



PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA CORTA GITO EM UMA MÁQUINA DE INJEÇÃO DE ZAMAK

GABRIELLA HALICKI SAFRAITER

setembro de 2017

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA CORTA GITO EM UMA MÁQUINA DE INJEÇÃO DE ZAMAK

Gabriella Halicki Safraiter

2017

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA CORTA GITO EM UMA MÁQUINA DE INJEÇÃO DE ZAMAK

Gabriella Halicki Safraiter

1160154

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva e do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, Professores Adjuntos do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

2017

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

Doutor Denilson Jose Marcolino de Aguiar

Professor do Magistério Superior, Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Co-orientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

AGRADECIMENTOS

Minha maior gratidão a Deus que me abençoa todos os dias e me proporcionou conhecer todas as pessoas que me ajudaram nessa jornada.

Aos meus pais, que mesmo com um oceano de distância e via *FaceTime* foram o meu apoio em todos os momentos que pensei em desistir.

Ao meu orientador e coordenador de curso, professor Francisco José Gomes da Silva, pela imensa ajuda intelectual e por toda a compreensão nos momentos que precisei.

Ao meu co-orientador, professor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, pela ajuda nas correções e detalhes.

Aos coordenadores de curso da UTFPR, professor Laercio Javarez Junior e professor Marcelo Vasconcelos de Carvalho pela dedicação e incentivo que me possibilitaram a minha experiência em outra instituição de ensino.

A todos os professores do ISEP e da UTFPR, que contribuíram para a construção do conhecimento durante a minha graduação.

Ao supervisor de estágio, engenheiro Mario Cardoso, pelo acolhimento, compreensão, confiança e pela oportunidade de realizar este projeto.

Aos amigos que conheci em Porto, os quais foram a minha família e meu pedaço do Brasil em Portugal. Aos amigos que ficaram no Brasil, mas que sempre estiveram presentes *online* e no meu coração.

Em especial ao Albari Antunes Junior, que mesmo com minha ausência não mediu esforços para me "socorrer" quando eu mais precisei. Meu obrigado do fundo do coração.

PALAVRAS CHAVE

Injeção de Zamak, gito, mecanismo corta gito, melhoria de processo, redução de custos.

RESUMO

As empresas estão em uma busca diária pela diminuição de custos e, conseqüentemente, aumento dos lucros. Uma das formas mais vantajosas e econômicas de fazer isso é efetuar melhorias contínuas nos processos de produção já existentes. Entretanto, para fazê-lo de forma realmente lucrativa, é necessário uma análise profunda nos parâmetros de produção, de forma a identificar as falhas existentes ou possibilidades reais de melhorias.

No projeto, será desenvolvido um mecanismo que, de uma forma simples e eficiente, faça a quebra do gito utilizando embasamento teórico das áreas de mecânica e pneumática.

O objetivo do desenvolvimento desse projeto é principalmente a redução de custos. Entretanto, existem ganhos secundários, como padronização das peças produzidas e maior automatização da linha de produção. O projeto e a implementação de um sistema corta gito em uma máquina injetora de Zamak diminuirá o tempo de ciclo do produto, bem como reduzirá custos com mão de obra.

KEYWORDS

Injection of Zamak, gito, mechanism short gito, process improvement, cost reduction.

ABSTRACT

Companies are trying to reduce costs, consequently, increasing their profits. One of the most suitable and cost-effective way to do this is implementing continuous improvement policies to already existing manufacturing processes. However, in order to do that in the best way, it is necessary a deep analysis about the manufacturing parameters and wastes, identifying by this way the real lacks of production and address the best improvement solutions.

The main goal of this project was to decrease costs. However, there are secondary gains, such as parts standardization and higher production line automation. The design of a small system should make a Zamak injection machine much more productive, decreasing the cycle time as well as reduce the associated labor cost.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Unidades

bar	bar
m	metro
N	Newton
Pa	Pascal

Lista de Símbolos

A_{haste}	Área da haste do pistão (m ²)
A_C	Área da secção de corte (m ²)
A_{AV}	Área de avanço (m ²)
A_{RET}	Área de retorno (m ²)
F_{AV}	Força de avanço teórica (N)
F_C	Força de corte (N)
F_{RET}	Força de retorno teórica (N)
F_{TBA}	Força de trabalho no avanço (N)
F_{TBR}	Força de trabalho no retorno (N)
F_{EA}	Força efetiva no avanço (N)
F_{ER}	Força efetiva no retorno (N)
P	Pressão de trabalho (bar)
r_{haste}	Raio da haste do pistão (m)
r	Raio do pistão interno (m)
τ_{cis}	Tensão de cisalhamento do material a ser cortado (Pa)

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Massalote	Reservas de metal que preenche os espaços que vão se formando à medida que a peça fundida vai se solidificando e se contraindo.
-----------	---

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - PRODUÇÃO DE TUBOS SEM COSTURA POR CENTRIFUGAÇÃO.	39
FIGURA 2 - ESQUEMA GERAL DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO POR BAIXA PRESSÃO.	41
FIGURA 3 - SEQUÊNCIA DE OPERAÇÃO DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO EM BAIXA PRESSÃO.	42
FIGURA 4 - COMPONENTE ELETRÔNICO DE ZINCO COM ESPESSURAS DE PAREDE DE 0,5MM.	43
FIGURA 5 - TRANSIÇÃO PARA FLUXO TURBULENTO EM TUBO CIRCULAR	44
FIGURA 6 - PADRÃO DE FLUXO NA REGIÃO DE MOVIMENTO DO PISTÃO.	45
FIGURA 7 - SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO EM CÂMARA QUENTE.	47
FIGURA 8 - MÁQUINA DE INJEÇÃO DO TIPO CÂMARA FRIA	48
FIGURA 9—DESENHO ESQUEMÁTICO DE MOLDES E RODA INJETADA	49
FIGURA 10 - ESQUEMA DA PRIMEIRA MÁQUINA DE FUNDIÇÃO INJETADA, PATENTEADA POR STURGISS, EM 1849.	50
FIGURA 11 - ESQUEMA DE UMA MÁQUINA DE INJEÇÃO EM CÂMARA FRIA.	51
FIGURA 12 - ESQUEMA DE UMA MÁQUINA DE INJEÇÃO EM CÂMARA QUENTE.	51
FIGURA 13—MAPA DE CONTROLE PARA A CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS	56
FIGURA 14 - EXEMPLO DE HISTOGRAMA	57
FIGURA 15 - DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO	58
FIGURA 16 - EXEMPLO DE GRÁFICO DE CONTROLE	60
FIGURA 17 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO: CORRELAÇÃO POSITIVA, CORRELAÇÃO NEGATIVA E CORRELAÇÃO INEXISTENTE	61
FIGURA 18 - TRINCO INJETADO ANTES DA QUEBRA DO GITO	72
FIGURA 19 - TRINCO DEPOIS DA QUEBRA DO GITO	73
FIGURA 20 - MÁQUINA INJETORA DE ZAMAK	74
FIGURA 21 - DETALHE DA MÁQUINA INJETORA	75
FIGURA 22 - PRIMEIRA VERSÃO DO MECANISMO CORTA GITO	80
FIGURA 23 - POSIÇÃO INICIAL DO CICLO DE CORTE DE GITO	80
FIGURA 24 - MECANISMO CORTA GITO NA POSIÇÃO 2	81
FIGURA 25 - MECANISMO CORTA GITO NA POSIÇÃO FINAL/SINAL	82
FIGURA 26 - VISTA ISOMÉTRICA DO NOVO PROJETO	84
FIGURA 27 - ATUADORES 1, 2 E 3	85
FIGURA 28 - GARRA E ATUADOR 3	85
FIGURA 29 - ATUADORES 2 E 4	86
FIGURA 30 - MODELO ISOMÉTRICO DA RÉGUA-GUIA	89
FIGURA 31 - MODELO ISOMÉTRICO DO CARRINHO HORIZONTAL	90

FIGURA 32 - MODELO ISOMÉTRICO DO CARRINHO VERTICAL	90
FIGURA 33 - MODELO ISOMÉTRICO DA GARRA	91
FIGURA 34 - MODELO ISOMÉTRICO DA MESA DE SUPORTE	92
FIGURA 35 - MODELO ISOMÉTRICO DO PUNÇÃO DE CORTE	93
FIGURA 36 - MODELO ISOMÉTRICO DA GUIA DO APOIO	94
FIGURA 37 - MODELO ISOMÉTRICO DO APOIO DO TRINCO	94
FIGURA 38 - MODELO ISOMÉTRICO DO SUPORTE DO MECANISMO	96
FIGURA 39 - MODELO ISOMÉTRICO DO APOIO DIREITO DOS VEIOS	96
FIGURA 40 - MODELO ISOMÉTRICO DO APOIO ESQUERDO DOS VEIOS	97
FIGURA 41 - MODELO ISOMÉTRICO DO SUPORTE DO CILINDRO	97
FIGURA 42 - MODELO ISOMÉTRICO DO APOIO SUPERIOR DOS VEIOS	98
FIGURA 43 - MODELO ISOMÉTRICO DO APOIO INFERIOR DOS VEIOS	98
FIGURA 44 - MODELO ISOMÉTRICO DA RAMPA	99
FIGURA 45 - MODELOS ISOMÉTRICO DA RAMPA DIREITA	99
FIGURA 46 - MODELO ISOMÉTRICO DA RAMPA ESQUERDA	100
FIGURA 47 - MODELO ISOMÉTRICO DO SUPORTE SUPERIOR	100
FIGURA 48 - MODELO ISOMÉTRICO DO SUPORTE DO SISTEMA DE CORTE	101
FIGURA 49 - MODELO ISOMÉTRICO DO VEIO MAIOR	102
FIGURA 50 - MODELO ISOMÉTRICO DA PEÇA 10	102
FIGURA 51 - REGIÕES ONDE OCORRE A QUEBRA DO GITO	103
FIGURA 52 - CILINDRO NORMALIZADO DSNU-16-150-PPV-A	108
FIGURA 53 - CILINDRO NORMALIZADO DSNU-20-20-P-A	108
FIGURA 54 - CILINDRO NORMALIZADO DSN-12-25-P	109
FIGURA 55 - CILINDRO NORMALIZADO ADN-25-10-A-P-A	110
FIGURA 56 - PARAFUSOS ALLEN COM CABEÇA SEXTAVADA	110
FIGURA 57 - ROLAMENTO LINEAR DE ESFERAS	111
FIGURA 58 - VISTA EXPLODIDA DO MODELO ISOMÉTRICO DOSUBCONJUNTO 1	116
FIGURA 59 - SUBCONJUNTO 1 EM ANDAMENTO	117
FIGURA 60 - MODELO ISOMÉTRICO DO SUBCONJUNTO 1	117
FIGURA 61 - VISTA EXPLODIDA DO MODELO ISOMÉTRICO DO SUBCONJUNTO 2	118
FIGURA 62 - VISTA ISOMÉTRICADO SUBCONJUNTO 2	118
FIGURA 63 - SUBCONJUNTO 2 FINALIZADA	119
FIGURA 64 - VISTA EXPLODIDA DO MODELO ISOMÉTRICO DOSUBCONJUNTO 3	119
FIGURA 65 - MODELO ISOMÉTRICO DA MONTAGEM 3	120
FIGURA 66 - SUBCONJUNTO 3 FINALIZADA	120
FIGURA 67 - VISTA EXPLODIDA DO MODELO ISOMÉTRICO DO SUBCONJUNTO 4	121
FIGURA 68 - SUBCONJUNTO 4 EM ANDAMENTO	122
FIGURA 69 - VISTA ISOMÉTRICA DO SUBCONJUNTO 4	122

FIGURA 70 - SUBCONJUNTO 4 FINALIZADA	123
FIGURA 71 - VISTA EXPLODIDA ISOMÉTRICA DO SUBCONJUNTO 5	123
FIGURA 72 - SUBCONJUNTO 5 EM ANDAMENTO	124
FIGURA 73 - VISTA ISOMÉTRICA DOSUBCONJUNTO 5	124
FIGURA 74 - SUBCONJUNTO 5 FINALIZADO	125
FIGURA 75 - VISTA EXPLODIDA DO MODELO ISOMÉTRICO DOSUBCONJUNTO 6	125
FIGURA 76 - VISTA ISOMÉTRICA DOSUBCONJUNTO 6	126
FIGURA 77 - SUBCONJUNTO 6 FINALIZADO	126
FIGURA 78 - EXEMPLO DE SINAIS QUE INDICAM PERIGO	127

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - EXEMPLO DE ESTRATIFICAÇÃO DA INFORMAÇÃO	54
TABELA 2 - QUADRO DE PERGUNTAS DO 5W2H	61
TABELA 3 - QUADRO DE UTILIZAÇÃO DOS 5 PORQUÊS	62
TABELA 4 - QUADRO DOS CINCO SENSOS	63
TABELA 5 - DADOS COLETADOS NA FASE DE OBSERVAÇÃO DO FENÔMENO	76
TABELA 6 - IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS NA FASE DE ANÁLISE DAS CAUSAS	77
TABELA 7 - ELABORAÇÃO DO 5W2H NA FASE DO PLANO DE AÇÃO	78
TABELA 8 - FASE DE VERIFICAÇÃO PARCIALMENTE DESENVOLVIDA	79
TABELA 9 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%) DO AÇO AISI D2	87
TABELA 10 - PROPRIEDADES DO AÇO AISI D2 ÀS TEMPERATURAS DE 20°C, 200°C E 400°C	87
TABELA 11 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%) DO AÇO AISI D3	87
TABELA 12 - PROPRIEDADES DO AÇO AISI D3 ÀS TEMPERATURAS DE 20°C E 400°C	88
TABELA 13 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%) DO AÇO AISI 1045.	95
TABELA 14 - PROPRIEDADES MECÂNICAS GERAIS DO AÇO AISI 1045.	95
TABELA 15 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS VEIOS DE PRECISÃO INA	101
TABELA 16 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DA LIGA ZAMAK 5	104
TABELA 17 - RESULTADOS OBTIDOS PARA AS FORÇAS DE AVANÇO DOS ATUADORES PNEUMÁTICOS LINEARES	106
TABELA 18 - RESULTADOS OBTIDOS PARA AS FORÇAS DE RETORNO DOS ATUADORES PNEUMÁTICOS LINEARES	107
TABELA 19 - ORÇAMENTAÇÃO DA MAQUINAÇÃO	112
TABELA 20 - ORÇAMENTAÇÃO DA MONTAGEM	112
TABELA 21 - ORÇAMENTAÇÃO DOS MATERIAIS	113
TABELA 22 - ANÁLISE FMEA	115
TABELA 23 - ELEMENTOS DE LIGAÇÃO UTILIZADOS NOSUBCONJUNTO 1	117
TABELA 24 - ELEMENTOS DE LIGAÇÃO UTILIZADOS NA MONTAGEM DO SUBCONJUNTO 2	118
TABELA 25 - ELEMENTOS DE LIGAÇÃO UTILIZADOS NA MONTAGEM DO SUBCONJUNTO 3	120
TABELA 26 - ELEMENTOS DE LIGAÇÃO UTILIZADOS NA MONTAGEM DO SUBCONJUNTO 4	122
TABELA 27 -ELEMENTOS DE LIGAÇÃO UTILIZADOS NO SUBCONJUNTO 5	124
TABELA 28 -ELEMENTOS DE LIGAÇÃO UTILIZADOS NO SUBCONJUNTO 6	125
TABELA 29 - PLANO DE MANUTENÇÃO DIÁRIO	128
TABELA 30 - PLANO DE MANUTENÇÃO MENSAL	131

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	30
1.1	Enquadramento	30
1.2	Objetivos	31
1.3	Metodologia	31
1.4	Estrutura da dissertação	32
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1	Processos de Fundição	35
2.1.1	Fundição em moldação não-permanente	36
2.1.2	Fundição em moldação permanente	38
2.2	Fundição injectada	42
2.2.1	Fundição injectada em câmara quente	46
2.2.2	Fundição injectada em câmara fria	47
2.3	Moldes para fundição injectada	49
2.4	Máquinas para fundição injectada	50
2.5	Evoluções registradas na fundição injectada	52
2.6	Materiais normalmente usados na fundição injectada	52
2.7	Ferramentas da qualidade	53
2.7.1	Estratificação	54
2.7.2	Mapas de Controle	55
2.7.3	Gráfico de Pareto	56
2.7.4	Histograma	57
2.7.5	Diagrama de Causa e Efeito	58
2.7.6	Gráficos de Controle	59
2.7.7	Diagrama de Dispersão	60

2.7.8	5W2H	60
2.7.9	5 Porquês	62
2.7.10	5S	62
2.8	PDCA (Plan-Do-Check-Act)	64
2.8.1	Fase P	65
2.8.2	Fase D	67
2.8.3	Fase C	67
2.8.4	Fase A	68
3	DESENVOLVIMENTO	71
3.1	Caracterização da PPRR METAL	71
3.2	Caracterização do problema	71
3.3	Requisitos principais	72
3.4	Ferramentas de análise para a identificação do problema e possíveis soluções	74
3.5	Projecto	83
3.5.1	Projecto mecânico e peças	83
3.5.2	Projecto eletro-pneumático	103
3.5.3	Projecto de segurança	107
3.5.4	Lista de componentes normalizados	107
3.6	Orçamentação	111
3.7	Análise FMEA	113
3.8	Manual de montagem	116
3.9	Manual de Operação e Segurança	127
3.10	Manual de manutenção	127
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	135
4.1	CONCLUSÕES	135
4.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	135

5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	139
5.1	ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS	141
6	ANEXOS	145
6.1	ANEXOS A	145
6.2	ANEXOS B	149

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

1.2 OBJETIVOS

1.3 METODOLOGIA

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação irá apresentar o desenvolvimento de um sistema mecânico para a automatização de uma das etapas do processo de fabrico de um trinco de automóvel para uma empresa industrial em Portugal. O projeto foi feito de modo minucioso e com muita atenção aos detalhes e a todas as variáveis, já que foi um trabalho implementado em uma máquina já em operação.

Antes da apresentação do projeto desenvolvido na empresa, será apresentada uma revisão bibliográfica acerca dos temas necessários e que servirá de embasamento teórico para melhor compreensão de todo o processo.

1.1 Enquadramento

As ligas Zamak estão presentes em vários ramos da indústria mundial, desde o fabrico de acessórios e etiquetas para vestuário, componentes de ferramentas e ferragens, até peças para a indústria automotiva. Com a crescente aplicabilidade e utilização dessa liga, aumenta-se o número de máquinas para a injeção de Zamak, e conseqüentemente, aumenta-se a produção de peças a utilizar essa liga. Com relação aos custos de produção, o objetivo das indústrias é sempre diminuí-los ao máximo, e dessa forma, aumentar o lucro e a rentabilidade das empresas. Assim, justifica-se a constante busca pela melhoria das máquinas e aproveitamento dos processos.

A máquina de injeção de Zamak em questão já possui alguns processos automatizados: os processos de fundição do lingote, injeção do metal líquido e retirada da peça do molde através de um sopro de ar comprimido. Entretanto, depois da peça retirada do molde de injeção, é necessária a quebra manual do gito presente na peça, resultante do processo de fundição por injeção. Assim, justifica-se projetar e implementar um sistema automatizado a acoplar, à máquina já existente, que tenha a função de quebrar o gito da peça, dispensando a mão de obra necessária para esta função.

1.2 Objetivos

Este trabalho obedeceu ao pedido de uma empresa que fabrica peças e acessórios de Zamak, e que também produz as máquinas de injeção de Zamak. A empresa tinha como objetivo reduzir o tempo de ciclo e otimizar o processo de fabricação de uma das peças em Zamak presente em seu catálogo. De modo a atender às necessidades da empresa, foram listados os seguintes objetivos:

- Projetar um mecanismo automatizado para a quebra do gito de uma peça fabricada em uma máquina de injeção de Zamak, de forma a considerar a interface do sistema com a máquina atual, bem como as restrições impostas pela máquina já existente;
- Desenvolver, além do mecanismo, o projeto de segurança para o sistema a ser implementado;
- Verificar e orçar os materiais necessários para a construção de todo o sistema desenvolvido;
- Elaborar os manuais de operação e manutenção do sistema projetado, de forma a considerar o sistema da máquina já em operação;
- Acompanhar o fabrico e a implementação do sistema projetado.

1.3 Metodologia

A partir do pedido e necessidades expostas pela empresa, foi necessário aprofundar o conhecimento acerca do funcionamento das máquinas de injeção, além da análise do processo de injeção de Zamak. Também se fez o levantamento dos fundamentos teóricos envolvidos.

Depois de contabilizados todos os tempos de operação da máquina, foram desenvolvidas algumas soluções prévias, e selecionou-se a que mais se enquadrava com base nos parâmetros de custos, tempo de produção e eficácia.

O dimensionamento das peças e elaboração do projeto mecânico foram feitos com o *software SolidWorks*®. Depois do projeto elaborado, foram feitas algumas alterações, no sentido de aproveitar ao máximo os componentes existentes no estoque da

empresa. Finalmente, com base no histórico de compras da empresa, foi criado o orçamento do mecanismo corta gito.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está estruturada essencialmente em três partes: a Revisão Bibliográfica, o Desenvolvimento e as Considerações Finais. O conteúdo foi dividido de forma a obter a melhor compreensão do leitor e organizar a informação e resultados registrados. A seguir, apresenta-se uma breve explicação sobre o conteúdo de cada parte do trabalho:

- Revisão Bibliográfica: capítulo necessário para definir alguns conceitos de fundição e de gestão da qualidade e, assim, para que haja melhor compreensão da posterior leitura do desenvolvimento e elaboração do projeto.
- Desenvolvimento: parte de maior interesse da dissertação, onde é feita a apresentação do projeto, escolha dos componentes e, por fim, o projeto do mecanismo.
- Considerações Finais: neste capítulo são apresentados os aspectos de maior relevância na elaboração do projeto, bem como os fatores de grande influência no mecanismo. É ainda apresentada uma proposta de trabalhos futuros com base nos resultados do sistema implementado.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

2.2 FUNDIÇÃO INJECTADA

2.3 MOLDES PARA FUNDIÇÃO INJECTADA

2.4 MÁQUINAS PARA FUNDIÇÃO INJECTADA

2.5 EVOLUÇÕES REGISTRADAS NA FUNDIÇÃO INJECTADA

2.6 MATERIAIS NORMALMENTE USADOS NA FUNDIÇÃO
INJECTADA

2.7 FERRAMENTAS DE QUALIDADE

2.8 PDCA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para esclarecimento e melhor compreensão do presente projeto, serão apresentados alguns conceitos sobre fundição. Os tópicos abordados serão:

- Processos de fundição;
- Fundição injectada;
- Moldes para fundição injectada;
- Máquinas para fundição injectada;
- Evoluções registradas na fundição injectada;
- Materiais normalmente usados na fundição injectada.

Além disso, serão abordados alguns conhecimentos de ferramentas de qualidade. No que diz respeito às ferramentas, serão introduzidos mais especificamente conceitos sobre o PDCA (Plan-Do-Check-Act).

2.1 Processos de Fundição

O processo de fabrico de um componente ou peça pode ser realizado por inúmeros processos. Entretanto, a maioria tem como ponto de partida a transformação de metais ou ligas fundidas em lingotes (que serão posteriormente submetidos a outros processos mecânicos) ou em sua forma quase definitiva (Chiaverini, 1986). Portanto, a fundição faz parte da maioria dos processos de fabrico de peças, seja para a obtenção com as formas praticamente definitivas, ou na produção dos lingotes. É um processo que possibilita a obtenção de componentes com alta complexidade e geometria variada. Ainda permite a obtenção de propriedades mecânicas que suportam uma grande variedade de condições de serviço.

Os processos de fundição podem ser classificados a partir dos moldes, em moldação não-permanente e em moldação permanente.

2.1.1 Fundição em moldação não-permanente

A seguir serão apresentados alguns dos principais processos de fundição em moldação não-permanente.

2.1.1.1 *Areia Verde*

Segundo Chiaverini (1986), o processo de fundição areia em verde é conhecido por ser mais simples de realizar. Consiste em compactar sobre um modelo, dentro de uma caixa de moldagem, uma mistura de areia com argila, em que a argila assume o papel de aglomerante. Além de ser o processo mais simples de ser feito, o processo de areia verde é o mais usado na fundição, pelo fato de que a areia suporta muito bem as altas temperaturas (às quais os moldes são submetidos), e também pela possibilidade de reaproveitamento da areia. Outras vantagens do processo de areia verde são o baixo custo e a possibilidade de aplicação com quase todos os tipos de ligas metálicas. É um processo indicado para a fabricação de peças de pequenas e médias dimensões, e que não precisem de acabamentos finos. Em peças maiores, esse processo pode causar erosões na superfície do molde e um acabamento superficial de má qualidade, devido ao peso da peça.

2.1.1.2 *Shellmolding*

O processo de *Shellmolding* também pode ser chamado de moldagem em areia seca ou em molde estufado. Este processo consiste em adicionar aditivos orgânicos à areia, e esta quando entra em contato com o modelo aquecido, com temperaturas entre 150°C e 300°C, forma uma “casca” que servirá de molde para a fabricação da peça. É um processo que permite ótimo acabamento superficial, possibilidade de trabalhar com pequenas tolerâncias, alta estabilidade dimensional, além de alta dureza e maior permeabilidade (Chiaverini, 1986). É indicado para a fabricação de peças com pequenas dimensões e geometria complexa. Sua desvantagem é o elevado custo em relação ao processo de areia verde.

Neste processo, o modelo utilizado representa metade da peça, portanto há a necessidade de se fazer todo o processo duas vezes para a obtenção de dois moldes, que posteriormente são unidos com uma cola especial e assim se obtém o molde da peça inteira.

2.1.1.3 *Fundição por cera perdida*

A fundição por cera perdida é um processo muito utilizado no fabrico de peças com muitos detalhes. Fabrica-se um modelo da peça desejada em cera através de uma matriz. Então, esse modelo é mergulhado em uma lama refratária composta de uma mistura de sílica ou zirconita com água, silicato de sódio e silicato de etila, que irão atuar como aglomerante, para a confecção de um molde. É um processo indicado para o fabrico de componentes que necessitem de alta precisão, e assim dispensa o uso de processos posteriores para acabamento. Para Pillai (2002), a fundição por cera perdida não é um processo recomendado para o fabrico de peças com grandes dimensões, devido ao alto investimento que seria necessário.

