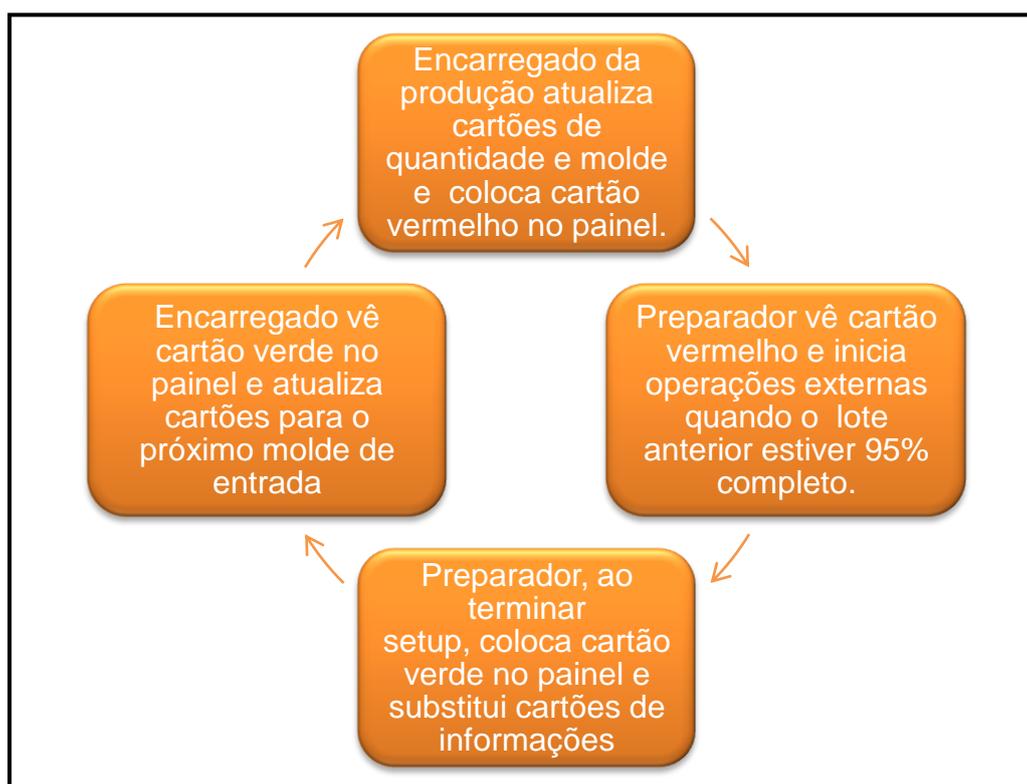


Figura 16 - Ciclo do sistema de cartões de *setup*

A figura abaixo mostra a primeira etapa do painel de *setup*, em que o encarregado da produção, baseado na programação, determina qual o molde que entrará na máquina, sua quantidade e coloca o cartão vermelho. Os 10%

representam um valor adicional que deve ser produzido a cada lote, para compensar as perdas de peças oriundas do processo de fundição (defeitos e perda de temperatura em ciclos após café e almoço).

Situação	Informações sobre setup			
	Ferramenta de entrada	→	993	
	Quantidade p/ ferramenta de entrada	400	+	10%
	Ferramenta em máquina	→	46	
	Quantidade p/ ferramenta em máquina	1000	+	20%

Figura 17 - Representação 1 do painel de *setup*

O preparador de máquinas, ao ver o cartão vermelho no painel, saberá que ele deverá iniciar as operações de *setup* externo com o molde de entrada informada quando o lote atingir 95% de seu valor final (campo em amarelo). O painel da máquina injetora informa a quantidade de peças que foram produzidas. Após realizar as operações externas e então internas, concluindo o *setup*, o preparador inverte o cartão vermelho, deixando o lado verde exposto e substitui todos os cartões com dados sobre o molde de entrada no campo de baixo. Os cartões com informações do molde antigo devem ser colocados num recipiente ao lado, para a posterior coleta pelo encarregado da produção.

Situação	Informações sobre setup	
	Ferramenta de entrada →	
	Quantidade p/ ferramenta de entrada	+
	Ferramenta em máquina →	993
	Quantidade p/ ferramenta em máquina	400 + 10%

Figura 18 - Representação 2 do painel de *setup*

Ao ver o cartão verde, o encarregado da produção sabe que a máquina já passou por *setup* e pode atualizar as informações referentes ao próximo molde que deve ser colocado, recomeçando o ciclo.

Situação	Informações sobre setup	
	Ferramenta de entrada →	362
	Quantidade p/ ferramenta de entrada	750 + 10%
	Ferramenta em máquina →	993
	Quantidade p/ ferramenta em máquina	400 + 10%

Figura 19 - Representação 3 do painel de *setup*

Os “10%” contidos no painel são o valor adicional que deve ser produzido para compensar as perdas de peças provenientes de paradas de máquina (café e almoço).

9) Aproximação dos moldes usados na máquina pela criação de uma “ilha de moldes”

A “ilha de moldes” consiste num espaço em frente à máquina onde todos os moldes usados naquela máquina ficam dispostos lado a lado, evitando o uso de duas talhas para as operações de transporte. A proximidade dos moldes com a máquina irá praticamente eliminar tempos de transporte dos mesmos de um ponto para o outro dentro da fundição; desta forma, operações de *setup* externas e internas poderão ser realizadas mais facilmente.

4.4 Implantação das melhorias propostas e situação da empresa após as mesmas

Cronograma para a implantação das melhorias:

- Aproximação dos moldes à máquina com a “ilha de moldes” e demarcação do local;
- Impressão do documento de *setup* padrão e adaptação do dispositivo de gestão visual;
- Adaptação e implantação das garras com niveladores acoplados;
- Adaptação da mesa com painel de ferramentas;
- Construção do painel de *setup*;
- Treinamento da equipe de *setup* mediante os novos procedimentos em *setup*;

Vale ressaltar que todas as melhorias implantadas ao processo de *setup* tiveram como critério o menor gasto financeiro possível. Desta forma, pretendeu-se criar alternativas econômicas e viáveis para as propostas citadas, ou seja, usar o

mínimo de novos materiais possíveis e tentar adaptar os componentes já existentes aos novos.

Alguns exemplos da aplicação deste critério:

- O painel de ferramentas foi adaptado à antiga mesa, usando-se apenas de uma tábua cortada em pedaços; foi usada uma pequena quantidade de tinta que fora encontrada no armazém da manutenção da empresa;
- As garras de fixação com niveladores foram confeccionadas dentro da empresa a partir de pequenos blocos de aço que não eram usados, sendo posteriormente fresados para comportar o parafuso de fixação e o nivelador;
- O painel de *setup* foi construído com um pedaço de madeirite oriundo da proteção de transporte de uma máquina injetora que havia chegado à empresa recentemente; os cartões usados no painel foram feitos a partir de retalhos de PVC encontrados no arquivo morto;
- O pequeno quadro de gestão visual usado para o documento de *setup* padrão foi cedido pelo setor da gestão da qualidade.

Fotos da área de trabalho após a implantação das melhorias:

Garras de fixação:

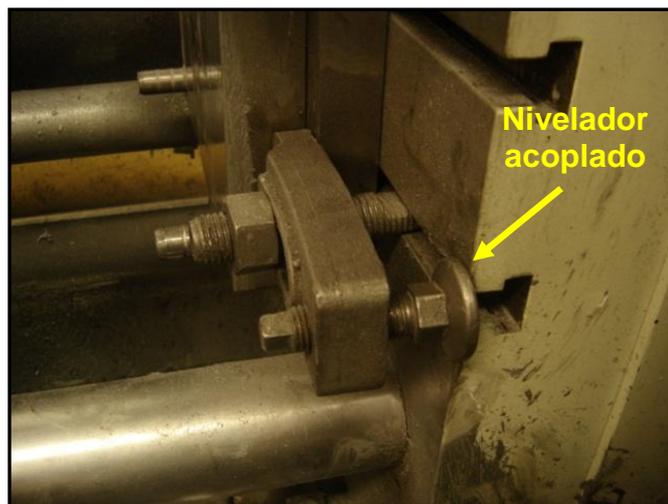


Figura 20 - Garra de fixação com nivelador acoplado

Mesa de ferramentas:



Figura 21 - Mesa de ferramentas devidamente organizada

Ilha de moldes:



Figura 22 – Local para a disposição dos moldes usados na máquina

Painel de *setup*:



Figura 23- Painel de *setup*

Após aplicadas as melhorias propostas, novas cronoanálises dos *setups* foram realizadas, tendo em vista a comparação com os tempos obtidos anteriormente. Desta forma, deve levar-se em consideração que os procedimentos e sua ordem são diferentes, já que esta era uma das melhorias propostas, portanto a comparação se dá apenas entre o tempo de operações internas consumidas:

Setup 1B - 07/07 – 15:25 – Lote: 1200 peças: Troca do molde 133 para o molde 88.