O processo é feito pelas seguintes operações: produz-se modelos em cera na quantidade desejada de peças a serem fabricadas, os modelos são presos no que se denomina de “árvore”, que servirá de canal de alimentação. Esse conjunto de “árvore” e modelos é mergulhado na lama refratária. Leva-se o conjunto envolto de lama a uma estufa, para que a lama endureça e a cera funda. Então vaza-se o metal na “árvore”; depois que o metal solidifica, o molde é quebrado para permitir a retirada das peças.

2.1.1.4 *Silicato de sódio/CO₂ (Areia auto-secativa)*

Segundo Chiaverini (1986), o processo de fundição por silicato de sódio/CO₂ é utilizado para o fabrico de moldes e machos com uma mistura de areia e silicato de sódio, onde este atua como aglomerante. Essa mistura é submetida a um processo de injeção de CO₂, e isso faz com que ela endureça em um tempo relativamente curto e apresente resistência e dureza elevadas. A peça final desse processo apresenta melhor acabamento do que no processo de areia verde, e seus modelos são geralmente feitos de madeira ou resina. O processo de fabrico de machos é feito nas seguintes etapas:

1. Coloca-se a mistura de areia e silicato de sódio no molde;
2. Injeta-se CO₂ nesta mistura;
3. Retira-se o macho de dentro do molde.

O processo de fabrico de moldes é realizado pelas seguintes operações:

1. Produz-se o modelo em areia ou resina;
2. Coloca-se o modelo dentro de uma caixa e então preenche-se com a mistura de areia e silicato de sódio;
3. Injeta-se CO₂;
4. Retira-se o modelo e, finalmente, obtém-se o molde.

2.1.2 Fundição em moldação permanente

A seguir serão apresentados os principais processos de fundição em moldação permanente.

2.1.2.1 *Lingotamento*

A fundição por lingotamento é o processo em moldação permanente mais conhecido, e consiste em produzir blocos de metal, os "lingotes". É amplamente utilizado nas indústrias que estão a fabricar barras de aço e placas metálicas, além de produzir peças que vão sofrer algum tipo de processamento mecânico posterior.

2.1.2.2 *Fundição centrífuga*

Para Chiaverini (1986), a fundição centrífuga consiste em vaziar o metal líquido em um molde que está a fazer movimento de rotação. Então, a força centrífuga originará uma pressão, para além da gravidade, de forma a forçar o metal fundido a ir de encontro com as paredes do molde.

Segundo Madhusudhan (2013), a fundição centrífuga é um processo utilizado no fabrico de componentes cilíndricos, e com diferentes propriedades mecânicas ao longo da secção. Apesar de permitir ótimo acabamento superficial (a Figura 1 apresenta o esquema de fabrico de tubos sem costura), é necessário que exista um controle rígido sobre alguns parâmetros que terão influência direta sobre a força centrífuga nesse processo. São eles: temperatura e propriedades termodinâmicas do metal líquido, temperatura da parede do molde e velocidade de rotação.

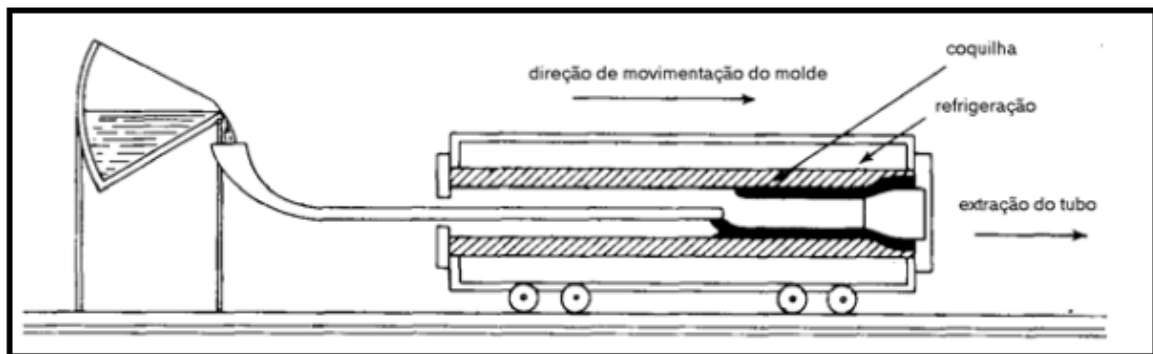


Figura 1 - Produção de Tubos sem Costura por Centrifugação.

Fonte: MADHUSUDHAN (2013)

2.1.2.3 Fundição por injeção de metais

No processo de fundição por injeção de metais, o metal líquido é submetido a alta pressão, que o injeta dentro de uma matriz com o formato da peça desejada. Esse processo possibilita o fabrico de peças complexas e com resistência mecânica elevada, além de apresentar grande capacidade de produção. Pode-se classificar a injeção de metais em dois processos, em câmara quente e em câmara fria.

O processo de fundição por injeção será apresentado com mais detalhe posteriormente, já que é o processo da máquina em que este trabalho foi fundamentado. Sendo assim, é necessário conhecer com maior profundidade todas as etapas e variáveis do processo.

2.1.2.4 Fundição por gravidade

O processo de fundição por gravidade é indicado para médio e grande volume de produção. O molde é chamado de coquilha, e produzido em materiais metálicos. O preenchimento da coquilha com o metal líquido é feito através da gravidade. Segundo Fernandes (2013), a vantagem do processo está no fato da coquilha possuir alta condutividade térmica, de forma a produzir grãos mais homogêneos na peça a ser fabricada. Dessa forma, as peças produzidas por esse processo de fundição apresentam elevada resistência mecânica. As operações do processo de fundição por gravidade são efetuadas da seguinte forma:

1. Primeiramente, efetua-se a limpeza e lubrificação da coquilha;
2. Então faz-se a montagem dos machos;
3. Depois da verificação da montagem correta dos machos, fecha-se a coquilha;
4. O metal líquido é vazado pela parte superior da coquilha;
5. Após a solidificação, retira-se a peça de maneira rápida, para que ela não sofra danos devido à compressão da coquilha.

2.1.2.5 *Fundição por baixa pressão*

No processo de fundição por baixa pressão o molde é preenchido com metal líquido devido a este estar sujeito a baixa pressão, solidificando posteriormente dentro do molde. Para Bonollo (2005), o processo é sempre associado à produção de jantes para automóveis, no entanto, utiliza-se a fundição por baixa pressão para muitos outros componentes automotivos, e outros não automotivos. A Figura 2 mostra o esquema geral do processo e da máquina de Fundição por Baixa Pressão.

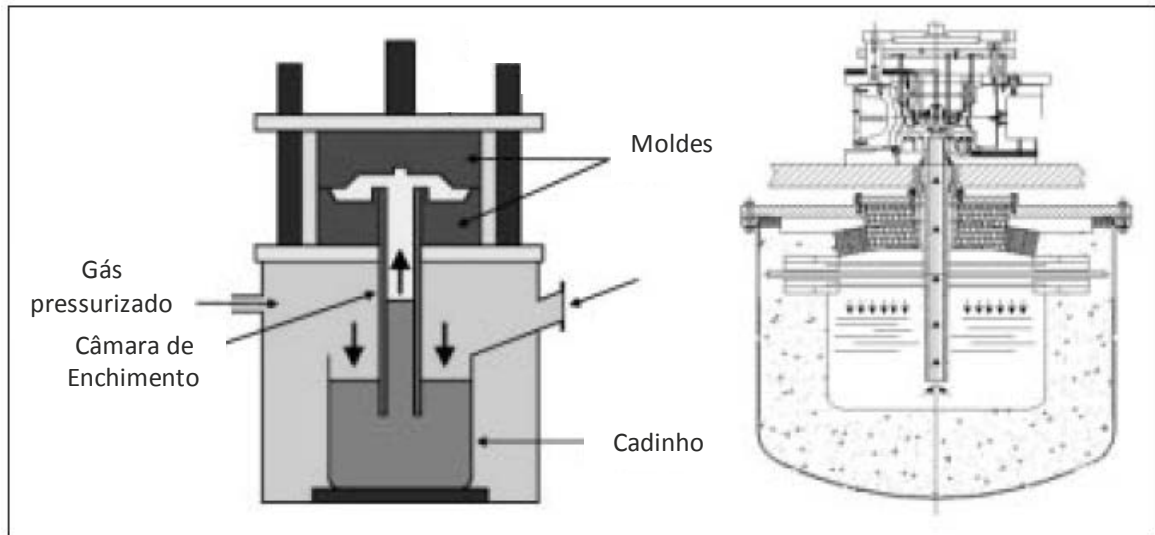


Figura 2 - Esquema geral do processo de Fundição por Baixa Pressão.
Fonte: BONOLLO (2005)

O processo de fundição por baixa pressão possui uma série de vantagens, como a redução (em alguns casos até a eliminação) dos massalotes, alto rendimento produtivo, excelente controle dos parâmetros de operação e redução na quantidade de material para a produção da peça (Bonollo, 2005). As desvantagens do processo são o alto custo das ferramentas utilizadas, o acabamento superficial de baixa qualidade, devido ao uso de tintas no molde com a finalidade de diminuir a aderência da peça ao molde, e a limitação geométrica das peças. O processo segue, sucintamente, as seguintes etapas (como mostra a Figura 3):

1. Primeiramente, o metal líquido fica abaixo do molde;
2. Então, mergulha-se o molde no metal líquido;
3. Adicionam-se gases inertes para que o metal entre dentro do molde;
4. Mantém-se a pressão baixa durante a solidificação do metal;
5. Finalmente, retira-se a peça do molde.

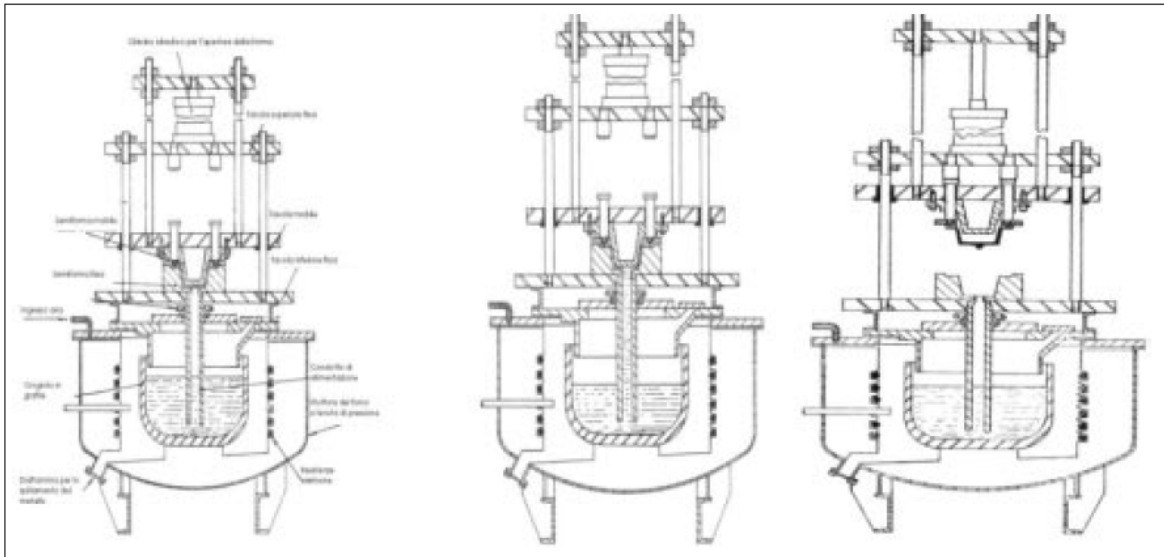


Figura 3 - Sequência de Operação do Processo de Fundição em Baixa Pressão.
Fonte: BONOLLO (2005)

2.2 Fundição injectada

A fundição injetada é um processo no qual o metal fundido é injetado a alta velocidade e a alta pressão dentro de um molde. Os tempos de preenchimento do molde são relativamente pequenos, estando na faixa de milissegundos para componentes de menores dimensões, e até meio segundo para os maiores. Este pequeno tempo requerido para o enchimento do molde diminui a tendência do metal solidificar precocemente, e permite ainda que o metal fundido possa fluir até cavidades com espessuras muito pequenas.

Uma das razões para o tempo de preenchimento do molde ser inferior ao de outros processos, é que a temperatura desse mesmo molde é mantida aproximadamente 150°C abaixo da temperatura de solidificação do metal. Dessa forma, a solidificação do metal ocorrerá de maneira muito mais rápida. Além da temperatura, outra propriedade que influencia diretamente a qualidade da fundição injetada é a pressão. Esta é tipicamente utilizada entre a faixa de 14 a 69 MPa, e mantém-se durante o enchimento do molde e a solidificação, promovendo assim o completo enchimento de todas as cavidades, por menor que a espessura seja. Esse processo de fundição, além de apresentar grande confiabilidade na reprodução de detalhes, oferece excelente qualidade superficial e excelente precisão dimensional (Svensson, 2004). Inclusive, a

capacidade desse processo de fundição produzir peças com espessuras muito pequenas é uma das características mais determinantes para a sua escolha. A fundição injetada permite o fabrico de peças com espessuras verdadeiramente finas, requeridas por alguns tipos de aplicação. Na Figura 4 é apresentado um componente eletrônico de Zinco, com espessuras de parede de 0,5 mm, produzido por fundição injetada.

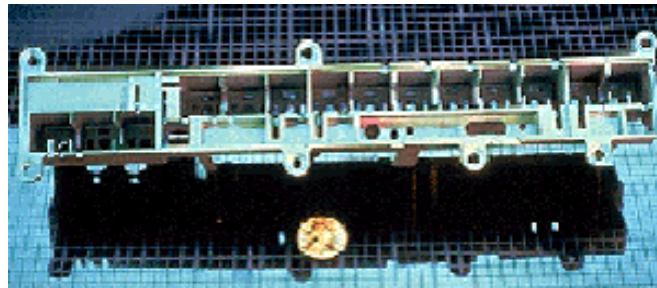


Figura 4 - Componente eletrônico de Zinco com espessuras de parede de 0,5mm.
Fonte: SVENSSON (2004)

A utilização do alumínio na fundição injetada, no início do século XX (como já citado anteriormente), também fez com que várias mudanças ocorressem no projeto das máquinas. O alumínio danificou grande parte dos equipamentos. Assim, concluiu-se que o êmbolo da máquina não pode permanecer em contato direto com esta liga (Andresen, 2005).

Já nos anos mais recentes, surgiram as máquinas de injeção em câmara quente e em câmara fria. A principal diferença entre as duas, está na maneira como o metal fundido é fornecido ao sistema de alimentação da matriz.

Andresen (2005) apresenta algumas hipóteses explicar o processo de fundição injetada durante cada parte do ciclo. As hipóteses são apresentadas a seguir:

1. A primeira hipótese assumida é que no momento em que a liga a alta temperatura é injetada dentro da cavidade do molde, essa se comporta como um fluido hidráulico até o término do enchimento do molde;
2. A segunda hipótese é que o metal preenche a cavidade do molde pelo caminho de menor resistência, até encontrar um obstáculo, tornando-se então um fluxo turbulento;

3. A terceira hipótese é que o sistema de fundição injetada é um processo de regime turbulento, já que a liga tem alta velocidade ao entrar na cavidade, e que o período laminar é muito breve.

Entretanto, Bar-Meir (2000) fez uma análise do fluido, dividindo o sistema em três partes: o canal de vazamento, o canal de alimentação e a cavidade do molde. O mesmo refere que, ainda que existam algumas regiões de regime turbulento, não necessariamente todo o fluido se comporta dessa forma. A Figura 5 mostra a transição do fluxo para o regime turbulento dentro de um tubo circular. O eixo X representa o tempo e o eixo Y representa o número de Reynolds. Os pontos no gráfico mostram a transição para a turbulência.

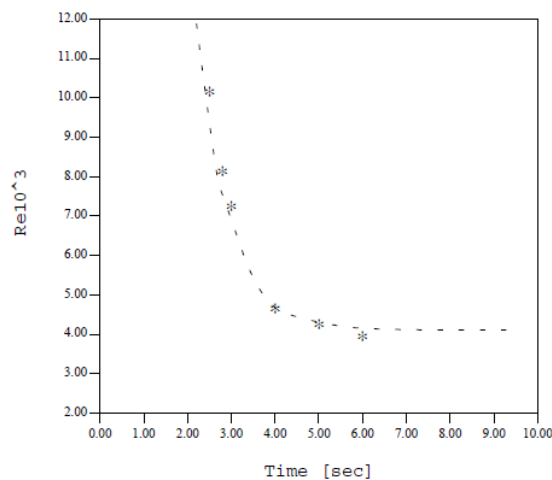


Figura 5 - Transição para fluxo turbulento em tubo circular
Fonte: BAR-MEIR (2000)

A geometria que o metal líquido encontra ao longo do sistema de fundição varia, portanto, é esperado que a transição ocorra em tempos diferentes. Entretanto, Bar-Meir (2000) afirma que, em muitas situações o fluxo é muito curto e, então, a transição para o regime turbulento não ocorre. Depois que o metal é depositado no canal de vazamento, normalmente se deixa em repouso por um tempo aproximado de 10 segundos. Esse tempo é necessário para que a turbulência existente (se existir) seja reduzida. Portanto, se alguma turbulência foi criada no momento do enchimento do canal, esta é eliminada.

Quando o pistão começa a movimentar-se lentamente, forma-se uma onda com número de Reynolds crítico (em torno dos 2000-3000). Na região frontal da onda, a velocidade normalmente é maior do que a velocidade média do fluxo, o que torna essa região turbulenta. Portanto, com exceção da região frontal da onda, o fluxo no momento do movimento do pistão pode ser considerado em regime laminar. Na Figura 6 pode-se ver a área de regime laminar, e a parte frontal da onda com turbulência.

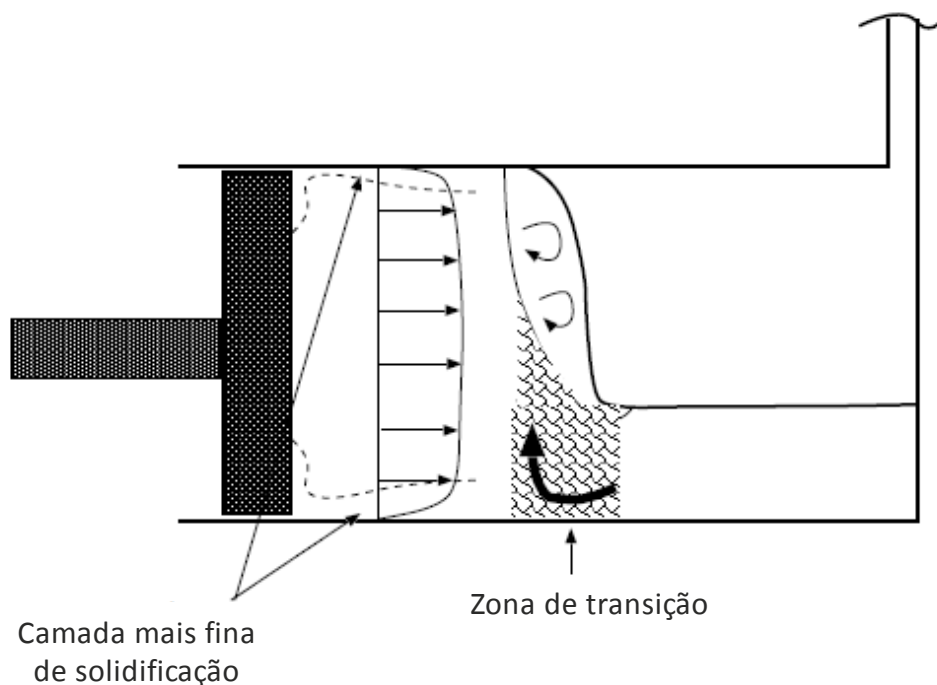


Figura 6 - Padrão de fluxo na região de movimento do pistão.
Fonte: ANDRESEN (2005)

Além das hipóteses apresentadas, Andresen (2005) diz que existem apenas três fatores fundamentais que afetam o produto final, e que são resultado do processo de fusão do lingote em metal líquido. Esses fatores são:

- O comportamento térmico da liga, que pode ser determinado pelas propriedades do material;
- A distância entre o alimentador da liga em estado líquido e o canal de distribuição para a cavidade do molde;
- A forma geométrica do canal que define o perfil de escoamento do metal líquido. As proporções entre a área de superfície, volume e distância que o

metal líquido deve percorrer são características extremamente importantes, e devem ser levadas em consideração no dimensionamento de cada molde.

Ainda com relação aos fatores que estão envolvidos no fabrico da fundição por injeção, Štrobach (2010) diz que mesmo fatores mínimos podem influenciar negativamente o resultado final.

"The pressure die casting technology produces the thin-walled castings having a high dimensional and geometric precision. So, we try to manage the whole die casting process – to control all factors involved in the process in order to prevent waste castings. The casting which doesn't fulfill the dimensional, geometric, structural and superficial requests is considered as a waste" (ŠTROBACH, 2010).

Dentre os factores principais que podem influenciar diretamente a qualidade final do processo, estão a geometria da peça final, o modo de operação da máquina, o molde em que será injetado e a estabilidade dimensional da fundição. Entre todos esses parâmetros de processo de fundição por injeção, o material utilizado no fabrico determinará qual o tipo de fundição injetada que será utilizada: em câmara quente ou em câmara fria.

Para o zinco, o processo em câmara quente é usado para as ligas Z3, Z5, Z7 e ZA-8. Já o processo em câmara fria é utilizado para as ligas ZA-12 e Z27.

2.2.1 Fundição injectada em câmara quente

A fundição injetada em câmara quente tem esse nome porque o pistão e o cilindro estão submersos no metal líquido. No início do ciclo o molde está fechado e então o pistão é forçado para baixo, fazendo com o que o metal líquido saia do cilindro, preenchendo a cavidade do molde e mantendo a pressão, enquanto o metal se solidifica. Depois que o metal está solidificado, o molde é aberto, enquanto o pistão retorna à posição inicial. Nesse momento, o cilindro é preenchido novamente com metal líquido. Então a peça é retirada do molde e o ciclo começa novamente. A sequência de operações do processo é mostrada na Figura 7. Para facilitar a retirada da peça, utiliza-se um lubrificante de fundição.

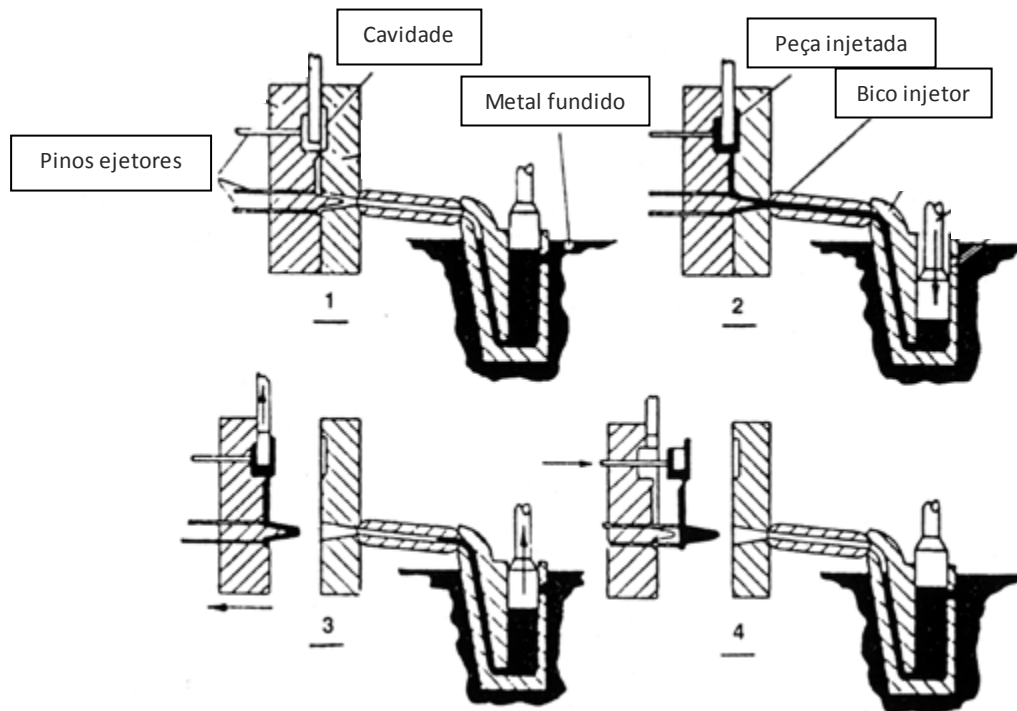


Figura 7 - Sequência de operações do processo de fundição em câmara quente.
Fonte: SVENSSON (2004)

A última região do molde a ser preenchida pelo metal líquido tem o material com a menor temperatura no momento do enchimento. Assim, essa será a região com o maior número de defeitos. Entretanto, as tecnologias empregadas atualmente no sistema de alimentação do metal líquido e o bom *design* térmico das matrizes previnem esse tipo de defeito. Em alguns casos, é necessário alocar cavidades de transbordo de material. Essas cavidades com excesso de material são preenchidas com o material com a menor temperatura, evitando defeitos na peça. Este sistema permite o enchimento do molde num curto espaço de tempo, com baixa perda de temperatura da liga. É utilizado em ligas com baixos pontos de fusão, tais como Zamak e Chumbo.

2.2.2 Fundição injetada em câmara fria

A fundição injetada em câmara fria apresenta esse nome porque, ao contrário da injeção em câmara quente, o êmbolo e o cilindro não estão submersos no metal líquido. Isso porque as ligas de Zinco-Alumínio utilizadas nesse processo têm temperatura de fusão em uma faixa em que o alumínio começaria a atacar o aço

presente no êmbolo e no pistão, e então dissolveria os componentes do pistão. O esquema da máquina de injeção em câmara fria é apresentado na Figura 8.