Resultados obtidos a partir da cronoanálise do setup 1B:

Tabela 10 - Cronoanálise do setup 1B

Setup 1B – Molde 133 → 88			
Número	Operação	Tipo	Tempo
1	Aproximar carrinho ao molde de entrada	Externa	00:42
2	Aproximar talha ao molde de entrada, colocá-lo sobre o carrinho e deixar em frente à porta traseira da máquina	Externa	02:11
3	Providenciar câmara e pistão do molde de entrada	Externa	01:15
4	Aproximar talha da máquina e prender gancho da mesma no olhal do molde de saída	Interna	1:07
5	Remover garras	Interna	02:25
6	Levantar molde de saída e colocar sobre o carrinho - Paralelas: Remover pinos extratores – remover câmara e pistão e colocar novos – levantar molde e colocar na máquina	Interna	03:04
7	Alinhar placa fixa do molde com a câmara	Interna	00:39
8	Fixar garras da placa fixa do molde	Interna	01:50
9	Abrir placa móvel da máquina e colocar pinos extratores	Interna	01:15
10	Fechar placa móvel da máquina e fixar garras restantes	Interna	07:23
11	Tirar talha da região de trabalho	Interna	00:20
12	Ajustar fechamento da máquina	Interna	01:20
13	Consultar fichas de preparação de máquina e inserir regulagem de máquina para a peça	Interna	00:40
14	Levar carrinho com molde de saída e colocar em seu devido lugar na ilha de moldes com a talha	Externa	00:35
Tempo total consumido			24:46
Tempo total de setup externo consumido			04:43
Tempo total de setup interno consumido			20:03

Setup 2B - 10/07 – 14:35 – Lote: 1500 peças: Troca do molde 88 para o molde 105A.

Resultados obtidos a partir da cronoanálise do setup 2B:

Tabela 11 - Cronoanálise do setup 2B

Setup 2B – Molde 88 → 105A (1 cavidade operante, apenas)			
Número	Operação	Tipo	Tempo
1	Aproximar carrinho ao molde de entrada	Externa	00:40
2	Aproximar talha ao molde de entrada, colocá-lo sobre o carrinho e deixar em frente à porta traseira da máquina	Externa	02:53
3	Providenciar câmara e pistão do molde de entrada	Externa	00:39
4	Aproximar talha da máquina e prender gancho da mesma no olhal do molde de saída	Interna	01:08
5	Remover garras	Interna	03:37
6	Levantar molde de saída e colocar sobre o carrinho - Paralelas: Remover pinos extratores – remover câmara e pistão e colocar novos – levantar molde e colocar na máquina	Interna	05:00
7	Alinhar placa fixa do molde com a câmara	Interna	01:02
8	Fixar garras da placa fixa do molde	Interna	02:30
9	Abrir placa móvel da máquina e colocar pinos extratores	Interna	02:59
10	Fechar placa móvel da máquina e fixar garras restantes	Interna	04:34
11	Tirar talha da região de trabalho	Interna	00:26
12	Ajustar fechamento da máquina	Interna	00:47
13	Consultar fichas de preparação de máquina e inserir regulagem de máquina para a peça	Interna	00:59
14	Levar carrinho com molde de saída e colocar em seu devido lugar na ilha de moldes com a talha	Externa	01:40
Tempo total consumido			28:54
Tempo total de setup externo consumido			05:52
Tempo total de setup interno consumido			23:02

Setup 3B - 15/07 – 09:20 – Lote: 1500 peças: Troca do molde 105A para o molde 298.

Resultados obtidos a partir da cronoanálise do setup 3B:

Tabela 12 - Cronoanálise do setup 3B

Setup 3B – Molde 105A → 298			
Número	Operação	Tipo	Tempo
1	Aproximar carrinho ao molde de entrada	Externa	00:43
2	Aproximar talha ao molde de entrada, colocá-lo sobre o carrinho e deixar em frente à porta traseira da máquina	Externa	06:34
3	Providenciar câmara e pistão do molde de entrada	Externa	00:30
4	Aproximar talha da máquina e prender gancho da mesma no olhal do molde de saída	Interna	00:51
5	Remover garras	Interna	03:34
6	Levantar molde de saída e colocar sobre o carrinho - Paralelas: Remover pinos extratores – remover câmara e pistão e colocar novos – levantar molde e colocar na máquina	Interna	05:14
7	Alinhar placa fixa do molde com a câmara	Interna	02:42
8	Fixar garras da placa fixa do molde	Interna	01:29
9	Abrir placa móvel da máquina e colocar pinos extratores	Interna	01:10
10	Fechar placa móvel da máquina e fixar garras restantes	Interna	01:29
11	Tirar talha da região de trabalho	Interna	00:51
12	Ajustar fechamento da máquina	Interna	01:26
13	Consultar fichas de preparação de máquina e inserir regulagem de máquina para a peça	Interna	01:45
14	Levar carrinho com molde de saída e colocar em seu devido lugar na ilha de moldes com a talha	Externa	02:03
Tempo total consumido			30:21
Tempo total de setup externo consumido			09:50
Tempo total de setup interno consumido			20:31

Setup 4B - 18/07 – 15:40 – Lote: 2000 peças: Troca do molde 298 para a o molde 105.

Resultados obtidos a partir da cronoanálise do setup 4B:

Tabela 13 - Cronoanálise do setup 4B

Setup 4B – Molde 298 → 105B			
Número	Operação	Tipo	Tempo
1	Aproximar carrinho ao molde de entrada	Externa	00:57
2	Aproximar talha ao molde de entrada, colocá-lo sobre o carrinho e deixar em frente à porta traseira da máquina	Externa	04:01
3	Providenciar câmara e pistão do molde de entrada	Externa	01:20
4	Aproximar talha da máquina e prender gancho da mesma no olhal do molde de saída	Interna	02:34
5	Remover garras	Interna	01:13
6	Levantar molde de saída e colocar sobre o carrinho - Paralelas: Remover pinos extratores – remover câmara e pistão e colocar novos – levantar molde e colocar na máquina	Interna	05:00
7	Alinhar placa fixa do molde com a câmara	Interna	01:30
8	Fixar garras da placa fixa do molde	Interna	01:24
9	Abrir placa móvel da máquina e colocar pinos extratores	Interna	02:11
10	Fechar placa móvel da máquina e fixar garras restantes	Interna	00:53
11	Tirar talha da região de trabalho	Interna	00:55
12	Ajustar fechamento da máquina	Interna	01:05
13	Consultar fichas de preparação de máquina e inserir regulagem de máquina para a peça	Interna	00:55
14	Levar carrinho com molde de saída e colocar em seu devido lugar na ilha de moldes com a talha	Externa	02:46
Tempo total consumido			26:44
Tempo total de setup externo consumido			09:04
Tempo total de setup interno consumido			17:40

Setup 5B - 22/07 – 16:12 – Lote: 1500 peças: Troca do molde 298 para o molde 105A.

Resultados obtidos a partir da cronoanálise do setup 5B:

Tabela 14 - Cronoanálise do setup 5B

Setup 5B – Molde 298 → 105A			
Número	Operação	Tipo	Tempo
1	Aproximar carrinho ao molde de entrada	Externa	01:02
2	Aproximar talha ao molde de entrada, colocá-lo sobre o carrinho e deixar em frente à porta traseira da máquina	Externa	03:24
3	Providenciar câmara e pistão do molde de entrada	Externa	01:54
4	Aproximar talha da máquina e prender gancho da mesma no olhal do molde de saída	Interna	00:58
5	Remover garras	Interna	00:53
6	Levantar molde de saída e colocar sobre o carrinho - Paralelas: Remover pinos extratores – remover câmara e pistão e colocar novos – levantar molde e colocar na máquina	Interna	03:48
7	Alinhar placa fixa do molde com a câmara	Interna	02:00
8	Fixar garras da placa fixa do molde	Interna	03:23
9	Abrir placa móvel da máquina e colocar pinos extratores	Interna	01:01
10	Fechar placa móvel da máquina e fixar garras restantes	Interna	01:11
11	Tirar talha da região de trabalho	Interna	00:53
12	Ajustar fechamento da máquina	Interna	02:55
13	Consultar fichas de preparação de máquina e inserir regulagem de máquina para a peça	Interna	01:23
14	Levar carrinho com molde de saída e colocar em seu devido lugar na ilha de moldes com a talha	Externa	01:57
Tempo total consumido			26:42
Tempo total de setup externo consumido			08:17
Tempo total de setup interno consumido			18:25