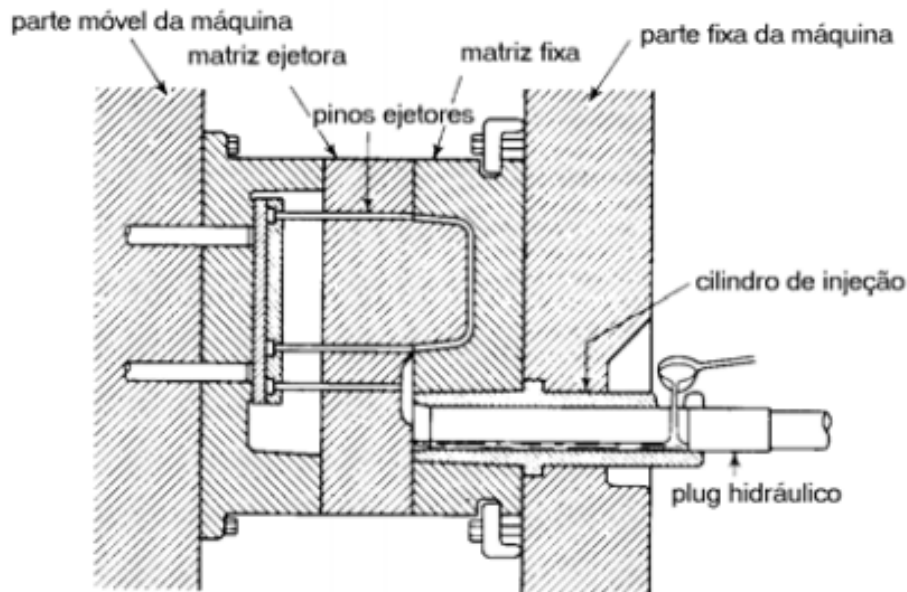


Figura 8 - Máquina de Injeção do Tipo Câmara Fria
Fonte: CHIAVERINI (1986)

Este sistema de injeção é cada vez mais utilizado em função das exigências crescentes quanto à qualidade das peças injetadas. É utilizado para ligas com temperaturas de fusão mais elevadas tais como Alumínio (Al), Latão (Cu + Zn) ou Magnésio (Mg). Nesse processo, a liga fundida que está no cadinho é transferida para a cavidade do molde manualmente ou automaticamente, e é nesse momento que entra em contato com o cilindro. Para Bar-Meir (2000), o processo de injeção em câmara fria pode ser dividido em quatro etapas:

1. Enchimento do canal de alimentação;
2. Avanço do êmbolo com velocidade lenta;
3. Enchimento da cavidade do molde;
4. Processo de solidificação. Nesse momento, mesmo após o término da injeção, a pressão no molde mantém-se constante.

Nos processos 1 a 3, é importante que se tenha o mínimo de solidificação possível, evitando posteriores defeitos na peça por solidificação precoce. No processo de fundição por injeção, é extremamente importante que as variáveis temperatura e velocidade sejam controladas, para que as condições de regime do fluido não transitem entre os componentes do sistema. Somente após o fluido já estar dentro da cavidade do molde, é que esse pode passar a regime turbulento. Entretanto, enquanto ainda estiver no canal de alimentação e no canal de distribuição, é necessário que permaneça em regime laminar (Bar-Meir, 2000).

2.3 Moldes para fundição injectada

Uma variedade enorme de geometrias podem ser realizadas pela fundição injetada, já que esse processo permite uma enorme liberdade na construção de detalhes, precisão dimensional, além de espessuras muito pequenas. Entretanto, para que os custos de fabrico sejam viáveis e para que as especificações técnicas sejam atendidas, é necessário que cada molde seja desenhado de forma prática e eficiente. Um exemplo de um molde com geometria complexa é mostrado na Figura 9.

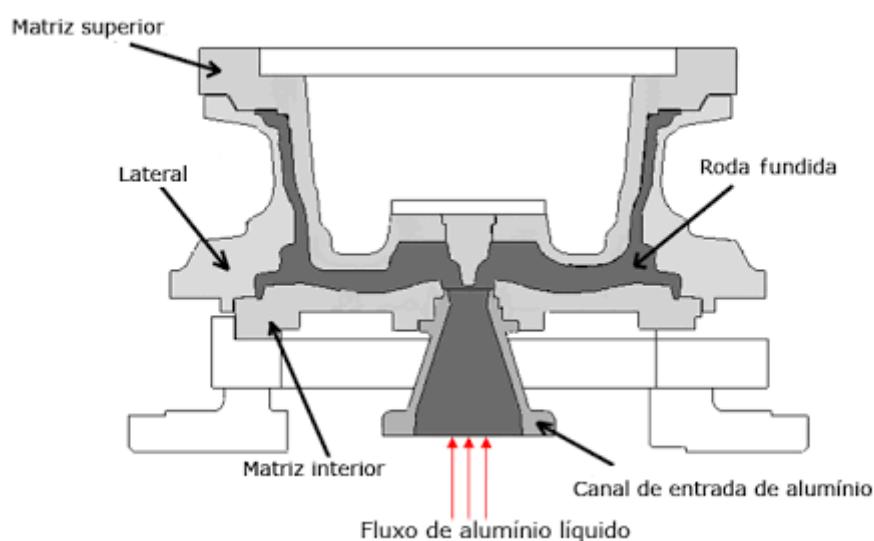


Figura 9—Desenho esquemático de moldes e roda injetada
Fonte: ANDRESEN (2005)

Segundo Andresen (2005), a complexidade do molde da fundição por injeção deve ser profundamente estudada, já que, juntamente com o tempo de ciclo de processo, é um dos fatores que mais afeta o custo e a viabilidade de produção.

Atualmente, têm sido experimentados materiais inertes como a cerâmica em máquinas de fundição com câmara quente, assim como em máquinas de injeção em câmara fria, sendo que esses materiais obtêm melhor resultado final com relação ao acabamento (Andresen, 2005).

2.4 Máquinas para fundição injectada

Apesar de toda a evolução tecnológica, as máquinas para fundição injetada atuais apresentam as mesmas funções da primeira, patenteadas por Sturgiss, em 1849. pode ser visto na Figura 10 um esquema desta máquina para fundição injetada.

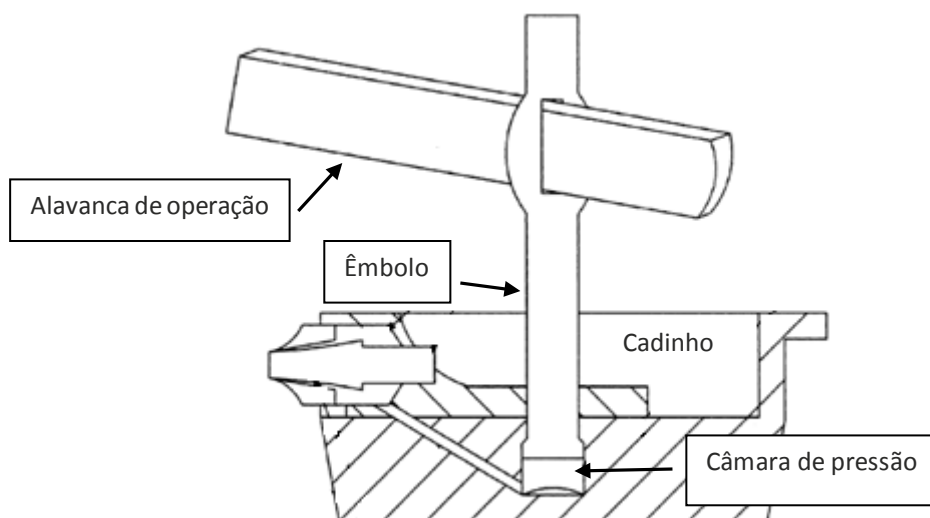


Figura 10 - Esquema da primeira máquina de fundição injetada, patenteada por Sturgiss, em 1849.
Fonte: ANDRESEN (2005)

Entretanto, o design e posicionamento dos componentes das máquinas atuais vêm sendo modificados, para proporcionar maior rendimento e menor tempo de ciclo de produção. No início do século XX, começou-se a utilizar o alumínio como material para fundição. O ponto de fusão do alumínio é alto comparado com o do chumbo, estanho e até mesmo ao zinco. Dessa forma, o alumínio fundido deteriorou partes das máquinas, o que causou uma perda muito grande dos equipamentos. A partir dessa

limitação a determinados tipos de liga, as máquinas de injeção começaram a ser fabricadas com diferentes construções, com câmara fria e câmara quente, conforme já descrito anteriormente.

As máquinas de injeção em câmara fria são aquelas cujo sistema de injeção não fica submerso no metal líquido. A Figura 11 apresenta um esquema desse tipo de máquina.

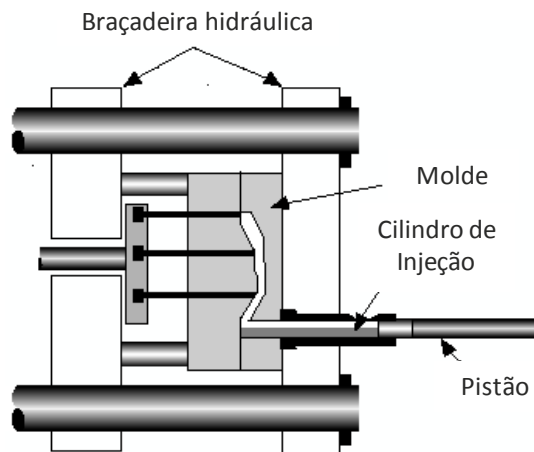


Figura 11 - Esquema de uma máquina de injeção em câmara fria.
Fonte: ANDRESEN (2005)

As máquinas cujo sistema de injeção se encontra submerso no metal líquido são as máquinas de injeção em câmara quente, das quais se apresenta um exemplo na Figura 12.

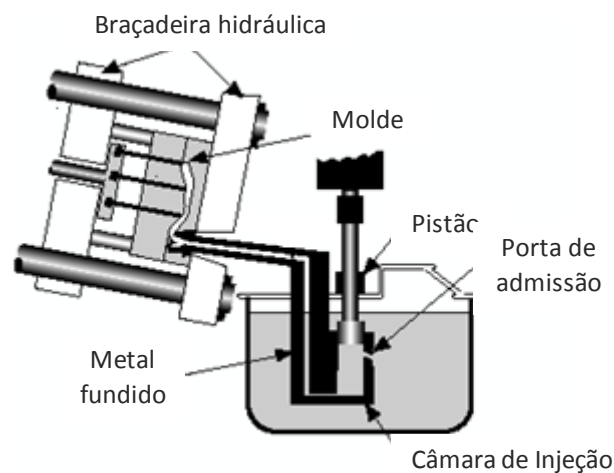


Figura 12 - Esquema de uma máquina de injeção em câmara quente.
Fonte: ANDRESEN (2005)

2.5 Evoluções registradas na fundição injectada

Segundo Andresen (2005), o desenvolvimento das máquinas de fundição tem-se feito sentir desde o ano de 1904, pois o consumo de peças fundidas aumentou desde aí. A partir desse ano, as máquinas de moldagem a quente evoluíram de somente uma operação, para um processo com vários estágios, resultado da implementação e do crescente uso de automatização.

2.6 Materiais normalmente usados na fundição injectada

Com relação à metalurgia do processo, o mais usual é a utilização de dois ou mais metais na liga a ser injetada. Os metais base dessas ligas normalmente são alumínio, magnésio ou zinco (Andresen, 2005). O metal que apresenta mais de 50% da composição na liga é o metal base, e os outros elementos são adicionados para melhorar as propriedades e qualidade do produto final.

Segundo Andresen (2005), as ligas de magnésio são as que apresentam a melhor relação resistência mecânica vs. peso e têm propriedades que absorvem o som, fazendo com que os componentes desse material apresentem menos ruído. Entretanto, oxidam muito rapidamente, portanto é necessário um posterior tratamento de superfície, que apresenta alto custo para esse material.

As ligas de alumínio são as mais populares na fundição injetada porque apresentam uma boa relação resistência mecânica vs. peso e são fáceis de fundir. Entretanto, o alumínio apresenta grande turbulência quando injetado, deteriorando o molde rapidamente. Para evitar esse problema, é necessário diminuir a velocidade de enchimento da cavidade do molde, o que também não é um fator interessante para a indústria (Andresen, 2005).

As ligas de Zinco são utilizadas em peças que necessitam de bom acabamento superficial e de pequenas espessuras. *"It is the most fluid of the metal choices and can be more easily cast into thin walls less than 0,06 inches."* (Andresen, 2005).

As ligas Zamak são uma família de ligas de zinco, diferenciando-se na porcentagem de alumínio na sua composição. Entre outras propriedades, a liga com mais alto nível de alumínio apresenta resistência à tração que se compara a um aço macio (porcentagem de carbono entre 0,15% a 0,30%) (Smith, 1996).

2.7 Ferramentas da qualidade

As ferramentas da qualidade são recursos de muito úteis na detecção e correção de problemas, e na aplicação de melhorias. Segundo Paranhos Filho (2007), esta analogia se deve ao fato dessas técnicas serem tão importantes para a qualidade, como são as ferramentas na execução de um trabalho.

Segundo Júnior e Maiczuk (2013), as ferramentas possuem elevada utilidade na indústria devido a uma grande capacidade e consciência em localizar as causas dos problemas, onde se pode obter uma maior produtividade e redução de perdas. Apesar de sua importância, as ferramentas dependem da habilidade e da correta utilização de quem as opera, para que sejam aplicadas de forma a atender as necessidades do processo (Daniel e Murback, 2014). As ferramentas podem ser usadas de forma isolada ou em conjunto com outras ferramentas, como ocorre no PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), por exemplo.

Algumas das principais ferramentas da qualidade são as seguintes:

- Estratificação;
- Folhas de Verificação;
- Gráfico de Pareto;
- Histograma;
- Diagrama de Causa-Efeito;
- Gráficos de Controle;
- Diagrama de Dispersão.

Além destas ferramentas principais, existem ainda as ferramentas de gestão da qualidade. Porém estas são de maior utilização por especialistas e gerentes da

qualidade. Outras ferramentas que foram bastante difundidas, não somente na qualidade, e terão suas definições apresentadas, são:

- 5W2H;
- 5 Porquês;
- 5S.

2.7.1 Estratificação

A estratificação consiste na técnica de agrupar informações em grupos menores, de modo a facilitar a ação em determinados problemas (Werkema, 1995). Estas informações, separadas em grupos e subgrupos, permitem que menores porções de informação possam ser analisadas, facilitando no encontro da causa raiz (Seleme; Stadler, 2008). O objetivo é o de verificar como a variação de cada um dos fatores influencia no resultado final do problema que se deseja analisar, de modo a justificar a priorização de determinada causa (Carpinetti, 2012). A Tabela 1 apresenta um exemplo de estratificação da informação.

Tabela 1 - Exemplo de estratificação da informação
Fonte: Autoria própria

CUSTO DA REVISÃO DE UM VEÍCULO				
1ª Estratificação	Mão-de-obra		Peças de reposição	
2ª Estratificação	Troca de Filtros	Troca de Óleo	Filtros	Óleo

Ainda segundo Carpinetti (2012), os principais fatores utilizados na estratificação da informação são:

- Condições climáticas e temporais: como os dados se apresentam quando coletados em diferentes condições climáticas (chuva, sol, etc.), e em diferentes períodos do dia (manhã, tarde, noite);

- Turnos de produção: como os dados variam quando coletados em diferentes turnos de produção, onde houver este tipo de separação das atividades da organização;
- Local: a diferença dos dados coletados em diferentes linhas de produção, regiões, países, etc., para as mesmas condições de manufatura;
- Matéria-prima: a variação dos dados alterando-se o tipo ou o fornecedor de matéria-prima para uma determinada produção;
- Operador: como os dados se apresentam na coleta, utilizando-se diferentes operadores para a mesma tarefa.

Os exemplos apresentados são apenas algumas possibilidades de estratificação dos dados. Esta ferramenta, além de bastante útil, é bastante flexível, sendo adaptável a uma série de utilizações nos mais diferentes casos.

2.7.2 Mapas de Controle

São mapas para planejar e auxiliar o monitoramento e coleta de dados do processo (Paranhos Filho, 2007). Através da coleta de dados de interesse do processo, é possível verificar o atendimento de produtos e processos a padrões e metas estipuladas, assim como problemas gerados por possíveis desvios (Werkema, 1995).

Nas folhas são inseridas as informações que se deseja coletar, os momentos de coleta e os resultados obtidos (Carpinetti, 2012). As informações coletadas podem ser utilizadas para controle do processo e como entrada para diversas outras ferramentas como gráficos de Pareto, gráficos de controle, histogramas, entre outros.

A Figura 13 apresenta um modelo de folha de verificação.

Tipo	Rejeitados	Subtotal
Marcas	//// // //// //// //// //	27
Trincas	//// //// //// //	18
Incompleto	//// //// //// //// //// //// //// //// //// //	47
Distorção	///	3
Outros	//// //	7
	Total Geral	102
Total rejeitados	//// //// //// //// //// //// //// //// //// ////	71

Figura 13 – Mapa de Controle para a classificação de defeitos
Fonte: Adaptado CARPINETTI(2012)

A ficha deve ser elaborada em formato simples e conveniente, de forma a que as perguntas se encontrem bem definidas e de rápida identificação para os itens a registrar. Esta correta elaboração resulta num ganho de tempo significativo nas verificações (Júnior e Maiczuk, 2013).

2.7.3 Gráfico de Pareto

São gráficos de barras para visualização de forma fácil e rápida de informações estratificadas e metas numéricas. Seu fácil atendimento agiliza a priorização de temas pela observação do número de incidências de uma determinada ocorrência (Werkema, 1995). Estes gráficos são organizados de forma a classificar os itens pela sequência das maiores frequências, propiciando o ataque aos pontos de maior importância, resultando em uma maior assertividade na tomada de decisão (Carpinetti, 2012). Esta técnica é utilizada principalmente quando se tem recursos limitados para a resolução de um grande número de problemas (Júnior e Maiczuk, 2013). O gráfico é composto por barras dispostas por ordem decrescente, sendo o lado esquerdo a frequência absoluta e a direita a frequência acumulada (Daniel e Murback, 2014). Cada barra representa as ocorrências de determinado item, propiciando desta forma a visualização e identificação de pontos de grande importância no meio de muitos outros de menor importância. A grande efetividade desta ferramenta baseia-se no princípio de que 80% dos problemas resultam de 20% das causas, e que a melhor maneira de se eliminar estes problemas é atacar a causa dos 80% (Paranhos Filho, 2007). Tendo em conta esta filosofia, ao se buscar atacar os maiores problemas, sua

resolução acabapor gerar um grande impacto positivo no processo. É também conhecido como análise ABC.

2.7.4 Histograma

O histograma é uma ferramenta de forma gráfica e visualização semelhante à do gráfico de Pareto. Com ela é possível verificar valores centrais de uma determinada medição e suas dispersões (Carpinetti, 2012). Utiliza-se na demonstração de uma distribuição de frequências, onde se constroi um gráfico de colunas com os valores de ocorrência na horizontal e sua frequência na vertical (Paranhos Filho, 2007). As barras do gráfico apresentam a incidência de algum fator, e é possível determinar-se o valor geral da medição e sua tendência a variações, assim como localizar a ocorrência de defeitos. Através da verificação da frequência em quedeterminado processo varia, determina-se a forma de distribuição dos dados e o agrupamento das variáveis em intervalos de aceitação. A relação com estes intervalos permite dizer se um produto atende ou não às especificações, e como a média está centralizada em relação aos limites de aceitação (Daniel e Murback, 2014). A Figura 14 exemplifica a forma de um histograma.

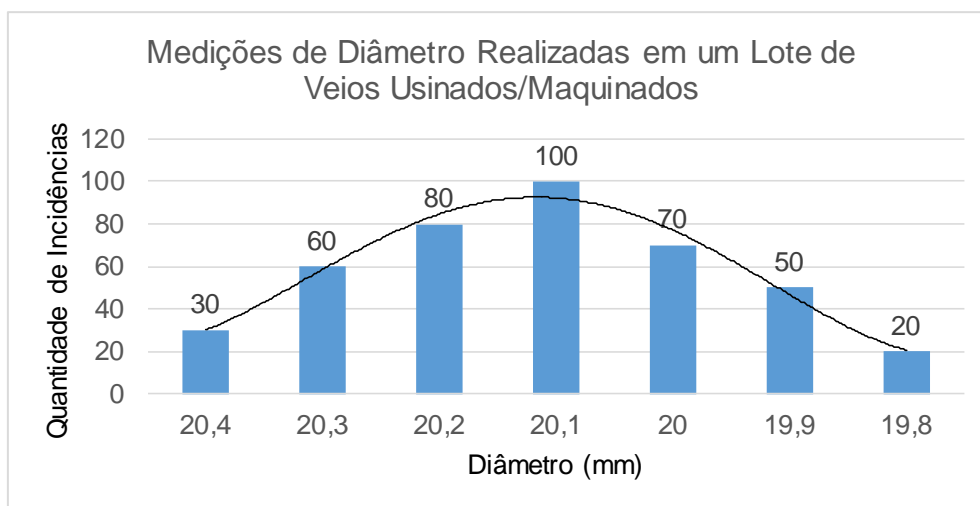


Figura 14 - Exemplo de histograma
Fonte: Autoria própria

Pela análise dos dados do histograma, é possível verificar, por exemplo, a falta de capacidade de um processo em atender a um determinado padrão (Werkema, 1995).

2.7.5 Diagrama de Causa e Efeito

É uma ferramenta para avaliação de causas de um determinado problema (Carpinetti, 2012). Através da sua utilização, obtém-se uma lista de todas as causas possíveis, e com essas informações é possível definir-se uma ou mais causas prioritárias para solução de um problema (Werkema, 1995). É possível fazer relações entre o problema e as causas que geram este efeito, analisando e testando suas características e valores. Esta ferramenta permite que se atue diretamente na causa que gera um problema, uma vez que possibilita distinguir as diferenças entre as causas e os efeitos (Paranhos Filho, 2007). Possui também os nomes de Diagrama de Ishikawa ou espinha de peixe, devido à forma como é montado (Figura 15).

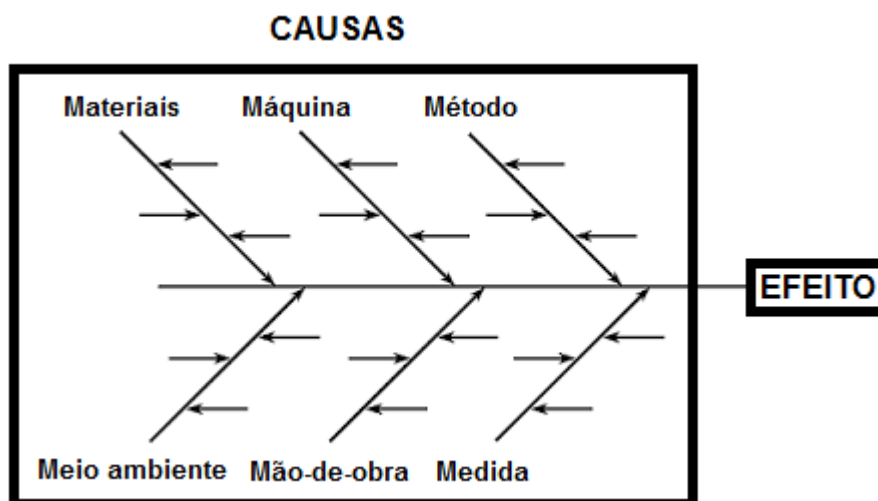


Figura 15 - Diagrama de Causa e Efeito
Fonte: Adaptado WERKEMA(1995)

A análise padrão é feita através dos 6M's que, segundo Seleme e Stadler (2008), são definidos da seguinte forma:

- 1M (materiais): refere-se às características dos materiais de acordo com o seu padrão, sua uniformidade, etc.;
- 2M (máquina): refere-se ao funcionamento adequado do equipamento e sua operacionalização;

- 3M (método): referente à forma como é realizada determinada ação;
- 4M (meio ambiente): refere-se ao ambiente no qual pode ser ocasionada determinada causa de um efeito;
- 5M (mão-de-obra): referente à qualidade da mão-de-obra utilizada, e seu grau de instrução e habilidade para execução da atividade;
- 6M (medida): referente à forma como os valores medidos são representados (tempo, temperatura, etc.) e os instrumentos utilizados para a medição.

Para cada grupo, devem ser inseridas todas as possíveis causas. Este formato permite organizar as causas de forma eficaz, potencializando o desenvolvimento da lista de possibilidades que estão na raiz do problema (Daniel e Murback, 2014). A sua utilização pode vir a ser tanto para verificação de causas e efeitos considerados bons, como para os considerados ruins para um determinado problema. O seu formato permite ser adaptado conforme a necessidade de utilização do utilizador, inserindo ou retirando itens sempre que necessário.

2.7.6 Gráficos de Controle

São ferramentas gráficas que possibilitam a visualização de variações em determinadas medições de um processo. Os dados são dispostos de forma a permitir a visualização do controle estatístico do processo, bem como o monitoramento da localização das medições e sua dispersão (Werkema, 1995). Os gráficos de controle permitem distinguir com maior facilidade entre causas de variação comuns e as específicas, que devem ser investigadas (Carvalho e Paladini, 2012). A Figura 16 exemplifica a forma de um gráfico de controle.

Os gráficos de controle apresentam, de maneira geral, uma linha média de valores e outras duas linhas de controle e especificação inferior e superior. Através destas linhas é possível controlar-se o grau de conformidade do processo e sua variabilidade (Daniel e Murback, 2014). No gráfico em exemplo, pode-se dizer que o processo está sob controle, pois os resultados das medições indicam produtos dentro dos limites de controle do produto.