A tabela a seguir compara os tempos consumidos nas operações internas de cada *setup* após a implantação das melhorias e a média entre os mesmos – levaram-se em consideração somente os tempos de *setup* interno, já que estes consistem no momento em que a máquina está desligada; desconsiderando qualquer atividade externa, momento em que a máquina ainda está produzindo:

Tabela 15 - Tempos consumidos nas operações internas e suas médias

Operação (Internas)	Tempo consumido (min:seg)					Média
	Setup 1B	Setup 2B	Setup 3B	Setup 4B	Setup 5B	
4	01:07	01:08	00:51	02:34	00:58	01:19
5	02:25	03:37	03:34	01:13	00:53	02:20
6	03:04	05:00	05:14	05:00	03:48	04:25
7	00:39	01:02	02:42	01:30	02:00	01:34
8	01:50	02:30	01:29	01:24	03:23	02:07
9	01:15	02:59	01:10	02:11	01:01	01:43
10	07:23	04:34	01:29	00:53	01:11	03:06
11	00:20	00:26	00:51	00:55	00:53	00:41
12	01:20	00:47	01:26	01:05	02:55	01:30
13	00:40	00:59	01:45	00:55	01:23	01:08
Total	20:03	23:02	20:31	17:40	18:25	19:56

Com um gráfico entre os tempos médios consumidos em cada operação interna, é possível ver nitidamente quais operações consomem mais tempo ao longo do *setup*:

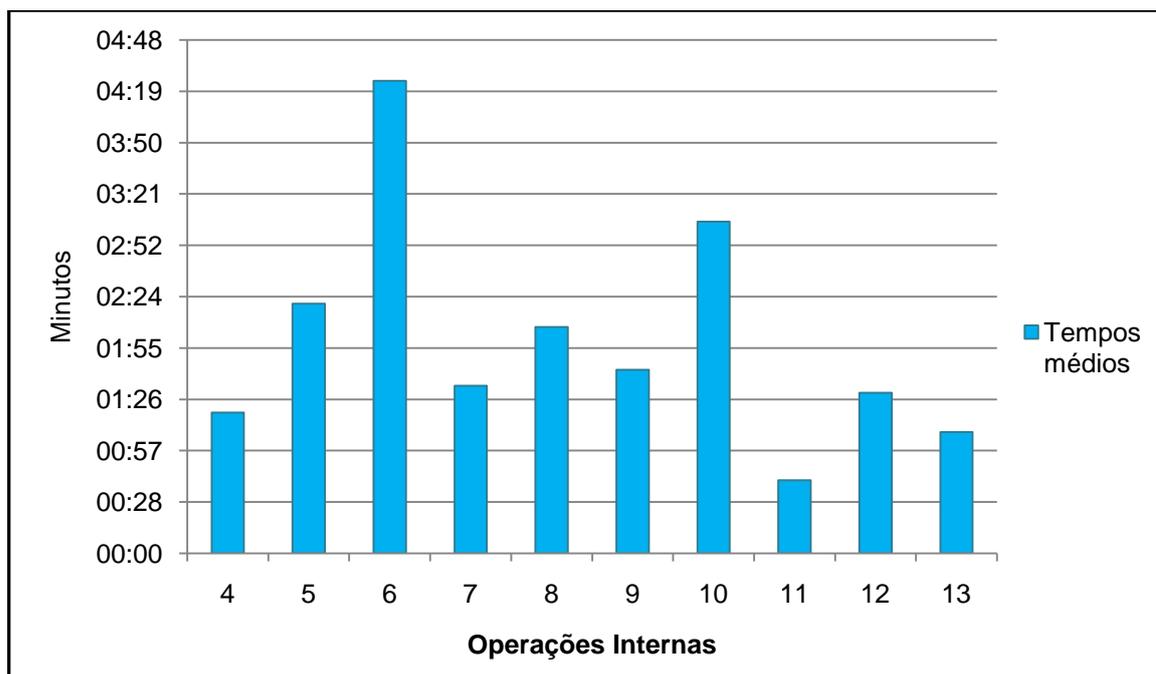


Figura 24 - Comparação entre os tempos médios consumidos em cada operação interna

Diferente dos tempos obtidos antes das melhorias, neste gráfico percebe-se uma maior distribuição dos tempos, diferente do gráfico anterior, onde há uma maior discrepância de um tempo em relação aos outros. Isto se deve à implantação de operações paralelas e a melhor alocação das tarefas ao longo do *setup*, provenientes da proposta do trabalho padrão a ser realizado.