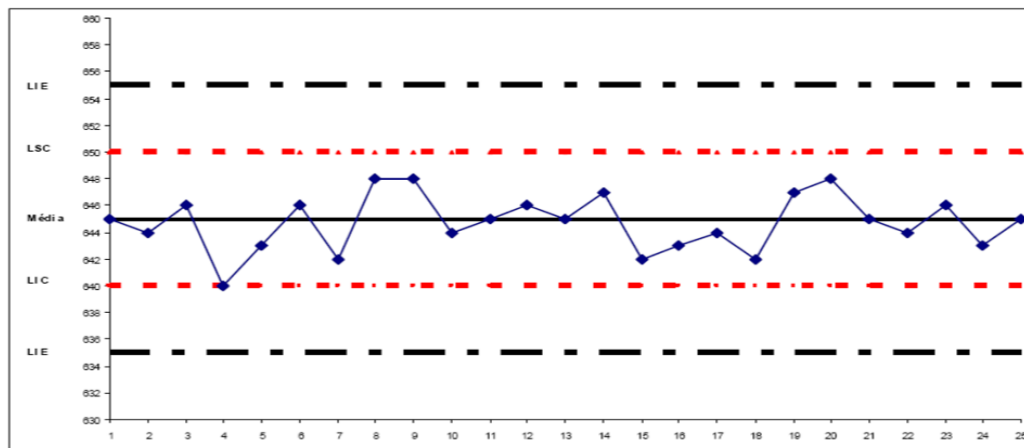


Figura 16 - Exemplo de Gráfico de Controle
Fonte: Sashikn e Kiser (1994)

2.7.7 Diagrama de Dispersão

O diagrama de dispersão possibilita a visualização do relacionamento entre duas variáveis ou parâmetros (Seleme e Stadler, 2008). Conforme os valores obtidos para uma, observa-se o efeito sobre a outra. Através deste diagrama, verifica-se como as causas fundamentais afetam a dispersão de resultados do processo (Werkema, 1995). São colocados dois conjuntos de dados e esses são inseridos em um gráfico, com abscissas e ordenadas, onde se pode concluir se existe ou não uma correlação entre as variáveis (Paranhos Filho, 2007). O conjunto da Figura 17 exemplifica um diagrama de dispersão, demonstrando as correlações entre a pressão e os defeitos gerados em um processo. As correlações podem-se apresentar de diferentes formas e, através da verificação de como as duas variáveis atuam em conjunto, pode-se verificar o grau de relação, ou até mesmo a não relação entre as variáveis (Daniel e Murback, 2014).

2.7.8 5W2H

O 5W2H possui este nome devido às iniciais, vindas do inglês, das perguntas às quais é necessário responder na utilização desta ferramenta (Seleme e Stadler, 2008). A Tabela 2 apresenta as perguntas em inglês, juntamente com suas traduções e utilizações.

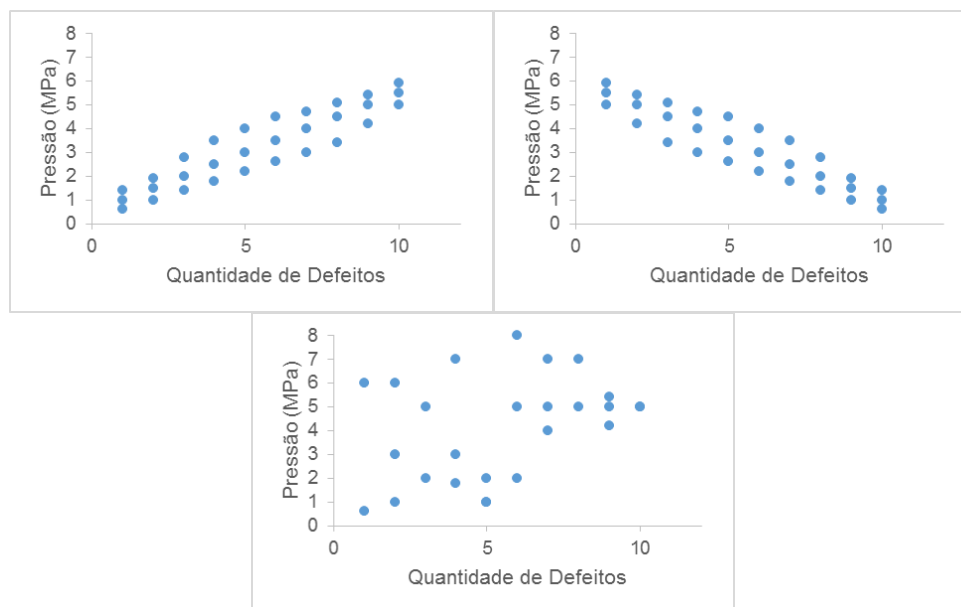


Figura 17 - Diagrama de dispersão: correlação positiva, correlação negativa e correlação inexistente
 Fonte: Adaptado CARPINETTI (2012)

Tabela 2 - Quadro de perguntas do 5W2H
 Fonte: Seleme; Stadler, 2008, p. 40.

Pergunta	Significado	Pergunta instigadora	Direcionador
<i>What?</i>	O quê?	O que deve ser feito?	O objetivo
<i>Who?</i>	Quem?	Quem é o responsável?	O sujeito
<i>Where?</i>	Onde?	Onde deve ser feito?	O local
<i>When?</i>	Quando?	Quando deve ser feito?	O tempo
<i>Why?</i>	Por quê?	Por que é necessário fazer?	A razão/ o motivo
<i>How?</i>	Como?	Como será feito?	O método
<i>Howmuch?</i>	Quanto custa?	Quanto vai custar?	O valor

A função desta ferramenta é a de se obter uma análise das diversas variáveis de um problema, e definir uma solução bem estruturada para o objeto em questão. Esta técnica busca facilitar a definição das responsabilidades, prazos, métodos e valores para a execução das ações (Júnior e Maiczuk, 2013). É bastante útil quando se tem a necessidade de estabelecer um plano de ação coerente em um curto espaço de tempo (Daniel e Murback, 2014). A sua utilização é bastante flexível, sendo possível adequar as perguntas ao uso que se pretende fazer, podendo em alguns casos obter-se soluções sem a necessidade de se responder a todas as questões do método.

2.7.9 5 Porquês

Esta ferramenta, assim como ocorre com o 5W2H, recebe o nome originário das questões presentes na ferramenta. No entanto, para esta utilização faz-se cinco vezes a mesma pergunta: "porquê?" (Fonseca e Miyake, 2006). A Tabela 3 apresenta um exemplo de utilização desta ferramenta.

Tabela 3 - Quadro de utilização dos 5 porquês
Fonte: Seleme; Stadler, 2008, p. 43.

Perguntas (porquês)	Respostas encontradas
Por que o produto não foi entregue?	Porque não tinha embalagem.
Por que não tinha embalagem?	Porque a produção não entregou.
Por que a produção não entregou?	Porque não tinha matéria-prima.
Por que não tinha matéria-prima?	Porque o fornecedor não entregou
Por que o fornecedor não entregou?	Porque houve atraso no pagamento.

Essa repetição para a mesma pergunta permite que se vá a fundo na causa de um problema, para que se possa analisar a real causa atrás de diversas outras causas, e que deverá ser atacada. É possível em casos de problemas superficiais encontrar a causa raiz sem que se repita a questão todas as cinco vezes. No entanto, também é possível que haja a necessidade de uma maior repetição da pergunta, além das cinco previstas (Seleme e Stadler, 2008).

2.7.10 5S

É um programa de origem japonesa, composto de cinco sentidos aplicados de forma sequencial, e de utilização bastante popularizada, não somente na indústria. Através desta ferramenta é possível obter diversos ganhos na organização dos processos e locais de trabalho (Seleme e Stadler, 2008). Esta ferramenta permite melhorar as relações e o ambiente de modo simples, através da organização e otimização dos recursos e do tempo. Com isto, pode obter-se um melhor desempenho produtivo, com implicações diretas na produtividade do sistema (Paranhos Filho, 2007).

Ainda segundo Seleme e Stadler (2008), apesar desta técnica se tratar de movimentos para uma certa mudança cultural, é ainda uma ferramenta bastante despreziosa da qualidade. Possui grande valor pois, além de proporcionar uma melhoria organizacional do ambiente, eleva também a capacidade de discernimento dos envolvidos. A Tabela 4 apresenta os cinco sentidos e seus significados.

Tabela 4 - Quadro dos cinco sentidos
Fonte: SELEME; STADLER (2008)

Senso	Significado
1° seiri	senso de descarte ou liberação das áreas
2° seiton	senso de organização
3° seiso	senso de limpeza
4° seiketsu	senso de higiene, arrumação, padrão
5° shitsuke	senso de ordem ou disciplina

O primeiro sentido consiste no descarte de tudo o que não é utilizado, ou tudo o que não é necessário para a execução das tarefas de um determinado local ou setor. Busca eliminar tarefas desnecessárias, propor uma correta utilização dos recursos, assim como evitar desperdícios e excessos de burocracia (Duarte et al, 2013). O segundo sentido é o de organização dos materiais em locais apropriados para o seu uso (Melo e Silva, 2010). A sua função é a de agilizar o uso dos recursos, uma vez que não é necessário ficar procurando um determinado objeto para o utilizar. O sentido de limpeza, ou terceiro sentido, refere-se à higiene de um determinado local. Locais com muito lixo tendem a causar má impressão, e além da aparência de descuido, são comumente causadores de perdas e desperdícios no processo que acabam por se acumular no setor. Através deste sentido, realiza-se uma conscientização das pessoas, através das melhorias do ambiente proporcionadas pela limpeza (Lavagnini e Teixeira, 2010). O quarto sentido é o de melhor utilização dos recursos disponíveis. Esta utilização visa o uso consciente, de forma a se extrair através de ações o máximo possível do que é disponibilizado (Seleme e Stadler, 2008). O último é o sentido da autodisciplina, para garantir que os outros quatro sentidos estejam inseridos na rotina da organização. A verificação da efetividade da utilização dos sentidos pode ser realizada através de auditorias, por exemplo (Duarte et al, 2013).

O sucesso na implementação deste programa implica um cuidado permanente na organização da empresa, eliminando a necessidade de paragens para limpeza e organização dos setores, uma vez que estas se tornam atividades rotineiras de todos os funcionários.

2.8 PDCA (Plan-Do-Check-Act)

O Ciclo PDCA é uma ferramenta elaborada por Shewhart e disseminada por Deming para análise e solução de problemas, de grande aplicação em estudos de melhoria (Daniel e Murback, 2014). Esta ferramenta é composta por quatro fases, que levam as iniciais de seus nomes vindas do inglês, e que também dão nome à ferramenta. Na fase "P" (*Plan*) é definido o problema proveniente de uma meta ou objetivo de interesse no qual se deseja aplicar o método, e são também definidas ações para que esta seja alcançada (Aguiar, 2002). Pode-se considerar uma meta boa, aquela proveniente de estratégias para melhoria do processo, que busca atender as exigências do mercado e a manutenção da competitividade da empresa. Já uma meta ruim é aquela vinda de problemas do processo, sendo utilizada como uma forma de correção dos desvios (Werkema, 1995). Ainda segundo Werkema (1995), um processo com um grande número de anomalias impede a elaboração e o atendimento das chamadas metas boas. Isto dá-se pelo maior tempo gasto na correção dos problemas, ou seja, das metas ruins. O atendimento às metas ruins não agrega valor, uma vez que somente corrige ações mal planejadas e mal realizadas no passado.

Na sequência do ciclo, deve-se localizar o foco do problema, definir as causas fundamentais, as deficiências do processo e analisar as melhores soluções para estas. As ferramentas da qualidade são de grande utilização nestas etapas, tanto para levantamento e visualização de dados, como na busca pelas causas raízes e priorização das ações (Simões e Ribeiro, 2007). É elaborado um plano de ação onde são inseridas todas as ações prioritizadas e que devem ser executadas. Esta primeira fase tende a ser a mais trabalhosa e demorada. No entanto, quanto mais e melhores os dados inseridos no PDCA nesta fase, maiores são as hipóteses de sucesso do ciclo (Werkema, 1995).

Na fase "D" (*Do*), será executado o plano de ação elaborado. Já na fase "C" (*Check*), será realizada uma avaliação dos resultados obtidos e verificado se as ações foram efetivas para atendimento do objetivo proposto (Simões e Ribeiro, 2007). A fase "A" (*Action*) é dependente dos resultados atingidos e constatados na fase "C". Caso os objetivos tenham sido alcançados, é realizada a padronização das ações que tiveram sucesso, de modo a se manterem os bons resultados. Após a execução destas atividades, é então concluído o trabalho (Aguiar, 2002). No entanto, para o caso de o resultado não ser satisfatório, deve-se retornar à fase "P", para que sejam priorizadas novas causas e ações, de forma a eliminar a lacuna entre os resultados obtidos neste primeiro momento e a meta planejada. De seguida, serão apresentados os passos para execução do Ciclo PDCA.

2.8.1 Fase P

A fase de planejamento assume-se como umas das fases mais importantes para o sucesso de um ciclo PDCA. As demais fases são facilitadas por um bom planejamento. Segundo Aguiar (2002), a divisão da fase "P" pode ser adaptada da seguinte forma:

- Definição do problema;
- Estudo do fenômeno e identificação das causas;
- Estudo do processo e priorização das causas;
- Elaboração do plano de ação.

2.8.1.1 Definição do problema

Nesta etapa é onde ocorre a definição da meta, levando em consideração a importância do problema e sua real necessidade de solução. A meta é analisada de forma a verificar sua correlação com as políticas e interesses da organização (Werkema, 1995). É necessário, sempre que possível, realizar uma simulação dos ganhos financeiros reais e analisar a viabilidade da execução do trabalho. Segundo Aguiar (2002), toda a melhoria obtida em uma empresa pode ser quantificada

monetariamente de alguma forma. São coletados dados e amostras do processo que se deseja melhorar ou corrigir, devendo estas amostras ter o maior nível de confiabilidade possível. Estes dados serão convertidos em forma de informações, para que facilitem a sua análise e direcionamento, para futura priorização e elaboração do plano de ação futuramente (Aguiar, 2002).

2.8.1.2 Estudo do Fenômeno e Identificação das Causas

Esta etapa consiste em ampliar o conhecimento e contextualização do problema, de forma a se ambientar com a situação atual. O objetivo geral é expandido em objetivos específicos, de modo a facilitar a identificação das causas e das ações necessárias (Aguiar, 2002). Ainda segundo Aguiar (2002), deve ser avaliado o efeito que cada causa levantada tem sobre o problema. Esta tarefa tem o objetivo de transformar as informações da primeira etapa em conhecimento acerca do problema. Após atingido este objetivo, é possível que se faça uma correta identificação das causas.

2.8.1.3 Estudo do processo e priorização das causas

Através das causas levantadas na etapa anterior, deve-se conhecer o processo de forma a melhor entender o impacto das causas sobre o problema. Com o problema já desdobrado em causas mais simples, torna-se mais fácil a identificação daquelas que realmente têm relevância sobre o problema, socorrendo-se do conhecimento do processo. Deve-se dar prioridade às causas que apresentam forte influência sobre o processo e, portanto, que oferecem maior probabilidade de sucesso (Aguiar, 2002). O problema pode ser contextualizado por equipes e especialistas do processo, para que estes contribuam na priorização das causas. Segundo Aguiar (2002), a priorização é feita levando-se em consideração todas as causas possíveis do problema, aliadas ao conhecimento técnico.

Depois de estabelecida a relação entre as causas e o problema, é feita a priorização das causas que deverão ser atacadas primeiramente.

2.8.1.4 *Elaboração do Plano de Ação*

Nesta etapa serão definidas as ações para eliminar as causas do problema, conforme identificação realizada na etapa anterior (Duarte et al, 2013). Da mesma forma como é feita com as causas, devem ser priorizadas também as ações, socorrendo-se de ferramentas e do próprio conhecimento técnico da equipa. Para elaboração do plano de ação, devem ser analisados os efeitos diretos e indiretos pela execução de determinada ação. Se for possível, podem-se simular os resultados obtidos após a aplicação de uma ação, de modo a verificar se esta atende ao que é proposto, gerando maior confiabilidade à seleção das ações (Aguiar, 2002). Aguiar (2002) enfatiza que o plano de ação montado deve ser de fácil entendimento, e com informações, datas e responsabilidade claras. O produto final desta etapa é a transformação das causas priorizadas em soluções, que deverão ser executadas na próxima fase para eliminar o problema.

2.8.2 Fase D

Esta fase consiste na execução do plano de ação elaborado (Werkema, 1995). Deve ser provida nesta fase a aceitação da ação pela equipa, e a realização dos treinamentos necessários para a sua correta execução. Com o consenso de todos os interessados, e após a eliminação de todos os impedimentos, as ações são executadas. Pode ser realizado também um acompanhamento à execução quando houver esta necessidade, para garantir que as ações sejam realizadas conforme o planejado (Aguiar, 2002).

2.8.3 Fase C

É a fase de verificação dos resultados obtidos após a execução das ações, assim como a avaliação da sua efetividade. É realizada uma comparação com o antes e o depois do processo, através das informações coletadas na fase de planejamento e após a execução do plano de ação (Garcia et al, 2007). No caso na obtenção de um resultado não satisfatório, deve-se retornar à fase P, para identificar os motivos do não atendimento. O retorno à fase de planejamento tende a ter uma execução mais

rápida, uma vez que já foram realizadas todas as análises do problema e do processo, podendo-se pular algumas etapas desta fase (Aguiar, 2002). Ainda segundo Aguiar (2002), quando as ações resultam em valores dentro do planejado, segue-se para a próxima fase. Possíveis variabilidades e instabilidades nos resultados do processo podem ser corrigidas com pequenas ações nesta fase, de forma a garantir uma perfeita confiabilidade nas ações implantadas.

2.8.4 Fase A

A fase final consiste na adoção das boas práticas implantadas como rotinas no processo. A padronização das ações garante a correta execução das atividades, através dos procedimentos estabelecidos, e da capacitação e treinamento dos funcionários (Cunha, 2013). Após garantidas as ações para manutenção dos resultados, é possível efetuar a conclusão do PDCA. Pode ser gerado um novo ciclo sempre que houver a necessidade de correções ou melhorias no processo. Esta possibilidade propicia a melhoria contínua do processo, atividade vista como de grande valor no sistema Toyota de produção (*TPS - Toyota Production System*) (Aguiar, 2002).

DESENVOLVIMENTO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PPRR METAL

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

3.3 REQUISITOS PRINCIPAIS

3.4 FERRAMENTAS DE ANÁLISE PARA A IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E
POSSÍVEIS SOLUÇÕES

3.5 PROJECTO

3.6 ORÇAMENTAÇÃO

3.7 ANÁLISE FMEA

3.8 MANUAL DE MONTAGEM

3.9 MANUAL DE OPERAÇÃO E SEGURANÇA

3.10 MANUAL DE MANUTENÇÃO

3 DESENVOLVIMENTO

Nesse capítulo serão apresentadas todas as etapas do projeto desenvolvido, desde a identificação do problema, requisitos iniciais da empresa, até à elaboração e implementação do mecanismo.

3.1 Caracterização da PPRR METAL

PPRR Metal é uma empresa que teve origem com a mudança de nome da companhia Molcotex – Indústria de Moldes e Cortantes, Ltda, esta última fundada em 1985. A PPRR METAL é uma empresa de desenvolvimento de projetos e fabrico de equipamentos para a injeção de ligas Zamak. Dentro desta área encontra-se o foco da empresa: a injeção de peças em Zamak. A empresa desenvolve e projeta as máquinas de injeção e todos os periféricos que possam estar associados ao processo de fabrico de cabos de comando para a indústria automóvel.

3.2 Caracterização do problema

O processo de fabricação de trincos de portas para automóveis é realizado por injeção de metal. Dessa forma, depois de injetado fica presente na peça um gito residual e comum do processo de injeção, como é mostrado na Figura 18. Posteriormente, a quebra do gito é feita de forma manual, por operadores. Entretanto, essa função, além do custo da empresa para manter um empregado, é uma tarefa cansativa, desgastante e que nada exige da capacidade intelectual de uma pessoa.



Figura 18 - Trinco injetado antes da quebra do gito
Fonte: Autoria própria

O objetivo deste trabalho é desenvolver um mecanismo que execute automaticamente a tarefa da quebra do gito, diminuindo custos de produção e padronizando o processo.

3.3 Requisitos principais

Para o correto desenvolvimento do projeto, e de forma a cumprir com as expectativas da empresa, foram estabelecidos alguns requisitos e objetivos. Os requisitos iniciais e primários estabelecidos foram:

- Construir um sistema automatizado para a retirada da peça com o gito do molde da máquina injetora;
- Garantir a construção de um sistema que faça o corte do gito no sentido correto, para que a peça final fique como representada na Figura 19;



Figura 19 - Trinco depois da quebra do gito
Fonte: Autoria própria

- Selecionar corretamente os sistemas de ligação de peças (parafusos), de forma a serem adequados à carga aplicada;
- Adequar o projeto aos materiais e componentes já existentes no armazém da empresa, de maneira a reduzir custos de construção;
- Construir uma estrutura extra para a fixação do sistema automatizado que seja mecanicamente consistente, durável e, ainda, que não altere a disposição da máquina de injeção ZM1, mostrada na Figura 20 e na Figura 21;
- Construir um mecanismo automatizado em que o tempo total de operação (retirada da peça do molde e quebra do gito) seja menor ou, pelo menos, igual ao tempo de operação manual já existente;
- Projetar a estrutura e o mecanismo de forma a que a produção seja simples e que estes possam ser produzidos totalmente dentro da empresa.



Máquina injetora e a placa acrílica de proteção ao seu redor.

Figura 20 - Máquina injetora de Zamak

Fonte: Autoria própria

3.4 Ferramentas de análise para a identificação do problema e possíveis soluções

Para que fosse desenvolvida e projetada a melhor solução, utilizou-se a ferramenta de qualidade PDCA para a análise da máquina injetora. Primeiramente, para a execução da fase *Plan*, seguiram-se os seguintes passos:

1. Observação do Fenômeno;
2. Análise de Causas;
3. Plano de Ação;
4. Verificação.

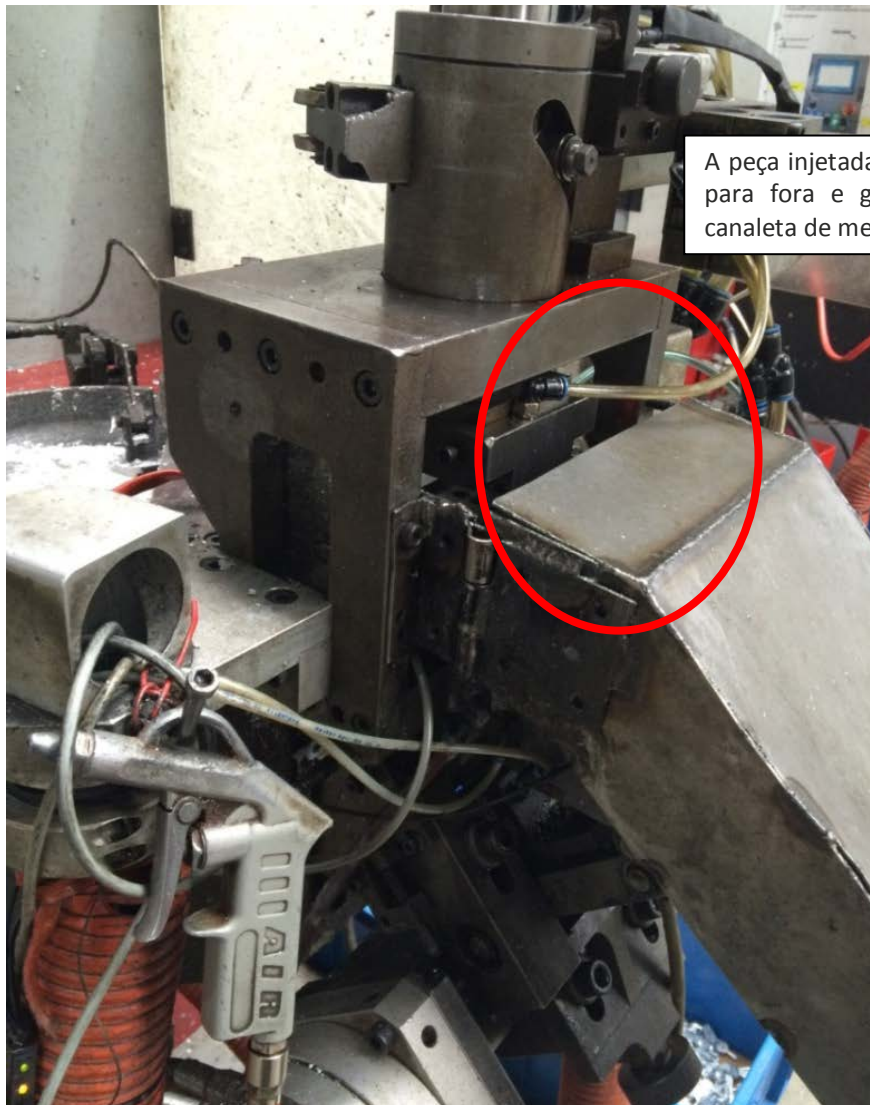


Figura 21 - Detalhe da máquina injetora
Fonte: Autoria própria

Na Observação do Fenômeno, foram coletados os dados necessários para a identificação do problema e análise das características do problema. Foi descrito o estado geral do problema, e assim estabeleceu-se uma meta. Os dados coletados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados coletados na fase de Observação do Fenômeno

Fonte: Autoria própria

1. OBSERVAÇÃO DO FENÔMENO
1.1 - LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DO PROBLEMA ATRAVÉS DA OBSERVAÇÃO NO LOCAL OU BRAINSTORMING:
Máquina injetora que necessita de um sopro de ar comprimido para retirada da peça do molde. Depois de retirada do molde, a peça ainda está com o jito, que precisa ser retirado manualmente depois que a peça já está fria.
1.2 - CONCLUSÃO DAS OBSERVAÇÕES
A máquina injetora de Zamak que produz terminais de cabo de comando tem o produto acabado retirado através de um jato de ar comprimido após a injeção e solidificação do metal e abertura do molde. A peça então resfria a temperatura ambiente, e em outro momento da produção, os jitos são retirados manualmente da peça por um funcionário. Além da função ser cansativa, a repetição do movimento para a retirada do jito faz com o funcionário machuque as mãos. Os custos do funcionário e do ar comprimido gastos no processo não agregam valor ao produto.
1.3 - META
Para diminuir os gastos com ar comprimido e mão-de-obra (custos que não agregam valor ao produto final), é necessário uma solução pra automatizar a retirada da peça do molde e a quebra do jito.