A tabela a seguir apresenta o tempo médio de *setup* antes e após a implantação das melhorias, contemplando percentualmente a diminuição deste tempo; em outras palavras, em quanto foi possível reduzir o tempo de *setup* após a implantação das melhorias propostas.

Tabela 16 - Comparação entre o tempo de *setup* antes e após a implantação das melhorias

Média de tempo consumido nos <i>setups</i>		Diminuição no tempo de <i>setup</i> após a implantação das melhorias	
Antes da implantação das melhorias (min:seg)	Após a implantação das melhorias (min:seg)	Em minutos	Em %
36:49	19:56	16:53	54,14

5 CONCLUSÕES

O trabalho teve um bom desenvolvimento devido ao entrosamento da equipe de *setup* e a união de idéias durante o *brainstorming*, “preenchendo” lacunas nos problemas que existiam anteriormente na troca de moldes com opiniões de diferenciados pontos de vista.

Conforme as melhorias foram propostas e aplicadas aos novos *setups*, notou-se que algumas tiveram um maior impacto na redução do tempo de troca. Pode-se afirmar que a aproximação dos moldes à máquina, a criação de operações paralelas e externas e a modificação nas garras de fixação foram as melhorias que representaram os maiores ganhos neste trabalho.

A aproximação dos moldes à máquina aliada à implantação do *setup* externo eliminou significativos tempos de transporte e manuseio dos moldes; as operações paralelas garantiram que os integrantes da equipe de *setup* se mantivessem ativos o máximo possível ao longo da troca; as novas garras, por sua vez, eliminaram ajustes oriundos dos calços e proporcionaram maior ergonomia durante o processo.

Desta forma, este estudo de propostas para a diminuição no tempo de *setup* realizado com uma máquina injetora de câmara fria de 180 ton. de capacidade de fechamento, levando em consideração as cronoanálises realizadas e as melhorias implantadas, possibilitou a redução no tempo da troca de moldes em 54,14% ou 16:53 minutos.

6 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A realização deste trabalho possibilita estudos futuros sobre manufatura enxuta dentro do campo da fundição sob pressão, em específico, no que tange à troca de moldes e melhorias para o processo de *setup*, acrescentando os seguintes aspectos:

- *Setup* em máquinas injetoras de câmara quente;
- *Setup* em máquinas injetoras de câmara fria de alta capacidade de fechamento (1000 a 3000 ton.);
- Padronização de operações para o *setup* de moldes com gavetas hidráulicas e/ou refrigeradas;
- Comparação sobre o uso de talhas móveis e ponte rolante em operações de *setup* em máquinas injetoras;
- Estudo de viabilidade do uso de empilhadeiras para a troca de moldes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PEREIRA, M. F. V. T.; WILLIAMS M.; DU PREEZ B. Application of laser additive manufacturing to produce dies for aluminium high pressure die casting. South African Journal of Industrial Engineering, South Africa, v. 23, n. 2, p. 147-158, 2012.
- [2] VIANA, D. J. Aplicação do método de Taguchi para redução de porosidade de peças fundidas sob pressão. 2012. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade de Taubaté, São Paulo, 2012.
- [3] SHINGO, S. Sistema de troca rápida de ferramenta: uma revolução nos sistemas produtivos. Tradução de Eduardo Schaan, Cristina Schumacher. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- [4] MOURA, R. A.; BANZATO, E. Redução do tempo de Setup: troca rápida de ferramentas e ajustes de máquinas. São Paulo: IMAM, 1996.
- [5] KOSEC, B. Failures of dies for die-casting of aluminium alloys. Metalurgija, Slovenia, v. 47, n. 1, p. 51-55, 2011.
- [6] WU, W.; ZHANG, Y.; LI, F.; LIU. Z. An optimization of injecting system in die casting Z. China Academic Journal Electronic Publishing House, China, v. 2, n. 2, p. 11-116, 2005.
- [7] CARDINALI, A.; TOLEDO. E. F. A influencia do teor de alumínio em injetados sob pressão nas ligas de zinco. 2011. 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Tecnologia SENAI "Nadir Dias de Figueiredo", São Paulo, 2011.
- [8] LOURENÇO, Nuno; MOURA, Rui. Fundição Injectada. FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, junho 2001;
- [9] PETI, F.; GRAMA, L. Analyze of the possible causes of porosity type defects in aluminium high pressure diecast parts. Scientific Bulletin of the Petru Maior University of Targu Mures, Romania, v. 8, n. 1, p. 41-44, 2011.