O segundo passo dessa fase, a Análise de Causas, consiste num *brainstorming* das prováveis causas do problema, distribuídas em um diagrama de Ishikawa, assim como a identificação da causa mais provável do problema. A análise de causas é apresentada na Tabela 16.

Tabela 7 - Elaboração do 5W2H na fase do Plano de Ação
 Fonte: Autoria própria

3. PLANO DE AÇÃO	
O QUE?	Construção e automatização de um sistema mecânico para retirada da peça do molde e um mecanismo de quebra do gito.
POR QUE?	Para diminuir custos ligados ao jato de ar comprimido que é necessário para retirada da peça do molde, além de eliminar um posto de trabalho (retirada manual do jito por um operador). A automatização do processo ainda vai garantir a padronização do tempo de processo, aumentando produtividade com a diminuição do lead time na fabricação da peça.
COMO?	Projetar e desenhar um sistema automatizado que pegue a peça logo depois de fundida, quebre o jito e solte a peça em local apropriado. Então, executar a construção do sistema na máquina injetora.
ONDE?	Na indústria PPRR - Metal, localizada em Porto/Portugal.
QUEM?	Projetista da PPRR - Metal e estagiária de engenharia mecânica.
QUANDO?	O prazo para projetar e executar o aprimoramento do processo é até junho/2017.
QUANTO?	€ 6000,00

O quarto passo da fase é feito parcialmente, com a identificação dos resultados esperados, apresentados na Tabela 8. Entretanto, a comparação com os resultados obtidos só é feita na fase *Check*.

Tabela 8 - Fase de verificação parcialmente desenvolvida
Fonte: Autoria própria

4. VERIFICAÇÃO	
4.1 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	
ESPERADOS	OBTIDOS
Eliminar os custos de ar comprimido com o processo de retirada da peça.	(Fase <i>Check</i>)
Eliminar o posto de trabalho de retirada do jito, diminuindo os custos com a mão de obra no processo de produção da peça.	(Fase <i>Check</i>)
Padronizar o lead time das peças produzidas.	(Fase <i>Check</i>)
Eliminar o risco de acidentes e/ou ferimentos dos funcionários através da retirada manual dos jitos.	(Fase <i>Check</i>)

Assim, com as informações obtidas no PDCA, e utilizando o conhecimento prévio sobre estruturas mecânicas, foi iniciado o projeto do mecanismo. Antes da solução definitiva e do projeto aprovado, apresentou-se ao engenheiro supervisor um projeto inicial com a ideia primária, onde foram apontadas algumas melhorias e destacados alguns parâmetros que não haviam sido levados em consideração anteriormente. A primeira versão do projeto é apresentada na Figura 22.

A primeira versão do mecanismo tinha em sua estrutura quatro componentes responsáveis pelo movimento: três atuadores pneumáticos lineares, um atuador pneumático giratório e uma garra pneumática. A posição inicial do mecanismo consistia em colocar os dois atuadores na posição de avanço, e o atuador com o curso intermediário na posição de recuo. A posição 1 é mostrada na Figura 23.

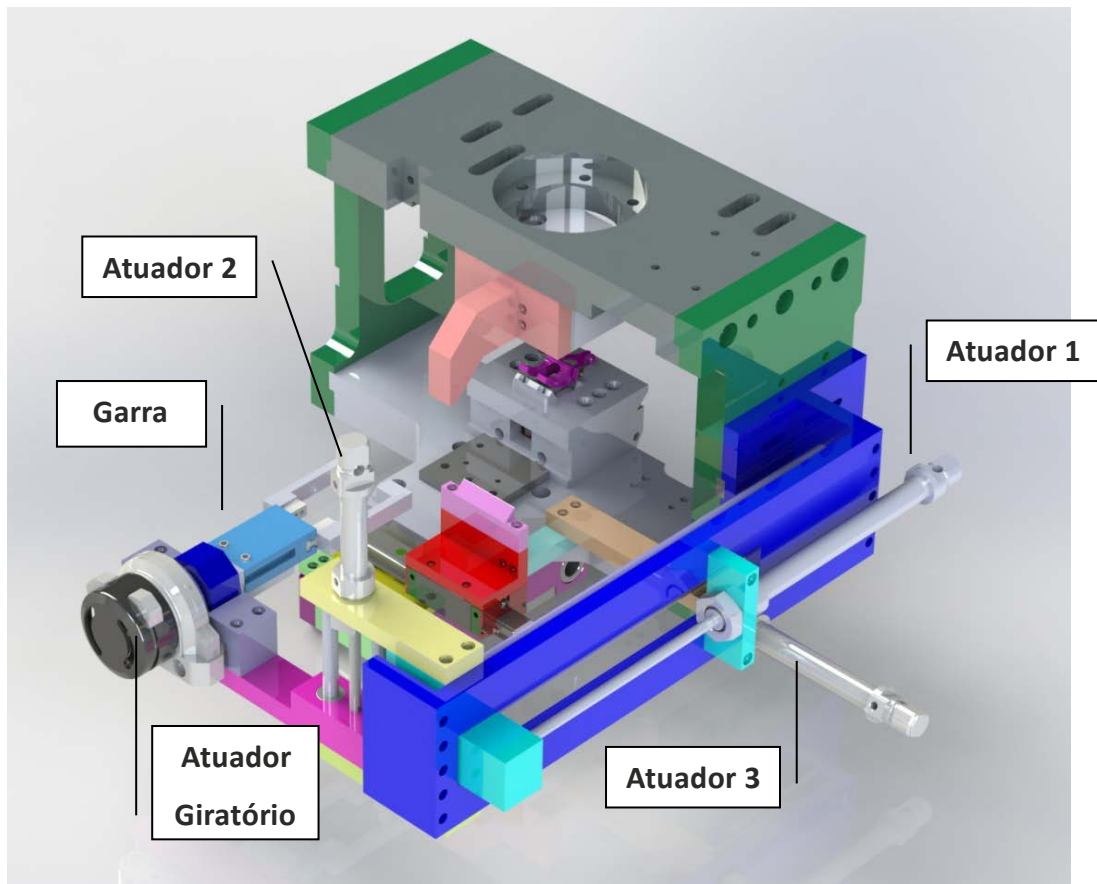


Figura 22 - Primeira versão do mecanismo corta gito
Fonte: Autoria própria

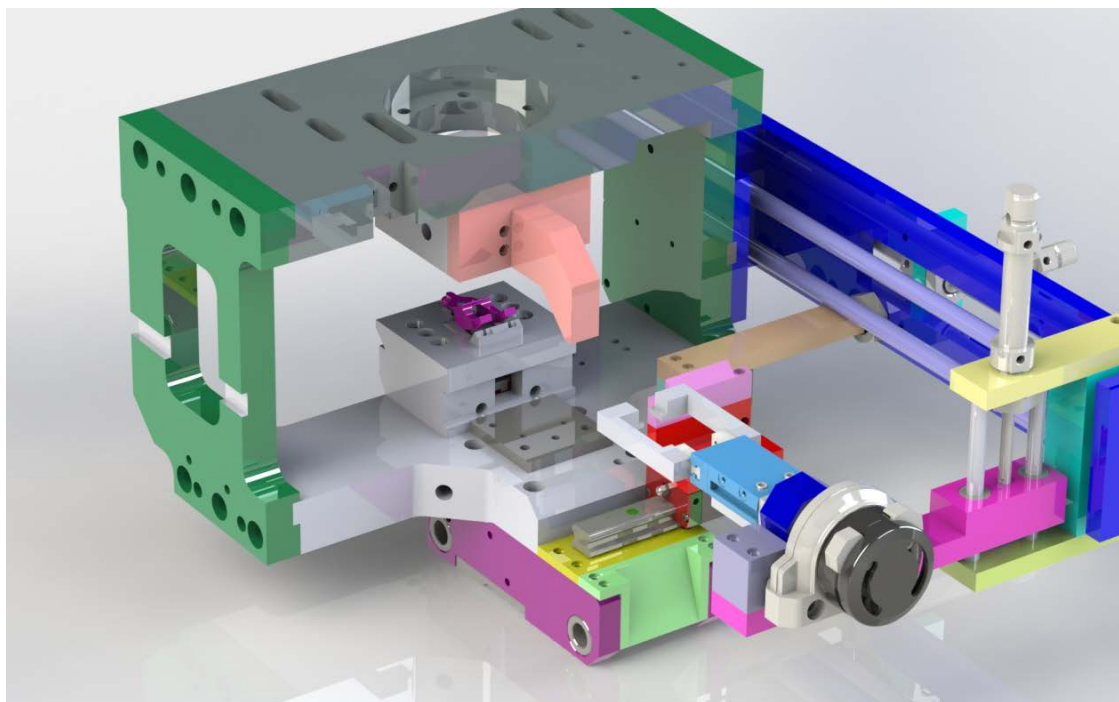


Figura 23 - Posição inicial do ciclo de corte de gito
Fonte: Autoria própria

O funcionamento do mecanismo consiste em:

- O atuador 1 retorna à posição de recuo, fazendo com que a garra pneumática e o atuador giratório se movam para perto do molde;
- O atuador 2 curso avança, movendo a garra e o atuador giratório para que a garra seja acionada, e a peça seja retirada de dentro do molde. Então, o mecanismo fica na posição mostrada na Figura 24.

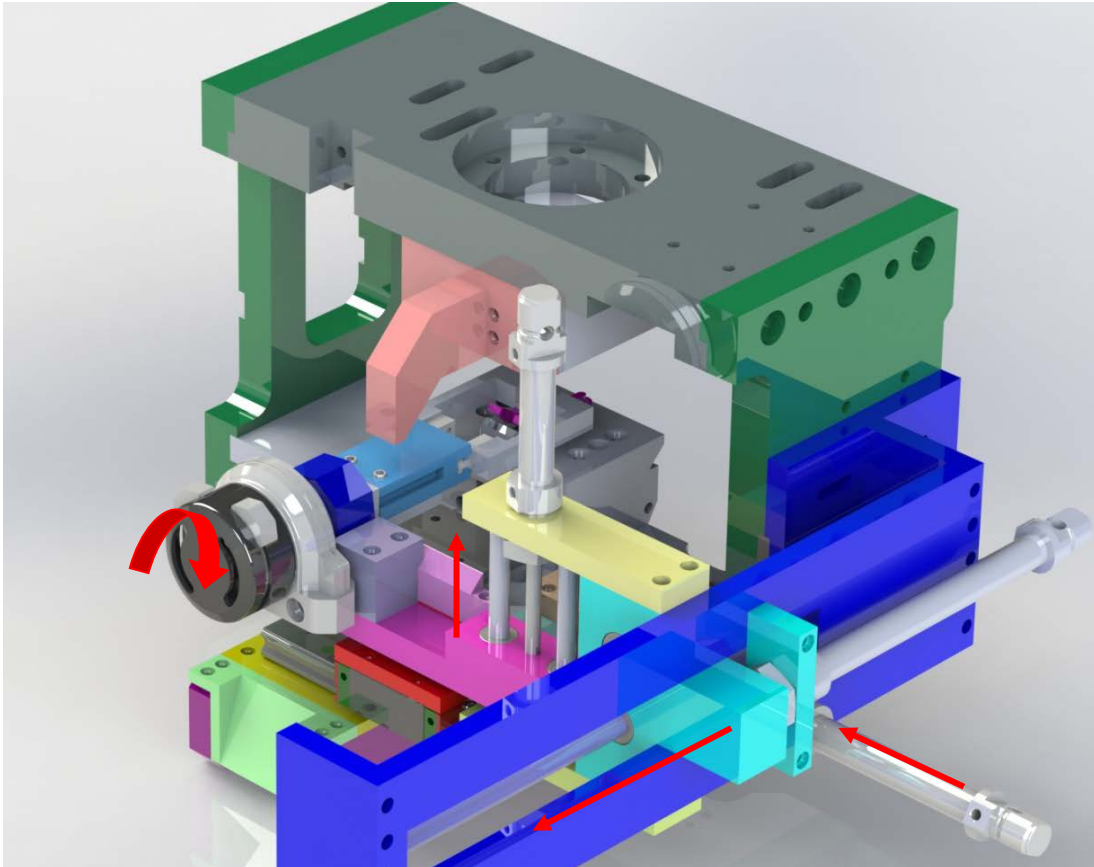


Figura 24 - Mecanismo corta gito na posição 2
Fonte: Autoria própria

- O atuador 2 recua, para que não haja nenhuma colisão com a estrutura da máquina. No retorno para a posição de corte, é acionado o atuador giratório, já que um dos requisitos do projeto estipula uma direção de corte específica;
- Um carrinho com o apoio para a peça é movimentado pelo atuador 3, então o atuador 2 recua, e no caminho de retorno encontra um obstáculo (uma peça localizada estrategicamente) que na colisão, faz o gito quebrar. O mecanismo apresenta-se na posição 3, como é mostrado na Figura 25.

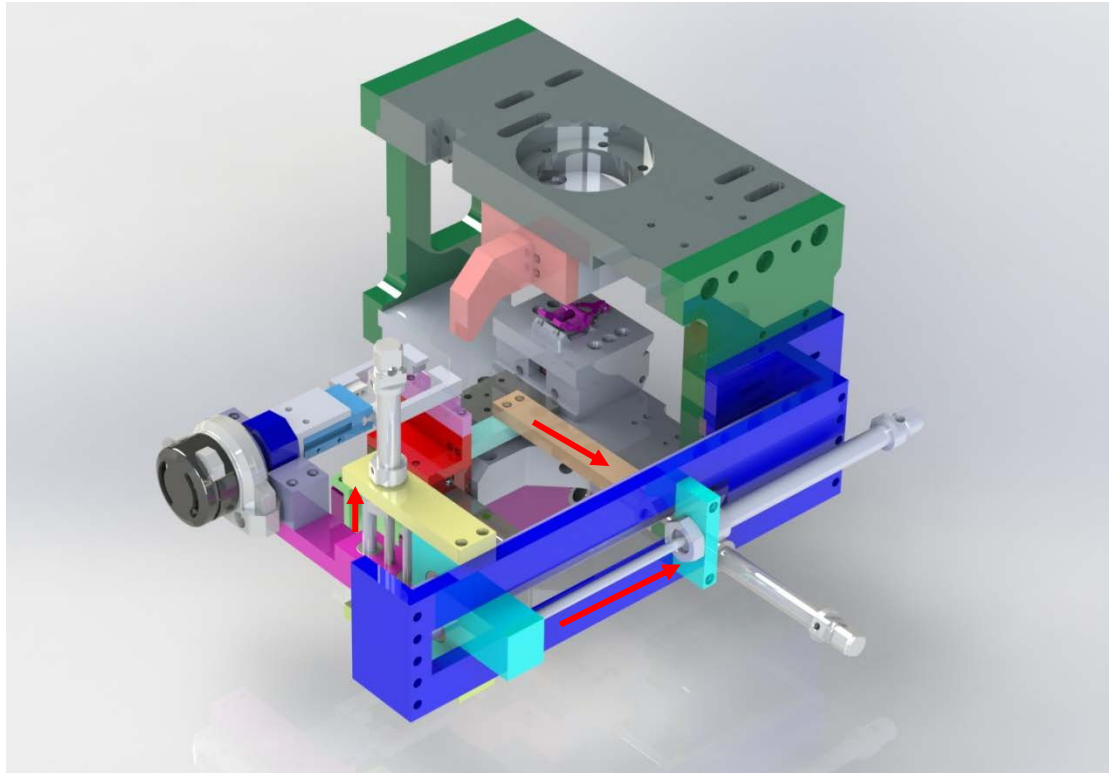


Figura 25 - Mecanismo corta gito na posição final/sinal
Fonte: Autoria própria

- Depois de executado o corte do gito, a garra abre-se e o centro de massa da peça faz a mesma cair para um lado do apoio e o gito para outro. As rampas e calhas que direcionam o gito e peça seriam desenhados posteriormente;
- O carrinho volta à posição inicial e o atuador giratório é acionado, e deixa a garra na posição de início.

Entretanto, o projeto inicial foi descartado porque o tempo de ciclo do mecanismo era superior ao tempo de injeção da peça e resfriamento do molde. Dessa forma, não fazia sentido uma melhoria que aumentasse o tempo total do processo. Assim, o engenheiro supervisor solicitou algumas mudanças e deu algumas sugestões, como diminuir o curso dos atuadores lineares, e tentar inverter o sentido de corte em relação à máquina, para que não fosse necessário utilizar o atuador pneumático giratório e o carrinho que fazia o apoio.

O projeto aprovado será apresentado detalhadamente no capítulo 3.5.1, assim como todas as suas peças e componentes.

3.5 Projecto

No novo projeto, pretende-se trabalhar com o espaço mínimo nos movimentos necessários para diminuir o curso dos atuadores pneumáticos, e assim diminuir o tempo do ciclo. O sentido da quebra do gito também precisa de ser invertido, de modo que será desenvolvido um mecanismo de corte que atue de baixo para cima. Na seleção de materiais, serão preferencialmente escolhidos os que a empresa já está familiarizada com o seu uso.

3.5.1 Projecto mecânico e peças

As alterações solicitadas que seguem foram executadas:

- O cilindro pneumático de maior curso foi reduzido para o menor possível, considerando o tamanho da garra e o espaço para que não houvesse colisão com a máquina. Esse cilindro agora tem 150 mm de curso;
- Para que o corte fosse invertido, a solução encontrada foi utilizar dois cilindros pneumáticos: um que será fixo na parte de cima da máquina e irá travar a peça no momento do corte; e o segundo que fará o movimento para o corte e será fixo na parte inferior da máquina. Como o espaço é limitado na parte inferior da máquina e para o movimento de corte é necessário uma força maior, o atuador utilizado será um cilindro compacto;
- Uma terceira mudança no projeto foram as alterações no sentido de permitir a regulação de altura do mecanismo na máquina. Ao invés de feitos furos para fixação, foram utilizados canais.

É apresentado na Figura 26 uma visão geral do mecanismo (já acoplado à máquina).

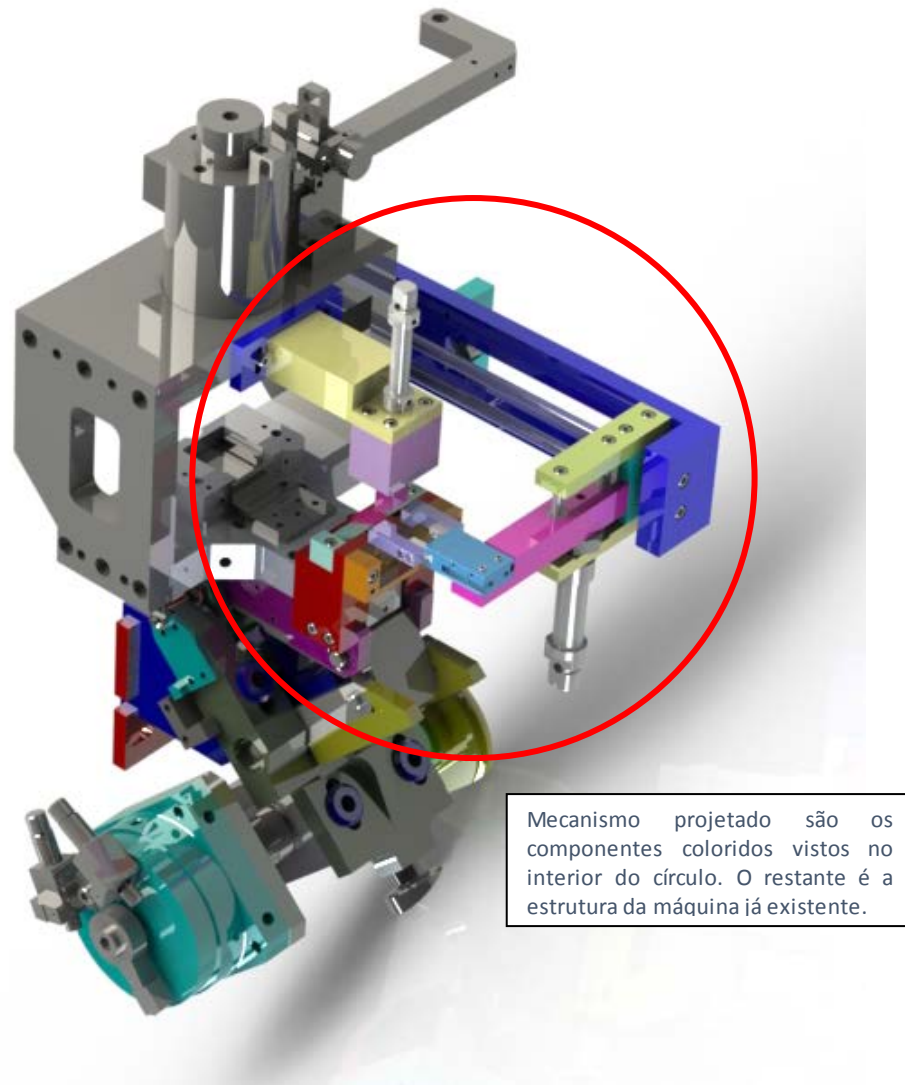


Figura 26 - Vista isométrica do novo projeto
Fonte: Autoria própria

O ciclo do processo funciona da forma que se refere a seguir:

- 1) O atuador 1 (apresentado na Figura 27) é acionado e a garra (Figura 28) avança até estar próxima da peça;
- 2) Para que não houvesse colisão com o sistema, a garra não poderia estar no mesmo nível da peça injetada. Então, o atuador 2 (Figura 27) é acionado e a garra desce até ficar ao mesmo nível do trinco;

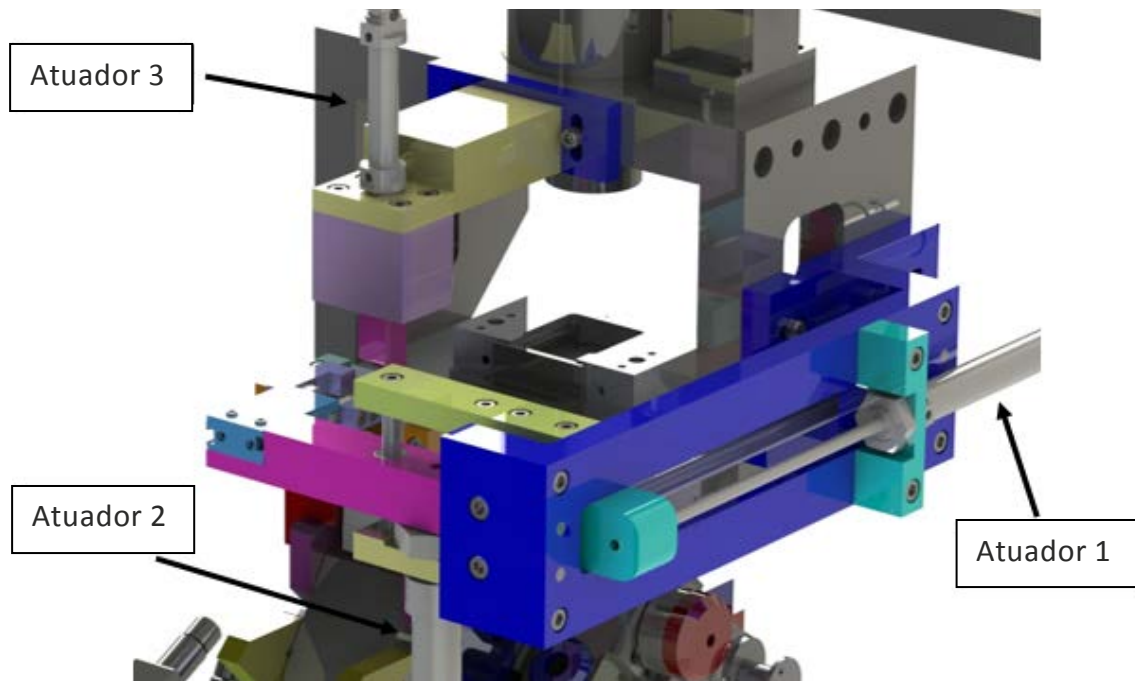


Figura 27 - Atuadores 1, 2 e 3
Fonte: Autoria própria

- 3) A garra é acionada e o trinco é apertado. O atuador 2 retorna e a garra é elevada;
- 4) O atuador 1 retorna, e nesse momento o trinco já está na posição correta para o corte;
- 5) O atuador 3 (figura 27) avança e o trinco é fixo;

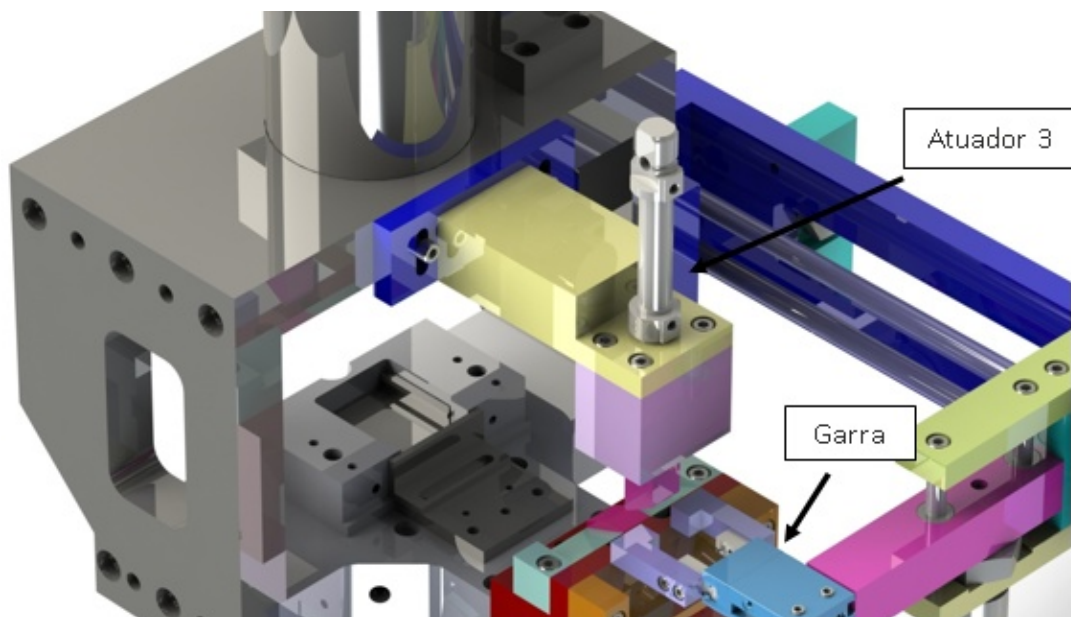


Figura 28 - Garra e atuador 3
Fonte: Autoria própria

- 6) O atuador 4 (Figura 29) avança e realiza a quebra do gito de baixo para cima;

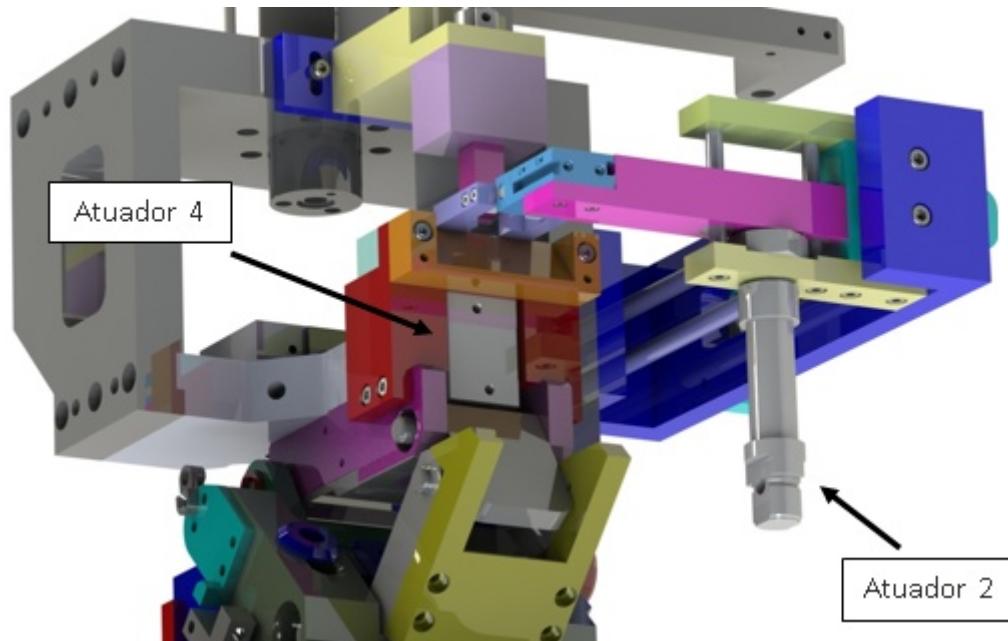


Figura 29 - Atuadores 2 e 4
Fonte: Autoria própria

- 7) No mesmo instante a garra abre, e os atuadores 3 e 4 retornam. O ciclo terminou e o mecanismo está pronto para o próximo ciclo.

Como já referido anteriormente, a estrutura do Corta Gito foi construída em materiais com quais a empresa já estava familiarizada e utilizava previamente. Para a escolha dos materiais, utilizou-se como critério a função que a peça tinha no sistema. Nas peças em que haveria contato uma com as outras, era preciso um material que fosse resistente ao desgaste. O material já usual na empresa e que apresenta essa propriedade mecânica é o aço AISI D2 (W Nr. 1.2379), com posterior tratamento de têmpera e revenido, que deve ter aquecimento entre 1010 e 1030°C (Villares Metals, 2003). A composição química do aço é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 - Composição química (%) do aço AISI D2
Fonte: Ficha técnica Rolmetais

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
1,4 - 1,6	≤ 0,6	≤ 0,6	≤ 0,03	≤ 0,03	11,0 - 13,0	0,7 - 1,2	0,5 - 1,1

A composição química desse aço faz com que seja amplamente utilizado na indústria, principalmente no trabalho a frio. É um aço com ótima resistência ao desgaste abrasivo, entretanto limitado no que diz respeito à resistência a fratura. A Tabela 10 apresenta algumas propriedades mecânicas e características físicas do aço AISI D2.

Tabela 10 - Propriedades do aço AISI D2 às temperaturas de 20°C, 200°C e 400°C
Fonte: Ficha técnica Rolmetais

Temperatura	20°C	200°C	400°C
Condutibilidade Térmica (W/m°C)	20	21	23
Módulo de Elasticidade (MPa)	210000	210000	210000

No momento de produção das peças, encontravam-se em armazém outros materiais com propriedades equivalentes. Optou-se então por utilizar esses materiais. Em substituição ao aço AISI D2 utilizou-se o AISI D3 (W.Nr. 1.2080). A composição química desse aço é apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 - Composição química (%) do aço AISI D3
Fonte: Adaptado Ramada Aços

C	Si	Mn	P	S	Cr
1,9 - 2,20	0,1 - 0,6	0,2 - 0,6	≤ 0,03	≤ 0,03	11,0 - 13,0

Comparando a Tabela 11 com a Tabela 9, percebe-se que a composição é muito semelhante à do aço em que a peça foi projetada originalmente.

Tabela 12 - Propriedades do aço AISI D3 às temperaturas de 20°C e 400°C
 Fonte: Adaptado *Ramada Aços*

Temperatura	20°C	400°C
Condutibilidade Térmica (W/m°C)	20	20,50
Módulo de Elasticidade (MPa)	210000	210000
Dureza (HB)	255	-

Comparando a Tabela 12 com a Tabela 10, observa-se que o módulo de elasticidade, propriedade mecânica muito importante na aplicação apresenta o mesmo valor. Por essa razão, e levando em consideração a experiência dos funcionários da empresa, a mudança foi feita com tranquilidade. As peças em que foram utilizadas esse material estão apresentadas e descritas a seguir. A peça "régua-guia", apresentada na Figura 30, é o componente com maiores dimensões do sistema. Faz parte da estrutura do mecanismo, absorvendo grande parte das forças aplicadas. A espessura utilizada foi escolhida de acordo com o usual pela empresa. A peça apresenta quatro furos passantes de 6,6 mm de diâmetro, e com rebaixos de 6,4 mm com diâmetro de 11 mm. Esse furos servirão para fixar parafusos com rosca M6 x 1 e, assim como em todo o projeto, são parafusos de cabeça cilíndrica com sextavado interior (ISO 4762). Há ainda mais dois furos roscados para parafusos M6 x 1. Para posicionar corretamente a peça, existem mais quatro furos com diâmetro de 6 mm e tolerância H7 (padrão utilizado pela empresa) que irão receber cavilhas metálicas. Com a finalidade de guiar o movimento de um dos atuadores lineares, é feito um rasgo na peça. Os furos, o rasgo e outros detalhes são mostrados na Figura 30 e nos anexos.

A peça "carrinho horizontal" (figura 31) está ligada ao cilindro pneumático, e é responsável pelo movimento linear, deslizando sobre os veios. Apresenta formato em "T" e espessura superior às outras peças do projeto, para garantir que seja suficientemente robusta e suportar o esforço requerido, proveniente do peso das outras peças. Existem quatro furos roscados M5 x 0,8 com profundidade de rosca de 20mm. Há também um furo passante roscado M6 x 1 que será a fêmea da rosca do cilindro pneumático. Ainda existem mais dois furos passantes de 17 mm com tolerância H7, onde irão passar os veios maiores. Dessa forma, será possível o

movimento linear pela régua-guia. A peça é mostrada detalhadamente na Figura 31 e nos anexos.

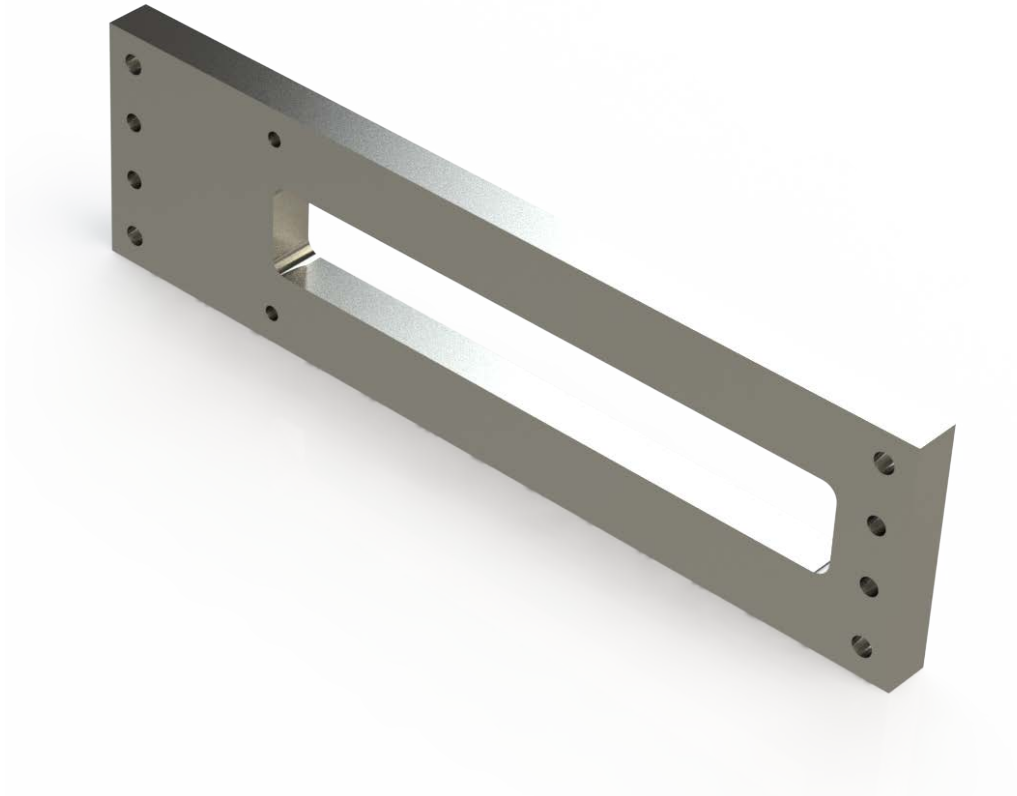


Figura 30 - Modelo isométrico da régua-guia
Fonte: Autoria própria

A peça "carrinho vertical" (Figura 32) é um componente robusto do mecanismo, pois terá que sustentar a garra pneumática juntamente com o par de pinça. Esse acoplamento será feito através de parafusos de cabeça cilíndrica com sextavado interior M3. Portanto, existem na peça dois furos passantes de diâmetro 3,4 mm e um rebaixo de 3,4 mm com diâmetro de 6,5 mm. Há ainda dois furos passantes com diâmetro de 15 mm e tolerância H7, para a passagem dos veios menores. Entre estes dois últimos, há um furo passante roscado M8 x 1,25 que será a fêmea da rosca do cilindro pneumático acoplado. Este detalhe é mostrado na Figura 32.

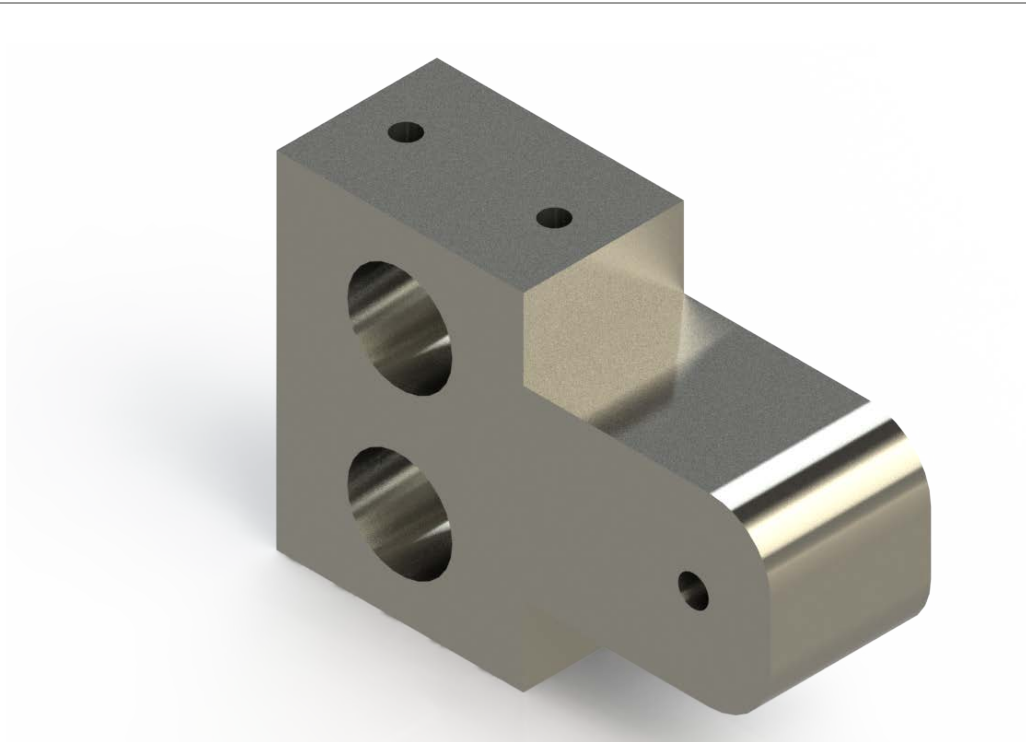


Figura 31 - Modelo isométrico do carrinho horizontal
Fonte: Autoria própria

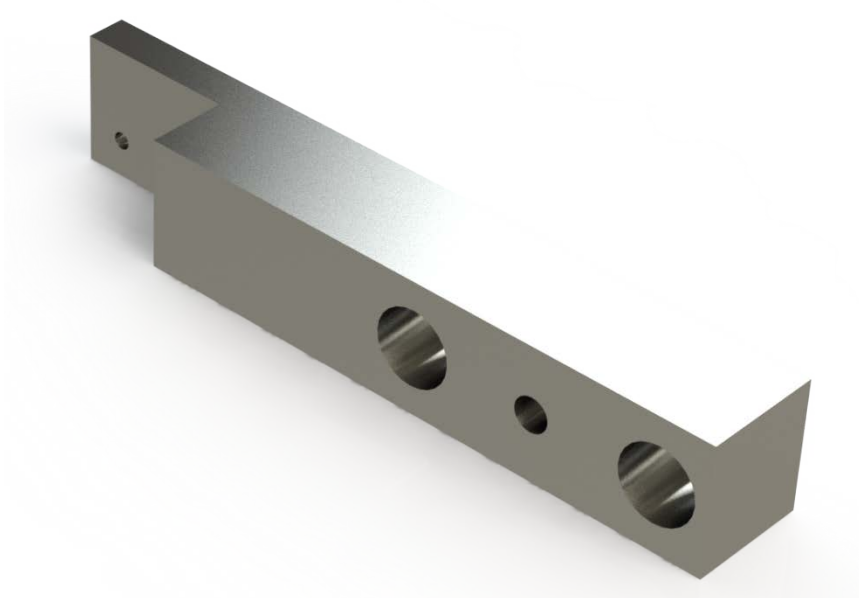


Figura 32 - Modelo isométrico do carrinho vertical
Fonte: Autoria própria

A "garra" (Figura 33) é um dos itens que formará o par da pinça, e por esse motivo é feita em formato de "L". Apresenta dois furos passantes de diâmetro 3,4mm e um rebaixo de 3,4 mm com diâmetro de 6,5 mm. Estes furos irão alocar dois parafusos de cabeça cilíndrica com sextavado interior M3 x 0,5 para fixar a garra na pinça, e são mostrados na Figura 33 e no anexo.



Figura 33 - Modelo isométrico da garra
Fonte: Autoria própria

A "mesa de suporte" (Figura 34) é a de geometria mais complexa do mecanismo, pois teve de ser desenhada para encaixar perfeitamente em um espaço pequeno entre os componentes da máquina. No canal inferior da peça é ainda alocado um atuador linear compacto, responsável por fazer a quebra do gito do trinco injetado. Devido à quantidade de furos, e para facilitar o entendimento, esses detalhes serão apresentados nos tópicos a seguir.

- Primeiramente, na face superior da peça, existem quatro furos passantes de diâmetro 5,5 mm com rebaiços de 5,4 mm e diâmetro igual a 10 mm. Esses furos irão receber parafusos de cabeça cilíndrica com sextavado interior M5 x 0,8, para fazer a ligação com o cilindro compacto mencionado anteriormente;
- Para conectar a mesa de suporte com a máquina serão utilizados parafusos de cabeça cilíndrica com sextavado interior M5 x 0,8 também, e estes serão alocados em furos passantes de diâmetro 5,5 mm com rebaiços de 5,4 mm e diâmetro de 10 mm, localizados na lateral da peça;
- Na face superior e frontal estão localizados mais quatro furos roscados M5 x 0,8. Na face frontal são colocados furos passantes, e na face superior os furos tem rosca com profundidade de 25 mm;
- Para possibilitar a passagem do pistão do cilindro compacto, há ainda um furo central de diâmetro 12,5 mm na face superior da peça.

Os furos e a geometria da mesa de suporte são mostrados na Figura 34 e nos anexos.

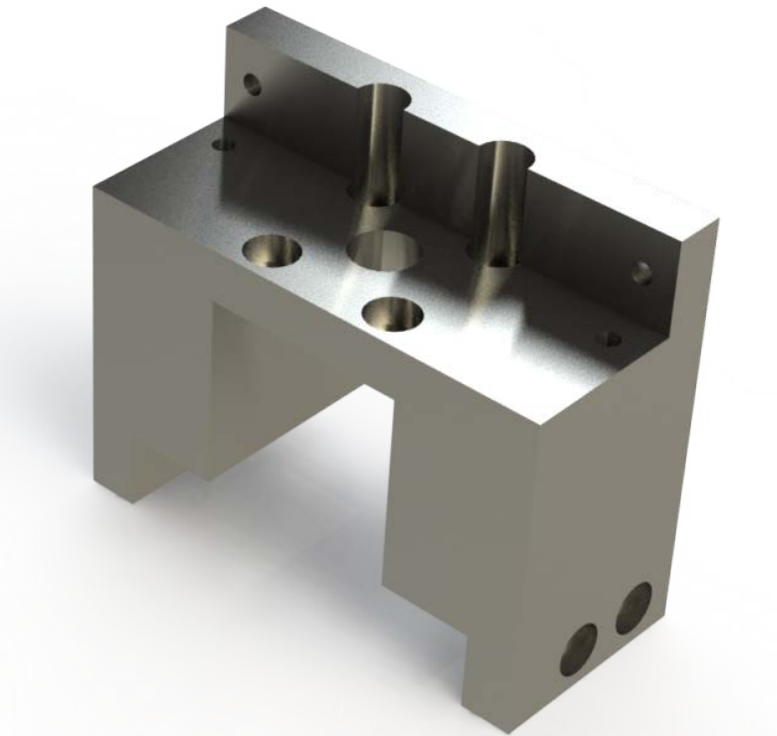


Figura 34 - Modelo isométrico da mesa de suporte
Fonte: Autoria própria

É importante ressaltar o toleranciamento nessa peça, mostrado nos anexos. Como a peça irá encaixar em uma máquina que já está em funcionamento, que não vai ser fabricada ou que poderá ter já alguma modificação, é necessário garantir esse acoplamento. Essa garantia se dá com as tolerâncias variando entre valores maiores que a dimensão, e nunca tolerâncias negativas, já que as peças vão encaixar exteriormente aos componentes da máquina. O intervalo de tolerância obedece ao usual na empresa. O "punção de corte" (Figura 35) será o componente que irá colidir com o gito para fazer a quebra. A peça foi projetada de modo a ter uma medida suficiente para fazer a quebra, mas insuficiente para equilibrar o gito depois da separação com o trinco. Portanto, depois da quebra, o gito irá cair sob a inclinação presente na peça. Para o encaixe da peça com a haste do cilindro compacto, é feito um furo roscado M8 x 1,25 com profundidade de 13 mm, na face inferior da peça. A peça pode ser vista em detalhe na Figura 35 e nos anexos.



Figura 35 - Modelo isométrico do punção de corte
Fonte: Autoria própria

A "guia do apoio" (Figura 36) tem a função de guiar a peça que irá segurar o trinco no momento da quebra do gito. Para o guiamento da peça já mencionada, há um furo quadrado de 15 mm x 15 mm. Para fixação, existem na peça quatro furos roscados M5 x 0,8, com profundidade de rosca de 20 mm. Há ainda um rebaixo central de diâmetro igual a 28 mm, e profundidade de 10 mm. Esse rebaixo é necessário para permitir o encaixe de um cilindro pneumático. O modelo isométrico poderá ser visto na Figura 36, e os detalhes do desenho 2D são mostrados nos anexos.

A peça "apoio do trinco" (Figura 37) tem a função de segurar o trinco no momento do corte, que é o componente guiado pela guia do apoio, mencionado no parágrafo anterior. Para isso, apresenta o mesmo ângulo de inclinação dessa peça. Tem um furo roscado M6 x 1 com profundidade de 17 mm, para ser acoplado na haste do cilindro pneumático (atuador 3). O furo e outros detalhes podem ser observados nos anexos, enquanto a vista isométrica é mostrada na Figura 37.

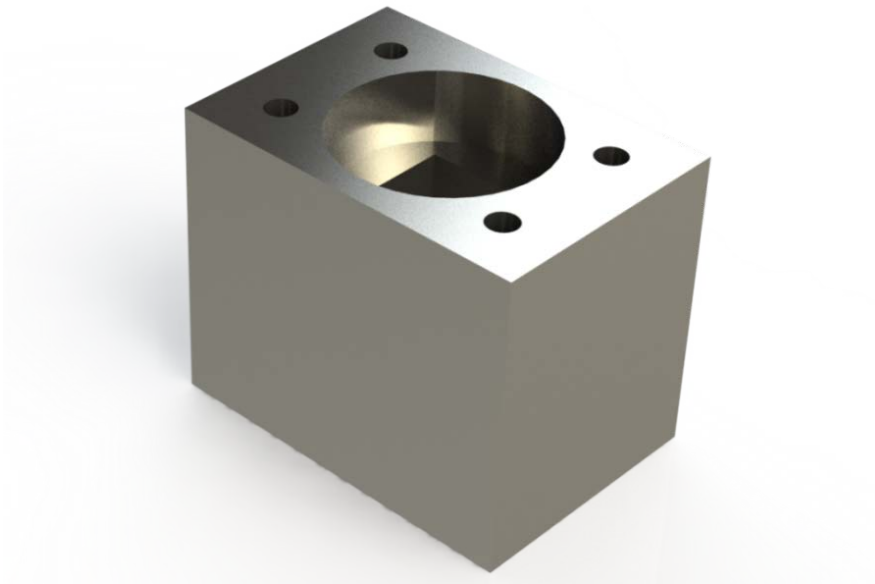


Figura 36 - Modelo isométrico da guia do apoio
Fonte: Autoria própria

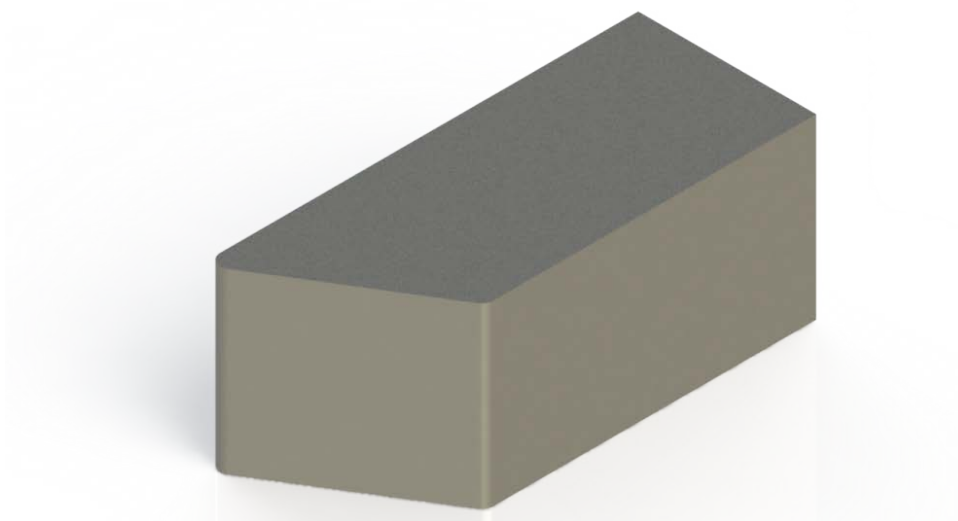


Figura 37 - Modelo isométrico do apoio do trinco
Fonte: Autoria própria

Então, para as peças que iriam suportar o mecanismo, utilizou-se também um material já usual na empresa. O material que tem as propriedades mecânicas requeridas para tal função é o aço AISI 1045 (WNr. 1.1191/1.1730), cuja composição química é apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 - Composição química (%) do aço AISI 1045.
 Fonte: Adaptado Site Ramada Aços

C	Mn	Si	P	S
0,42 - 0,50	0,50 - 0,80	0,40	0,035	0,035

O elevado limite de resistência mecânica e dureza desse aço, faz com que o mesmo seja ideal para utilizações como essa. Algumas propriedades mecânicas estão apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Propriedades mecânicas gerais do aço AISI 1045.
 Fonte: Adaptado Normas Técnicas para Barras de Aço Marvitubos

Tensão de Ruptura (MPa)	600
Limite Elástico (MPa)	370
Alongamento (%)	20
Dureza (HB)	187 - 220

As peças em que se utilizou o material AISI 1045 no fabrico serão apresentadas a seguir. A peça "suporte do mecanismo" (Figura 38) é o componente que apresenta a função de fazer a ligação do mecanismo projetado com a máquina já existente. Esta peça tem cinco furos passantes de diâmetro 6,6 mm, com rebaixos de 6,4 mm de profundidade e diâmetro igual a 11 mm. Tem ainda mais dois furos passantes de diâmetro igual a 6 mm para alocar duas cavilhas. Esses dois últimos têm toleranciamento H7. Para fixar a estrutura na máquina, a peça contém quatro rasgos com raio de 2,75 mm e comprimento de 15 mm. Os rasgos foram feitos para permitir qualquer regulação no sentido do eixo Y da máquina. Os detalhes da peça podem ser vistos em anexo e a peça é mostrada em vista isométrica na Figura 38.