- [10] SAE International J452 – Surface Vehicle Information Report – General Information – Chemical Compositions, Mechanical and Physical Properties of SAE Aluminium Casting Alloys. Revised 2003-12.
- [11] PERINIC, M.; IKONIC, M.; MARICIC, S. Die casting process assessment using Single Minute Exchange Of Dies (SMED) method. *Metalurgija, Croatia*, v. 48, n. 3, p. 199-202, 2009.
- [12] KARUNA, K. G.; RAMTEJA, K. Modal analysis of porosity defects in high pressure die casting with a neural network. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), India*, v. 2, n. 1, p. 38-42, 2012.
- [13] MORO, N.; AURAS, A. P. *Processos de fabricação: Fundição*. Santa Catarina: Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, 2007. p. 15-19.
- [14] MALAVAZI, J. *Defeitos em peças fundidas sob pressão: causas e soluções prováveis*. São Paulo, 1998. 88 p.
- [15] NDALIMAN, M. B.; PIUS, A. P. Behaviour of aluminium alloy castings under different pouring temperatures and speeds. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, Romania*, v. 6, n. 11, p. 71-80, 2007.
- [16] AYOOLA, W. A.; ADEOSUN, S. O.; SANNI, O. S.; OYETUNJI, A. Effect of casting mould on mechanical properties of 6063 aluminium alloy. *Journal of Engineering Science and Technology, Nigeria*, v. 7, n. 1, p. 88-96, 2012.
- [17] REINERT, A. F.; SANTANA, H. A. *Moldes de injeção*. Paraná: Centro de Educação Tecnológica do Paraná, 2004, Módulo 1, p: 1-3.
- [18] BORKOWSKI, S.; CZAJKOWSKA, A. Modernity of parts in casting machines and coefficients of total productive maintenance. *Foundry Commission of the Polish Academy of Sciences, Poland*, v. 10, n. 4, p. 13-16, 2010.

- [19] NEHA, S.; SINGH, M. G.; SIMRAN, K.; PRAMOD, G. Lean manufacturing tool and techniques in process industry. *International Journal of Scientific Research and Reviews*, India, v. 2, n. 1, p. 54-63, 2013.
- [20] ADANNA, I. W.; SHANTHARAM, A. Improvement of setup time and production output with the use of SMED principles. *International Journal of Engineering Research*, India, v. 2, n. 4, p. 274-277, 2013.
- [21] WOMACK, J. P. *The machine that changed the world: based on the Massachusetts Institute of Technology 5-million dollar 5-year study on the future of the automobile*, New York: Rawson Associates, 1990.
- [22] HERMAN, C.; THIEDE, S.; STEHR, J.; BERGMANN, L. An environmental perspective on Lean Production. In: *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier: The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, Tokyo, Japan, May 26-28, 2008.
- [23] WOMACK, J. P. *Lean Thinking*. New York: Simon & Schuster Audio, 2003.
- [24] MEZGEBE, T. T.; ASGEDOM, H. B.; DESTA, A. Economic analysis of Lean Wastes: case studies of textile and garment industries in Ethiopia. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, Etiopia, v. 3, n. 8, p. 101-128, 2013.
- [25] FAWAZ, A. *Lean Manufacturing Tools and Techniques in the Process Industry with a focus on Steel*. PhD Thesis - School of Engineering, University of Pittsburg, Pittsburg, USA, p. 40-50, 2003.
- [26] ANA, R. Implementing Lean Manufacturing. *The Annals of "Dunărea De Jos" in Machine Building*, Romania, v. 5, n. 1, p. 2-10, 2008.

- [27] WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. The Machine That Changed the World, 1990, p. 27 – 30.
- [28] SHINGO, S. Sistemas de produção com estoque zero. Porto Alegre : Bookman, 1996.
- [29] MONDEM, Y. O sistema Toyota de produção. São Paulo : IMAM, 1983.
- [30] HAY, E. J. Any machine set-up time can be reduced 75%. s.l.: Industrial Engineering, 1987. 21. K.
- [31] BLACK, J. T. O projeto da fábrica com futuro. Porto Alegre : Bookman, 1998.
- [32] KANNENBERG, G. Proposta de sistemática para implantação de Troca Rápida de Ferramentas - Dissertação de Mestrado em Engenharia da Produção – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- [33] AMARO, C. S. P. M. Melhoria na manutenção de máquinas injetoras. 2009. 103 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Portugal, 2009.