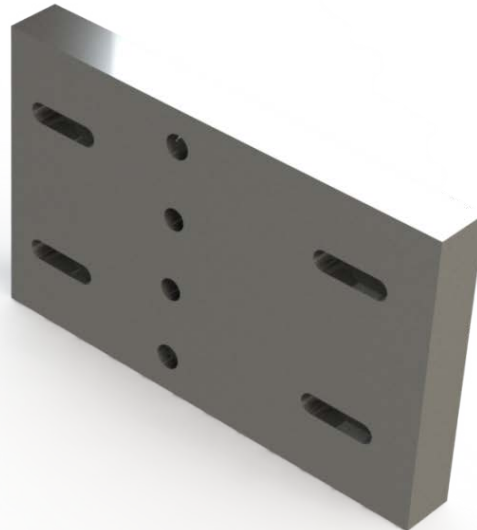


Figura 38 - Modelo isométrico do suporte do mecanismo
Fonte: Autoria própria

A peça "apoio direito dos veios" (Figura 39) é ligada no suporte do mecanismo (peça anterior), e na régua-guia (apresentada anteriormente). Para isso, apresenta dois furos roscados M6 para fixação da peça, além de dois furos para cavilhas, com diâmetro de 6 mm e toleranciamento H7. Também é conectado aos veios maiores. Tem dois furos passantes com diâmetro de 6,6 mm e rebaxos de 6,4 mm com diâmetro igual a 11 mm. A peça é apresentada na Figura 39 e o desenho técnico é apresentado em anexo.



Figura 39 - Modelo isométrico do apoio direito dos veios
Fonte: Autoria própria

A peça "apoio esquerdo dos veios" (Figura 40) é muito semelhante à peça anterior, inclusive na medida dos furos. O que difere entre as duas é o apoio esquerdo não ter furos na face direita, já que não é ligado a nenhuma peça e nem à máquina. A comparação pode ser feita a partir da Figura 40, que mostram o componente, em vista isométrica. O desenho técnico correspondente pode ser visto em anexo.

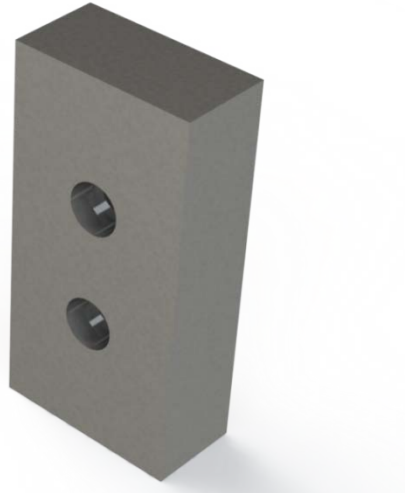


Figura 40 - Modelo isométrico do apoio esquerdo dos veios
Fonte: Autoria própria

A peça "suporte do cilindro" (Figura 41) é o componente que fixa um dos cilindros pneumáticos à estrutura do mecanismo. Para tal função, tem um furo central com diâmetro de 16mm, onde irá passar o cilindro. Para fixar a peça na estrutura existem dois furos passantes de diâmetro 6,6 mm com rebaxos de 6,4 mm e diâmetro igual a 11 mm. A peça é mostrada na Figura 41.

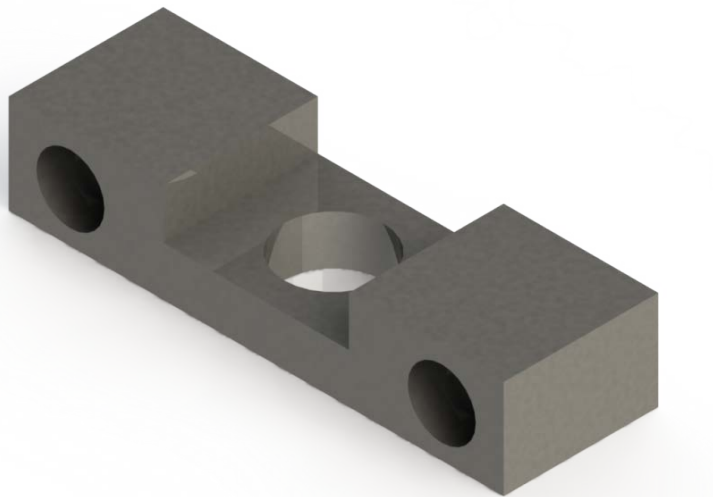


Figura 41 - Modelo isométrico do suporte do cilindro
Fonte: Autoria própria

A peça "apoio superior dos veios" (Figura 42) faz parte de um outro conjunto de movimento linear do sistema. Na peça existem quatro furos passantes de diâmetro 5,5 mm com rebaxos de 5,4 mm e de diâmetro igual a 10 mm. Dois desse furos irão permitir a ligação com o carrinho horizontal, e os outros dois farão a ligação com os veios menores. Os detalhes da peça "apoio superior dos veios" são mostrados na Figura 42.

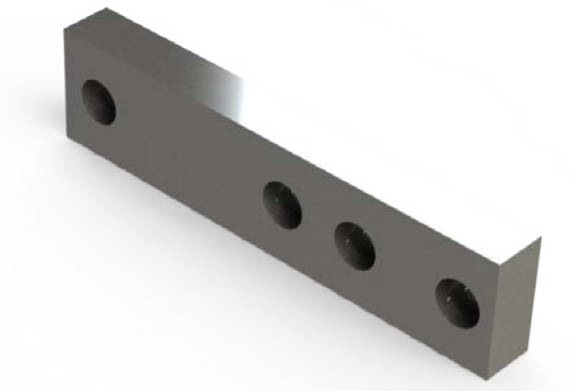


Figura 42 - Modelo isométrico do apoio superior dos veios
Fonte: Autoria própria

A peça "apoio inferior dos veios" (Figura 43) é muito parecida com a peça anterior (apoio superior dos veios). No entanto, esta tem um rebaxo de 2 mm e um furo passante com diâmetro igual a 22 mm para permitir a colocação de um cilindro pneumático que fará o movimento linear. Assim como o apoio superior dos veios, tem quatro furos passantes de diâmetro 5,5 mm com rebaxos de 5,4 mm e de diâmetro igual a 10 mm. A peça e seus respectivos detalhes são mostrados na Figura 43.

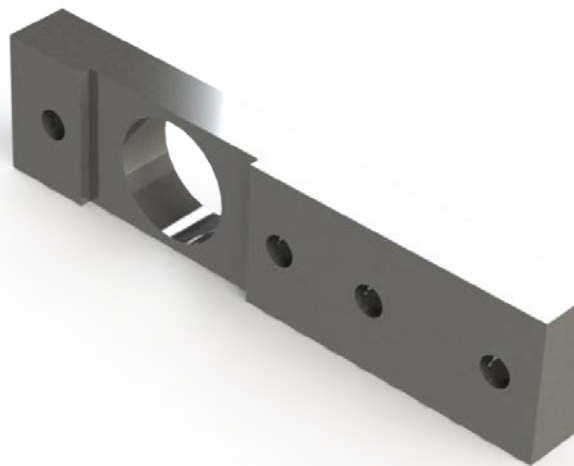


Figura 43 - Modelo isométrico do apoio inferior dos veios
Fonte: Autoria própria

A "rampa" (Figura 44) serve para o deslizamento da peça depois da quebra do gito. É fixa na mesa de suporte, com dois furos passantes de diâmetro igual a 5,5 mm com rebaixos de 5,4 mm com diâmetro de 10 mm. Apresenta mais dois furos roscados M5 x 0,8 para a fixação da continuação da rampa para a peça sem o gito. A Figura 44 mostra a peça em vista isométrica, enquanto os desenhos técnicos 2D podem ser analisados em anexo.

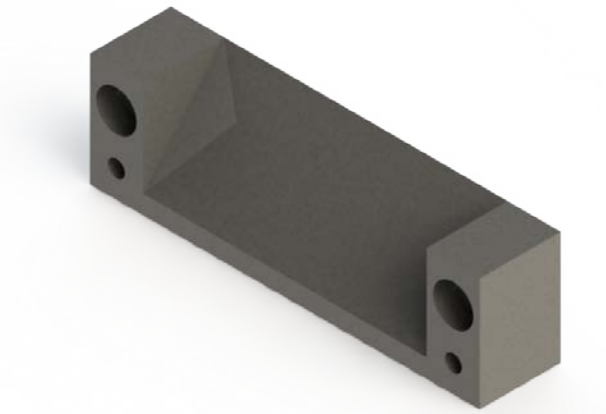


Figura 44 - Modelo isométrico da rampa
Fonte: Autoria própria

A "rampa direita" (Figura 45) tem como função não permitir que o gito repouse sobre o sistema, e encaminha-o para o recipiente adequado. A sua fixação na mesa de suporte é feita através de parafusos de cabeça cilíndrica com sextavado interior M5 x 0,8. Como tal, a peça apresenta furos de diâmetro 5,5 mm com rebaixos de 5,4 mm e diâmetro igual a 10 mm. O modelo isométrico é mostrado na Figura 45 e os detalhes podem ser vistos no desenho técnico em anexo.

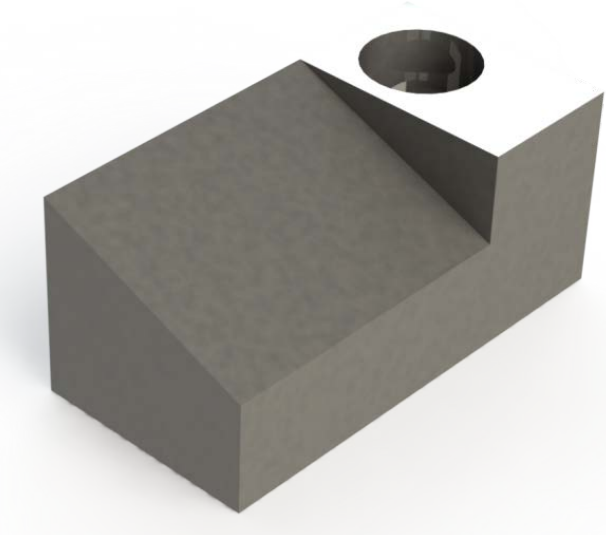


Figura 45 - Modelos isométrico da rampa direita
Fonte: Autoria própria

A "rampa esquerda" (Figura 46) é o espelho da rampa direita, apresentando portanto as mesmas características. Os detalhes são mostrados na Figura 46.

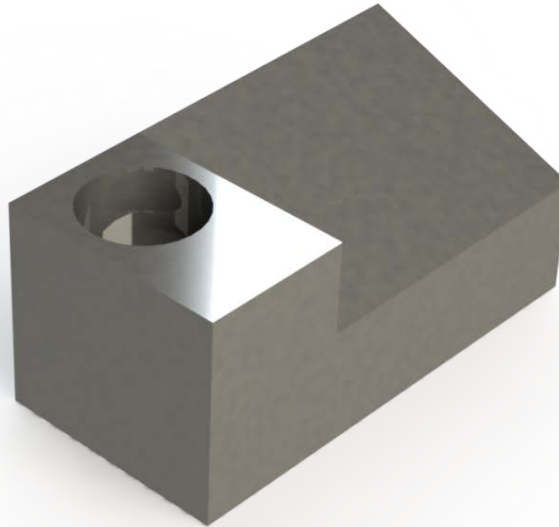


Figura 46 - Modelo isométrico da rampa esquerda
Fonte: Autoria própria

A peça "suporte superior" (Figura 47) fixa o mecanismo à estrutura da máquina. Para isso, tem dois rasgos de comprimento igual a 15 mm. Tem ainda quatro furos passantes com diâmetro de 6,6 mm, com rebaixos de 6,4 mm e diâmetro de 11 mm, que permitem a fixação com a peça "suporte do sistema de corte" (apresentada posteriormente). A peça é mostrada com detalhes na Figura 47.

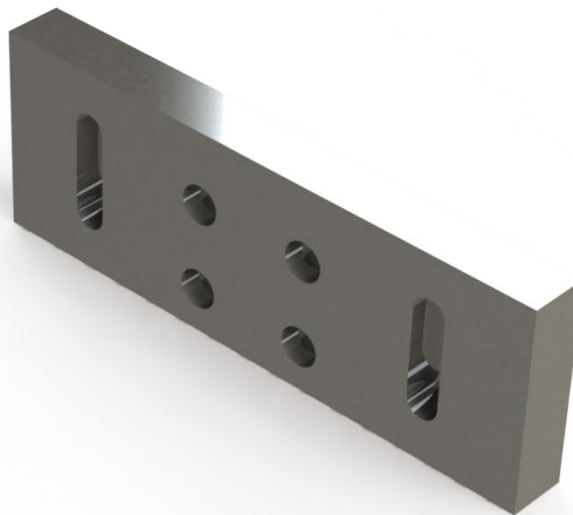


Figura 47 - Modelo isométrico do suporte superior
Fonte: Autoria própria

A peça "suporte do sistema de corte" (Figura 48) faz a sustentação do cilindro pneumático que realiza a quebra do gito. Apresenta furos roscados M5 para fazer a fixação no suporte superior. Quatro furos passantes do diâmetro igual a 5,5 mm com rebaxos de 5,4 mm e diâmetro de 10 mm permitem a ligação com o apoio do trinco. A peça em vista isométrica é mostrada na Figura 48.

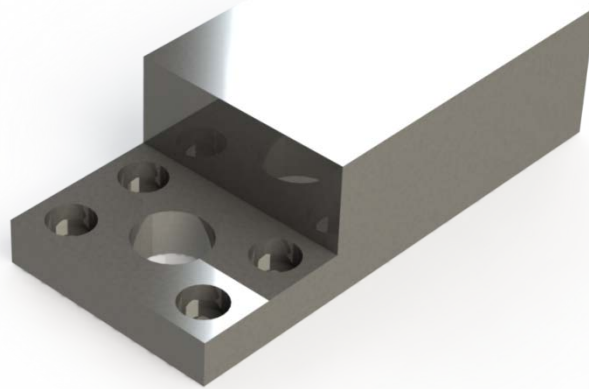


Figura 48 - Modelo isométrico do suporte do sistema de corte
Fonte: Autoria própria

Para os veios do mecanismo, utilizou-se veios de precisão da INA. Esses são produzidos a partir de aços de elevada qualidade, sendo rectificadados e temperados superficialmente. A dureza e a qualidade da superfície são a garantia para um bom funcionamento. O veio aceita solicitações à flexão e possui um núcleo macio. Para além disso, apresenta um longo tempo de vida em serviço e uma elevada estabilidade dimensional (Ficha Técnica Sutafer).

A escolha da utilização desses veios permitiu garantir a linearidade do sistema, além de já ser usual na empresa. Esta seleção é justificada pelo fato de que serão utilizados rolamentos de movimento linear do mesmo fabricante dos veios. Desta forma, a montagem e funcionamento garantirão certamente um bom desempenho. Na Tabela 15 são apresentados algumas propriedades mecânicas dos veios.

Tabela 15 - Propriedades mecânicas dos veios de precisão INA
Fonte: Adaptado da *Ficha Técnica Sutafer*

Dureza Superficial (HRC)	60-64
Rugosidade Máxima (μm)	0,2

A peça "veio maior" (Figura 49) é um dos veios de precisão, e serve para guiar o movimento linear de um dos atuadores. Nas extremidades do veio existem dois furos roscados M6 x 1, e profundidade de rosca de 17 mm. A peça é mostrada detalhadamente na Figura 49.



Figura 49 - Modelo isométrico do veio maior

Fonte: Autoria própria

O outro veio do mecanismo em que também se utilizaram veios de precisão da INA é a peça "veio menor" (Figura 50), sobre a qualterá lugar um movimento linear acionado por um cilindro pneumático. Nas duas extremidades do veio existem furos roscados M5 x 0,8 com profundidade de rosca de 20 mm para possibilitar a sua fixação. O veio é mostrado em vista isométrica na Figura 50.

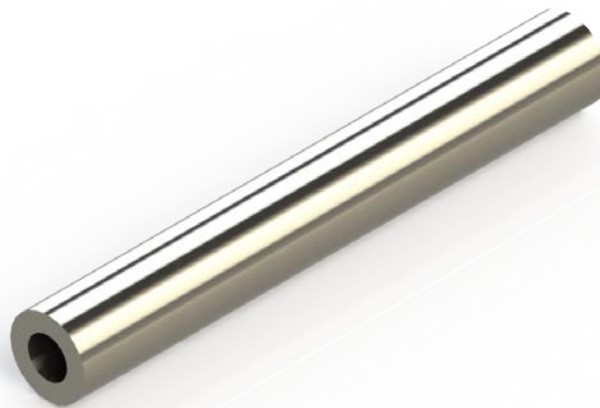


Figura 50 - Modelo isométrico da peça 10

Fonte: Autoria própria

A segunda versão do projeto foi apresentada e aprovada para produção.

3.5.2 Projecto eletro-pneumático

A força mais significativa do sistema será requerida pelo atuador pneumático que fará a quebra do gito, o atuador ADN-25-10-A-P-A. Entretanto, mesmo essa força é muito pequena, já que o gito é quebrado manualmente por uma operária. Com o auxílio da geometria do gito (menos espesso na zona de fronteira com a peça), a quebra ocorre por flexão, resultando em uma força de pequena grandeza. As regiões de quebra são muito pequenas, e estas são indicadas na Figura 51.

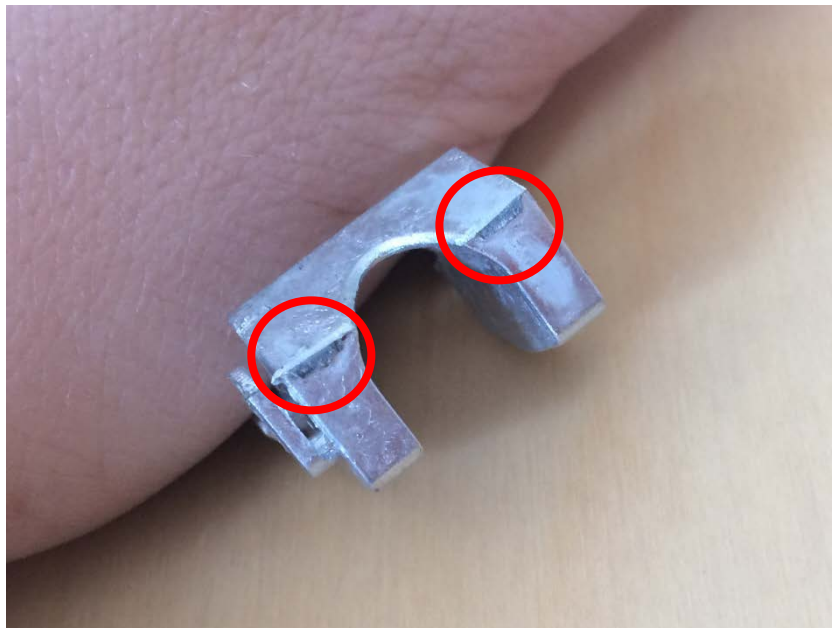


Figura 51 - Regiões onde ocorre a quebra do gito

De acordo com a norma ASTM B 240-07, as propriedades mecânicas da liga Zamak 5 apresentam os valores mostrados na Tabela 16.

Como a força exigida ao corte do gito é muito pequena e a empresa tinha preferência em utilizar componentes já existentes no armazém, utilizou-se o curso requerido para cada movimento do sistema como critério para a escolha dos cilindros pneumáticos. A experiência de situações anteriores dos engenheiros projetistas levam a que a escolha do cilindro seleccionado seja suficiente para a força que é necessária exercer.

Tabela 16 - Propriedades mecânicas da liga Zamak 5
 Fonte: Adaptado de *Norma ASTM B 240-07*

Propriedades mecânicas	
Dureza Brinell	91 HB
Resistência à Tração	328 MPa
Tensão de Cisalhamento/Corte	262 MPa
Alongamento	7% em 50,8 mm

Entretanto, os cálculos foram feitos para validar que a força requerida seria atendida. Dessa forma, utilizou-se o procedimento de cálculo e as equações apresentadas a seguir. Primeiramente, calcula-se a força dos cilindros no avanço. Então, tem-se:

$$A_{AV} = \pi r^2 \quad (2)$$

Onde,

A_{AV} - Área de avanço (m²)

O valor da linha de pressão do ar comprimido é de 6 bar (pressão mínima exigida pelas normas portuguesas). Assim:

$$F_{AV} = P \cdot A_{AV} \quad (3)$$

Onde,

F_{AV} - Força de avanço teórica (N)

P - Pressão de trabalho (bar)

A_{AV} - Área de avanço (m²)

Deve-se considerar uma perda da força correspondente à resistência ao atrito. Por norma, considera-se um valor de 20% sobre a força de avanço teórica. Então, pode dizer-se que:

$$F_{EA} = F_{AV} - 20\% \quad (4)$$

Onde,

F_{EA} - Força efetiva no avanço (N)

F_{AV} - Força de avanço (N)

Também se deve aplicar um fator de segurança. A recomendação feita pelos fabricantes é um valor entre 30 e 40%. Devido à confiabilidade no sistema e nos cálculos, neste trabalho será utilizado o valor de 30%.

$$F_{TBA} = F_{EA} - 30\% \quad (5)$$

Onde,

F_{TBA} - Força de trabalho no avanço (N)

F_{EA} - Força efetiva no avanço (N)

Depois de obtida a força de trabalho para o movimento de avanço do cilindro, é necessário saber a força no movimento de retorno do cilindro. Os cálculos para o recuo são muito similares aos do avanço. A diferença está na área de retorno, em que é necessário subtrair a área ocupada pela haste. Então, o procedimento de cálculo fica da seguinte forma:

$$A_{haste} = \pi(r_{haste})^2 \quad (6)$$

Onde,

A_{haste} - Área da haste do pistão (m²)

r_{haste} - Raio da haste do pistão (m²)

Para o cálculo da área de retorno, tem-se:

$$A_{RET} = A_{AV} - A_{haste} \quad (7)$$

Onde,

A_{RET} - Área de retorno (m²)

A_{AV} - Área de avanço (m²)

A_{haste} - Área da haste do pistão (m²)

Calcula-se em seguida a força do cilindro no retorno, com a seguinte equação:

$$F_{RET} = P \cdot A_{RET} \quad (8)$$

Onde,

F_{RET} - Força de retorno teórica (N)

P - Pressão de trabalho (bar)

A_{RET} - Área de retorno (m²)

Assim como no movimento de avanço, considera-se também uma perda relativa à força de atrito. Assim, tem-se:

$$F_{ER} = F_{RET} - 20\% \quad (9)$$

Onde,

F_{ER} - Força efetiva no retorno (N)

F_{RET} - Força de retorno teórica (N)

Analogamente ao movimento de avanço, aplica-se um fator de segurança:

$$F_{TBR} = F_{ER} - 30\% \quad (10)$$

Onde,

F_{TBR} - Força de trabalho no retorno (N)

F_{ER} - Força efetiva no retorno (N)

Aplicando o procedimento de cálculo para os quatro cilindros pneumáticos, obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 17 e Tabela 18. As unidades das grandezas são apresentadas no Sistema Internacional, as áreas em m², e as forças em Newton.

Tabela 17 - Resultados obtidos para as forças de avanço dos atuadores pneumáticos lineares
Fonte: Autoria Própria

Avanço				
Cilindro	A_{AV}	F_{AV}	F_{EA}	F_{TBA}
<i>DSNU 16-150</i>	$2,01 \times 10^{-4}$	120,64	96,51	67,56
<i>DSNU 20-20</i>	$3,14 \times 10^{-4}$	188,5	150,8	105,56
<i>DSN 12-25</i>	$1,13 \times 10^{-4}$	67,86	54,29	38,01
<i>ADN 25-10</i>	$4,91 \times 10^{-4}$	294,52	235,62	164,93

Tabela 18 - Resultados obtidos para as forças de retorno dos atuadores pneumáticos lineares
 Fonte: Autoria Própria

Retorno					
Cilindro	A_{haste}	A_{RET}	F_{RET}	F_{ER}	F_{TBR}
<i>DSNU 16-150</i>	$2,83 \times 10^{-5}$	$1,73 \times 10^{-4}$	103,67	82,94	58,06
<i>DSNU 20-20</i>	$5,03 \times 10^{-5}$	$2,64 \times 10^{-4}$	158,34	126,67	88,67
<i>DSN 12-25</i>	$2,83 \times 10^{-5}$	$8,48 \times 10^{-5}$	50,89	40,71	28,5
<i>ADN 25-10</i>	$7,85 \times 10^{-5}$	$4,12 \times 10^{-4}$	247,4	197,92	138,54

3.5.3 Projecto de segurança

Devido ao mecanismo ser somente uma melhoria da máquina já existente, não foram feitas modificações para o projeto de segurança além dos componentes já existentes na máquina. A injetora apresenta uma cabine de acrílico que faz a proteção contra qualquer respingo de metal em alta temperatura. Essa proteção já é suficiente para o mecanismo, uma vez que não existe nenhuma operação manual necessária ao seu funcionamento. As outras recomendações de segurança são apresentadas no item 3.9 - Manual de Segurança e Operação.

3.5.4 Lista de componentes normalizados

Além das peças projetadas e fabricadas na empresa, também se utilizaram alguns componentes normalizados, como os componentes pneumáticos, rolamentos e parafusos. Estes serão apresentados a seguir.

Foram utilizados 4 atuadores pneumáticos. O **atuador 1** é o cilindro normalizado DSNU-16-150-PPV-A (ver Tabela 17) e ele faz o movimento linear ao longo dos veios maiores do sistema. Na Figura 52 é apresentado o modelo isométrica do atuador.



Figura 52 - Cilindro normalizado DSNU-16-150-PPV-A
Fonte: Renderizado de *Software Festo PARTdataManager 2016*

Esse atuador foi selecionado principalmente pelo tamanho do curso e também pelo critério de disponibilidade do componente na empresa. As especificações técnicas e outras características do atuador são apresentadas em anexo.

O **atuador 2** permite o movimento linear ao longo dos veios menores do sistema. O cilindro normalizado é da marca *FESTO* e tem como código DSNU-20-20-P-A. Na Figura 53 é apresentado o modelo em representação isométrica do atuador.