ANEXO I

		SETUP PADRÃO		Nº	XX/14
Setor:		Fundição		Página: 1/3	
Célula:		Máquina Injetora			
INÍCIO DO SETUP: Quando 95% do lote anterior já tiverem sido injetados					
Nº	Operação	Quem realiza?	Tipo		
1	Aproximar carrinho ao molde de entrada - se necessário, providenciar olhal para o molde	Preparador	Maq. Lig.		
2	Aproximar talha ao molde de entrada, colocá-lo sobre o carrinho e deixar em frente à porta traseira da máquina	Preparador	Maq. Lig.		
3	Verificar diâmetro da câmara e do pistão do molde de entrada, providenciá-los e deixá-los ao lado da máquina	Preparador	Maq. Lig.		
4	Aproximar talha da máquina e prender gancho da mesma no olhal do molde de saída	Ambos	Maq. Deslig.		
5	Remover garras	Ambos	Maq. Deslig.		
6	Levantar molde de saída e colocar sobre o carrinho	Operador	Maq. Deslig.		
ELABORADO		APROVADO		DATA	
Preparador de máquinas		Diretor Industrial		25/06/2014	
				REVISÃO	
				00	

	SETUP PADRÃO		Nº XX/14
Setor:	Fundição		Página: 2/3
Célula:	Máquina Injetora		
<u>Operações em azul: iniciadas ou realizadas ao mesmo tempo</u>			
Nº	Operação	Quem realiza?	Tipo
7	Remover pinos extratores e trocar câmara e pistão	Preparador	Maq. Deslig.
8	Levantar molde de entrada e colocar na máquina	Operador	Maq. Deslig.
9	Alinhar placa fixa do molde com a câmara	Ambos	Maq. Deslig.
10	Fixar garras da placa fixa do molde	Ambos	Maq. Deslig.
11	Abrir placa móvel da máquina e colocar pinos extratores	Preparador	Maq. Deslig.
12	Fechar placa móvel da máquina e fixar garras restantes	Ambos	Maq. Deslig.
ELABORADO		APROVADO	
Preparador de Máquinas		Diretor Industrial	
		DATA	REVISÃO
		25/06/2014	00

	SETUP PADRÃO		Nº XX/14
Setor:	Fundição		Página: 3/3
Célula:	Máquina Injetora		
<u>Operações em azul: iniciadas ou realizadas ao mesmo tempo</u>			
Nº	Operação	Quem realiza?	Tipo
13	Tirar talha da região de trabalho e colocá-la em frente à ilha de moldes	Ambos	Maq. Deslig.
14	Ajustar fechamento da máquina	Preparador	Maq. Deslig.
15	Consultar fichas de preparação de máquina e inserir regulagem de máquina para a peça	Preparador	Maq. Deslig.
16	Guardar ferramentas utilizadas e limpar área de trabalho	Operador	Maq. Deslig.
17	Levar carrinho com o molde de saída e colocar em seu devido lugar na ilha de moldes com a talha	Operador	Maq. Lig.
ELABORADO Preparador de Máquinas		APROVADO Diretor Industrial	
		DATA 25/06/2014	REVISÃO 00

ANEXO II

	Manual de uso do painel de setup	Nº XX/14
Setor:	Fundição	
Célula:	Máquina Injetora	
1	Encarregado da produção coloca cartões no campo de cima com as informações do próximo molde que deverá entrar em máquina e altera o cartão de situação para a cor VERMELHA .	
2	Preparador, ao passar pela máquina, vê cartão vermelho e sabe que a máquina já tem suas informações sobre o próximo setup.	
3	Preparador deve iniciar as operações de setup <u>EXTERNO</u> quando o lote do molde em máquina alcançar 95% da quantidade a ser injetada.	
4	Operador, ao injetar 100% do lote, chama o preparador novamente, para inicializar as operações de setup <u>INTERNO</u> .	
5	Ao concluir o setup, preparador deve inverter o cartão de 'situação' para a cor VERDE e substituir os cartões do campo de cima no campo de baixo (molde em máquina). Os cartões do molde anterior devem ser colocados na caixa ao lado, para coleta.	
6	Ao ver o cartão verde no painel, o encarregado deve atualizar os cartões do campo de cima, indicando qual será o próximo molde de entrada e recomeçando o ciclo. Os cartões da caixa devem ser coletados pelo encarregado neste momento.	
ELABORADO Preparador de Máquinas	APROVADO Diretor Industrial	DATA 27/06/2014
		REVISÃO 00