Figura 53 - Cilindro normalizado DSNU-20-20-P-A
Fonte: Renderizado de *Software Festo PARTdataManager 2016*

Para a seleção desse cilindro normalizado, primeiramente utilizou-se o critério do custo, selecionando os componentes que a empresa já possuía no estoque. Depois da estrutura do Corta-Gito já idealizada, sabendo o curso que era necessário, buscou-se um atuador que satisfizesse essas características, fazendo as adaptações necessárias ao projeto. As especificações técnicas do atuador são apresentadas em anexo.

O **atuador 3** é o componente responsável por segurar a peça no momento do quebra do Gito. Na Figura 54 é mostrada a vista isométrica do cilindro normalizado DSN-12-25-P.



Figura 54 - Cilindro normalizado DSN-12-25-P
Fonte: Renderizado de *Software Festo PARTdataManager 2016*

Para a seleção desse cilindro normalizado, utilizou-se primeiramente o critério de quais componentes a empresa já possuía (já que o projeto, de modo geral, trata de peças de pequenas dimensão e pouco peso, e portanto, a força requerida é muito pequena). Isso porque a localização desse componente no sistema, especificamente, tem maior grau de liberdade na hora do projeto, porque não há limitação de espaço no lugar em que é posicionada. Assim, as peças ligadas a esse componente e fabricadas na empresa foram adaptadas. Algumas especificações técnicas do atuador são apresentadas em anexo.

Para efetuar a quebra do gito foi selecionado o **atuador 4**, um cilindro compacto da FESTO com a referência ADN-25-10-A-P-A. A Figura 55 mostra uma vista isométrica do atuador.

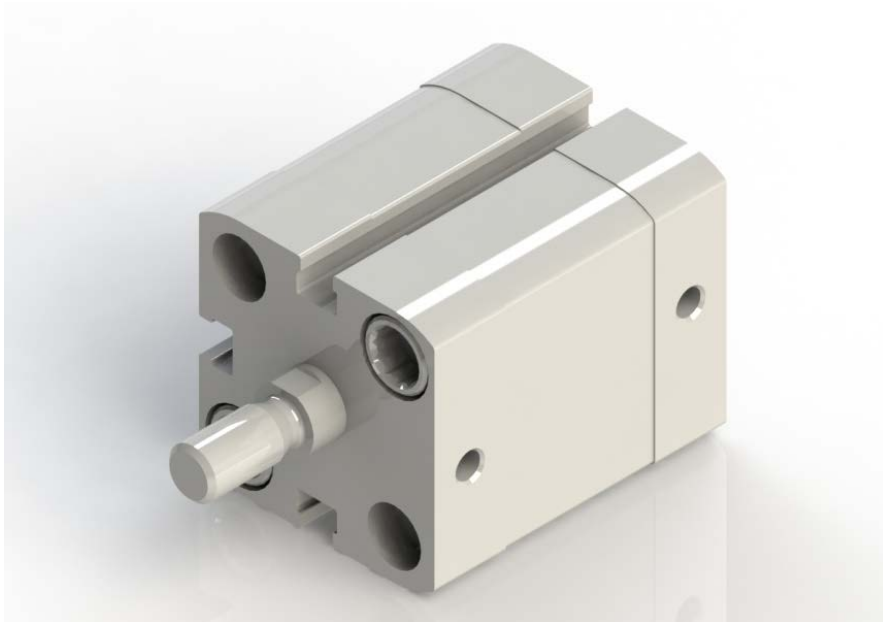


Figura 55 - Cilindro normalizado ADN-25-10-A-P-A
Fonte: Renderizado de *SoftwareFesto PARTdataManager 2016*

Este atuador compacto foi selecionado porque era necessário maior força e dispunha-se de pouco espaço. Comparando os valores da força teórica deste cilindro (apresentados em anexo) com os valores de força teórica dos cilindros anteriores, percebe-se a grande diferença entre eles (ver Tabela 17).

Como elementos de fixação foram utilizados parafusos de cabeça cilíndrica com sextavado interior (Figura 56) e que estão conforme a norma ISO 4762, padrão já utilizado na empresa.



Figura 56 - Parafusos Allen com cabeça sextavada
Fonte: Autoria própria

De acordo com a espessura de cada peça e função que ocupam na estrutura (algumas implicando maiores tensões e outras não), foram selecionadas seis medidas de parafusos, são eles:

- 6 unidades de parafusos M3 x 0,5 x 16;
- 4 unidades de parafusos M5 x 0,8 x 16;
- 2 unidades de parafusos M5 x 0,8 x 20;
- 24 unidades de parafusos M5 x 0,8 x 25;
- 6 unidades de parafusos M6 x 1 x 25;
- 10 unidades de parafusos M6 x 1 x 30.

Além dos parafusos, foram utilizados seis cavilhas maciças com medida de 6 mm x 30 mm, para fixação da régua-guia com os apoios direito e esquerdo dos veios. Utilizou-se também rolamentos lineares de esferas da INA (Figura 57) com diâmetro interno de 8 mm e 10 mm nos veios dos sistema.



Figura 57 - Rolamento linear de esferas
Fonte: Autoria própria

3.6 Orçamentação

Um dos cuidados no momento da criação do projeto do mecanismo Corta Gito, com relação aos materiais e componentes normalizados que seriam utilizados, foi dar prioridade e adaptar o projeto ao estoque já existente na empresa. Dessa forma, os custos do projeto seriam reduzidos, benefício valorizado no meio industrial. Com relação a maquinação, o preço foi calculado a partir do preço por hora de serviço da empresa, e é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Orçamentação da maquinação
Fonte: Autoria própria

Equipamento	Horas	Preço/hora	Total (€)
CNC	24	35,00 €	840,00
Frezadora Convencional	40	25,00 €	1.000,00
Torno	16	25,00 €	400,00

O preço total da maquinação foi de € 2.240,00. A orçamentação da montagem foi subdividida, assim apresentado na Tabela 20. Os dados foram concedidos pela empresa.

Tabela 20 - Orçamentação da montagem
Fonte: Autoria própria

Atividade	Horas	Preço/hora	Total (€)
Montagem Mecânica	24	25,00 €	600,00
Montagem Pneumatica/Hidraulica	16	25,00 €	400,00
Montagem Eletrica	16	25,00 €	400,00
Programação/Esquemas	8	35,00 €	280,00
Manual	4	15,00 €	60,00
Afinações	12	25,00 €	300,00

O preço total das montagens foi de € 2.040,00. Com relação aos materiais utilizados, foram todos provenientes do armazém da empresa. A orçamentação dos materiais utilizados para o fabrico das peças, foi feita com base no peso do material utilizado. Também considerou-se os tratamentos de têmpera e revenido posteriores. Os elementos de ligação normalizados foram contabilizados de acordo com o preço

unitário. Com relação a elétrica e pneumática, também foram contabilizados e são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Orçamentação dos materiais
Fonte: Autorial própria

	Materiais e tratamentos	Preço (€)
Mecânica	Aços	150,00
	Tratamentos de têmpera e revenido	25,00
	Elementos normalizados	150,00
Elétrico/Pneumático	Material pneumático	350,00
	Diversos elétrico	200,00

A orçamentação dos materiais teve um total de € 875,00. Portanto, tem-se um total de mão-de-obra de € 2.040,00 (montagem), e o total dos materiais (e fabrico) é de € 3.115,00. Portanto, o preço total do mecanismo é de € 5.155,00.

3.7 Análise FMEA

A aplicação da análise FMEA neste projeto tem como objetivo avaliar e reduzir ao máximo os riscos por meio da indentificação de possíveis falhas. Como é um projeto novo, com um sistema desenvolvido especificamente para a função, é necessária a aplicação de um método que vise a diminuição da probabilidade da ocorrência de falhas. Para a aplicação da análise optou-se por formar um grupo de funcionários das áreas de desenvolvimento de projetos, do fabrico das peças e montagem do sistema, visto que, dessa forma, os operadores e funcionários com maior experiência e tempo de empresa puderam dar a sua contribuição (de grande valia) para este projeto. A análise FMEA, apresentada na Tabela 22, foi feita a partir da experiência do grupo, já que o tempo de observação do mecanismo em funcionamento foi muito curto para que houvesse alguma falha devido ao desgaste por uso.

Tabela 22 - Análise FMEA
Fonte: Autoria própria

Descrição do Produto	Função do Produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Potencial Causa de Falha	Controles Atuais	Índices				Ações de Melhoria	
						S	O	D	R	Ações Recomendadas	Responsável/ Prazo
Mecanismo Corta Gito	Fazer a quebra do gito da peça injetada	Estar desalinhado com as medidas da peça injetada, já que é uma máquina que trabalha com pequenas dimensões	Fazer o corte de forma ineficaz, sem a retirada total do gito	Montagem inadequada	Execução da montagem feita por funcionários com experiência	7	3	1	21	Verificação das medidas na hora da montagem do mecanismo na máquina injetora	Montador
		Temperatura de injeção afetar a quebra do gito	Fazer o corte de forma ineficaz, sem a retirada total do gito	Resfriamento inadequado da peça injetada	Sopro de ar comprimido responsável pela limpeza e resfriamento da peça injetada	7	5	1	35	Aumentar o tempo de sopro do ar comprimido, de forma a ter maior resfriamento da peça	Operador de Manutenção

3.8 Manual de montagem

A montagem do mecanismo será dividida em cinco partes. A primeira montagem contém as peças régua-guia, carrinho horizontal, suporte do mecanismo, apoio direito e esquerdo dos veios, suporte do cilindro e veios maiores. O cilindro pneumático DSNU-16-150-PPV-A (atuador 1) faz parte da montagem subconjunto 1. A etapa de montagem é mostrada na vista explodida (Figura 58) e também pode ser vista na Figura 59.

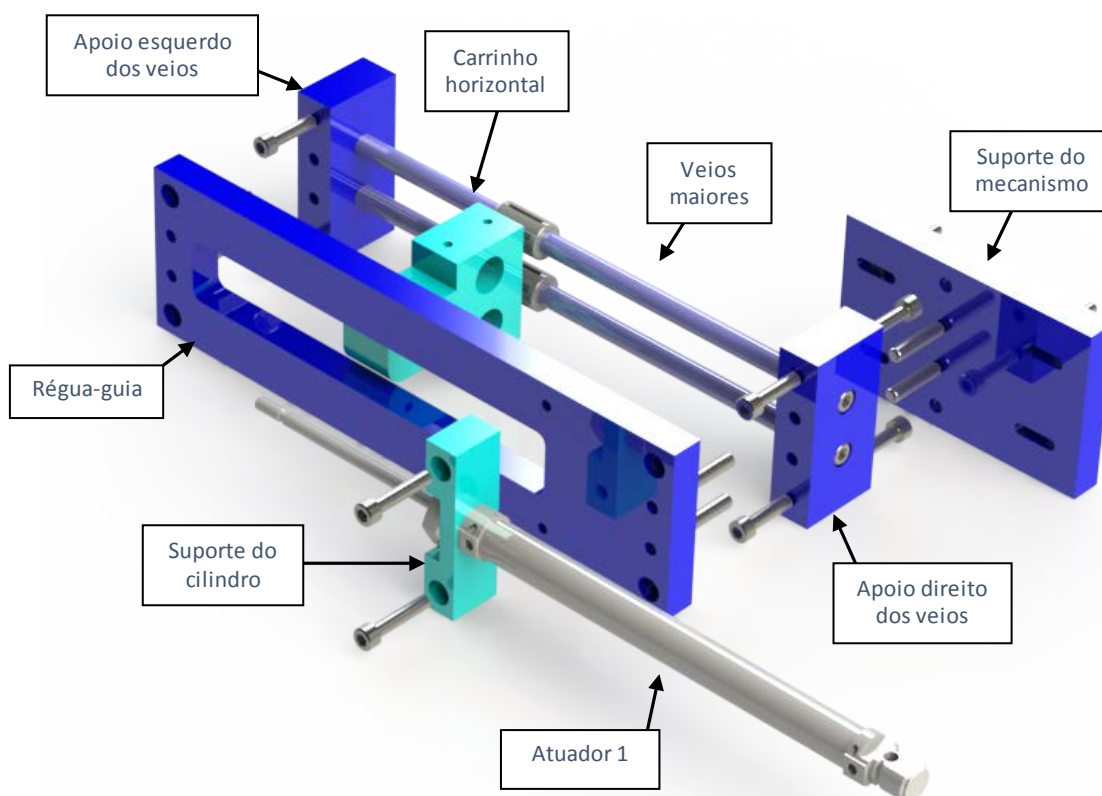


Figura 58 - Vista explodida do modelo isométrico do subconjunto 1
Fonte: Autoria própria



Figura 59 - Subconjunto 1 em andamento
Fonte: Autoria própria

Fazem parte dessa montagem também, os parafusos e a cavilha apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Elementos de ligação utilizados nosubconjunto 1
Fonte: Autoria própria

Descrição do item	Quantidade
M6 x 1 x 25 Hex SHCS	6
M6 x 1 x 30 Hex SHCS	6
M5 x 0,8 x 325 Hex SHCS	4
Cavilha Maciça 6 X 30	6

Na Figura 60 é mostrado o subconjunto 1 no estado final de montagem.

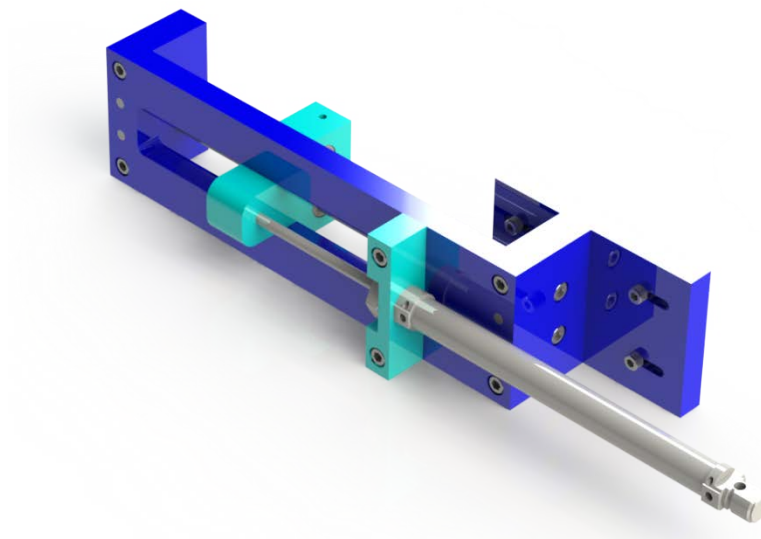


Figura 60 - Modelo isométrico do subconjunto 1
Fonte: Autoria própria

O subconjunto 2 é constituído pela garra pneumática, pela pinça e pelo carrinho vertical. A vista explodida da montagem é apresentada na Figura 61.

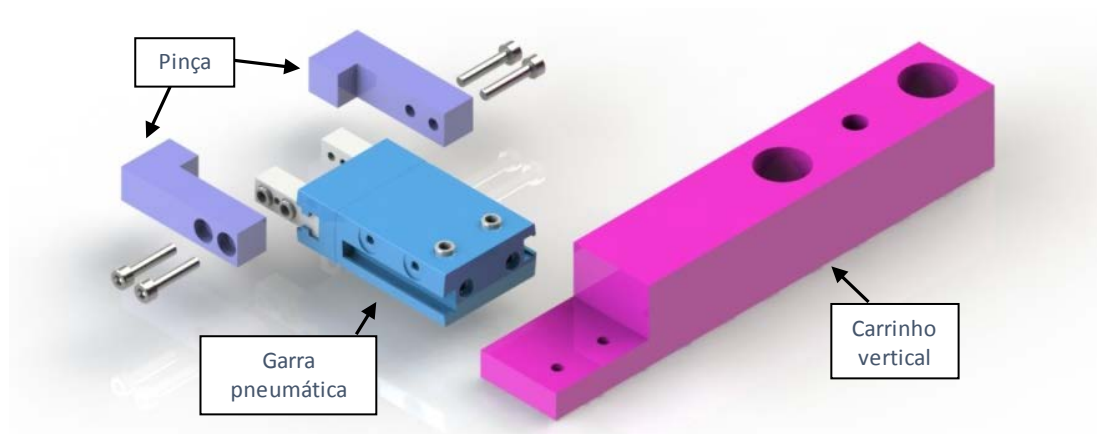


Figura 61 - Vista explodida do modelo isométrico do subconjunto 2
Fonte: Autoria própria

Na montagem do subconjunto 2 são utilizados os parafusos a seguir.

Tabela 24 - Elementos de ligação utilizados na montagem do subconjunto 2
Fonte: Autoria própria

Descrição do item	Quantidade
M3 x 0,5 x 16 Hex SHCS	6

Na Figura 62 e Figura 63 mostra-se a montagem já finalizada do subconjunto 2.

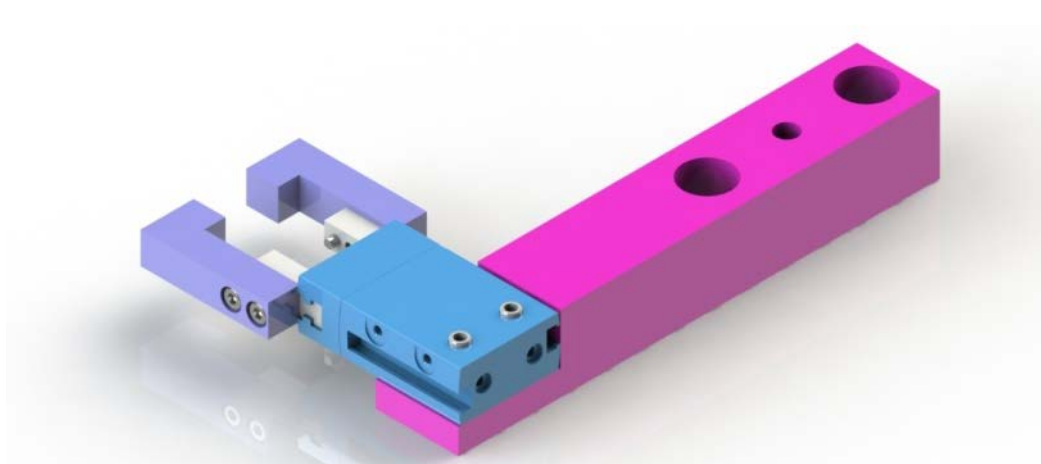


Figura 62 - Vista isométrica do subconjunto 2
Fonte: Autoria própria

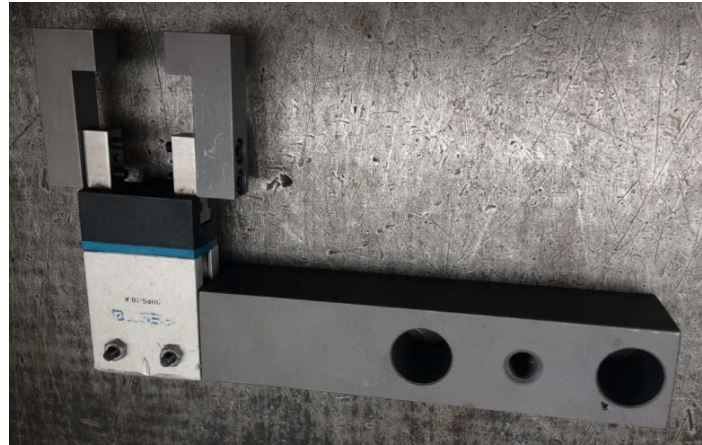


Figura 63 - Subconjunto 2 finalizada
Fonte: Autoria própria

A próxima etapa é a montagem do subconjunto 3, que leva o subconjunto 2 e as peças apoio superior e inferior dos veios, os veios menores e o cilindro pneumático DSNU-20-20-P-A (atuador 2). A montagem do subconjunto 3 é apresentada na Figura 64.

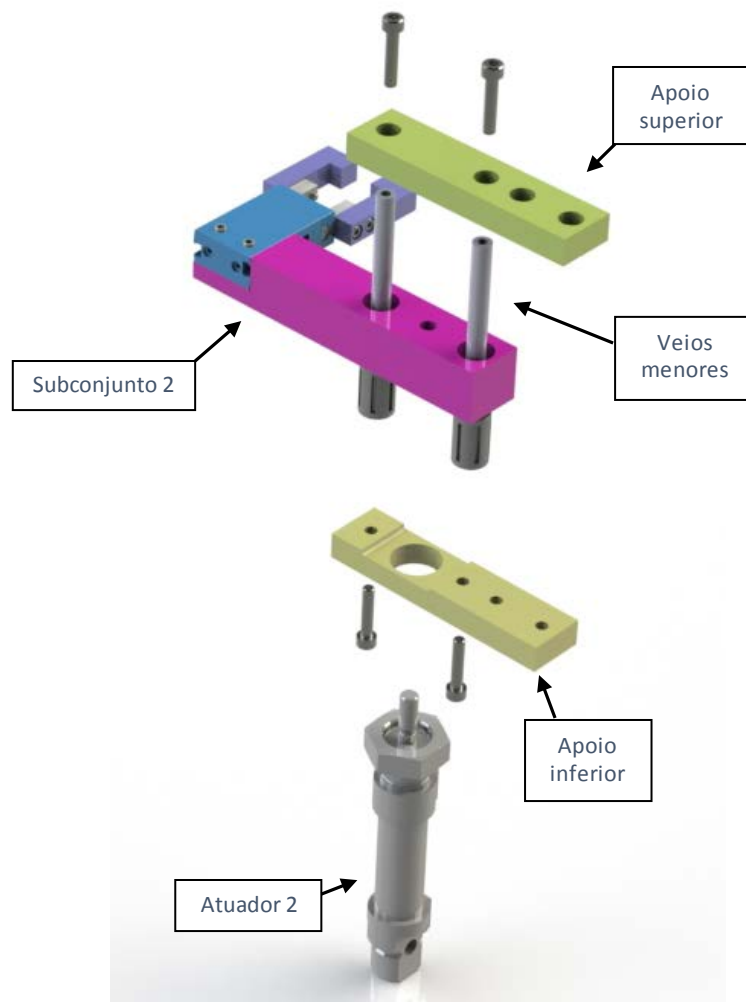


Figura 64 - Vista explodida do modelo isométrico dosubconjunto 3
Fonte: Autoria própria

Os componentes normalizados utilizados nesta montagem são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Elementos de ligação utilizados na montagem do subconjunto 3
Fonte: Autoria própria

Descrição do item	Quantidade
M5 x 0,8 x 25 Hex SHCS	4

A montagem do subconjunto 3 no estado final é apresentada na Figura 65 e na Figura 66.

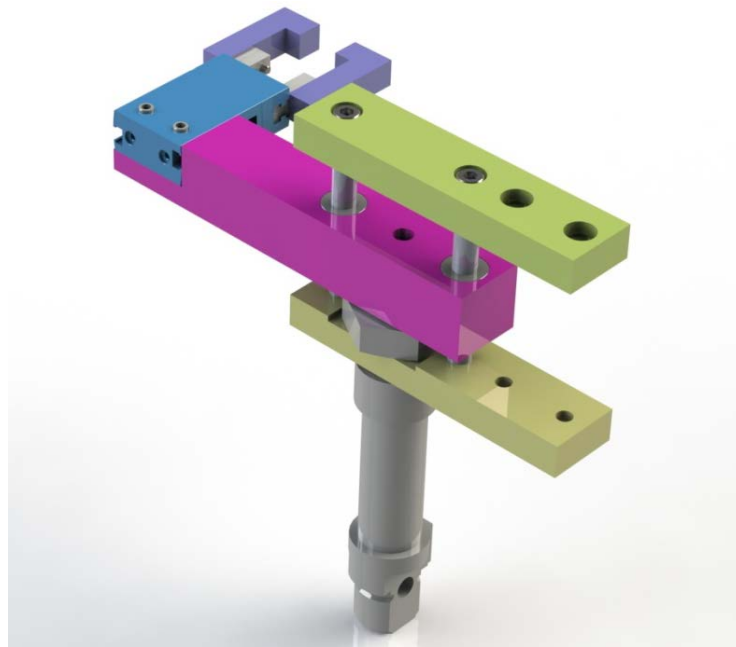


Figura 65 - Modelo isométrico da montagem 3
Fonte: Autoria própria

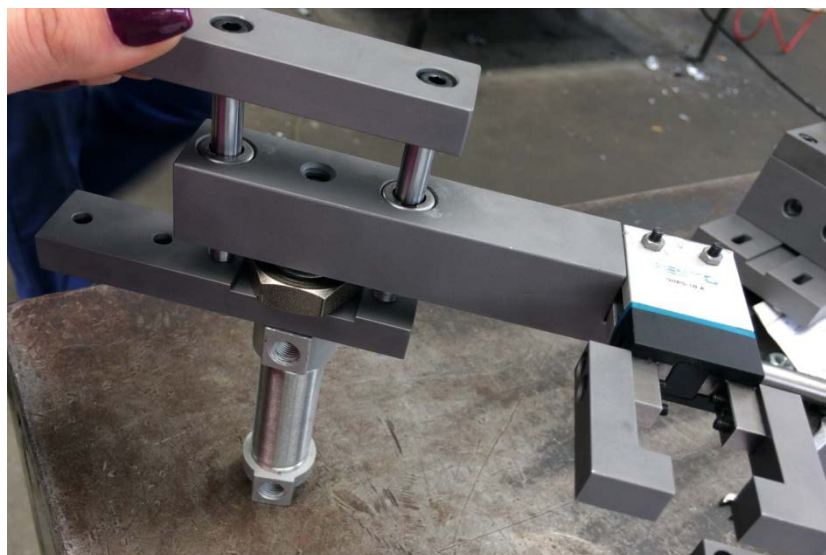


Figura 66 - Subconjunto 3 finalizada
Fonte: Autoria própria

A seguir, a montagem do subconjunto 4 é composta pelas peças guia do apoio, apoio do trinco, suporte superior, suporte do sistema de corte e pelo cilindro pneumático DSN-12-25-P (atuador 3). A montagem em vista explodida é apresentada na Figura 67, e na Figura 68 pode-se ver a montagem em andamento.

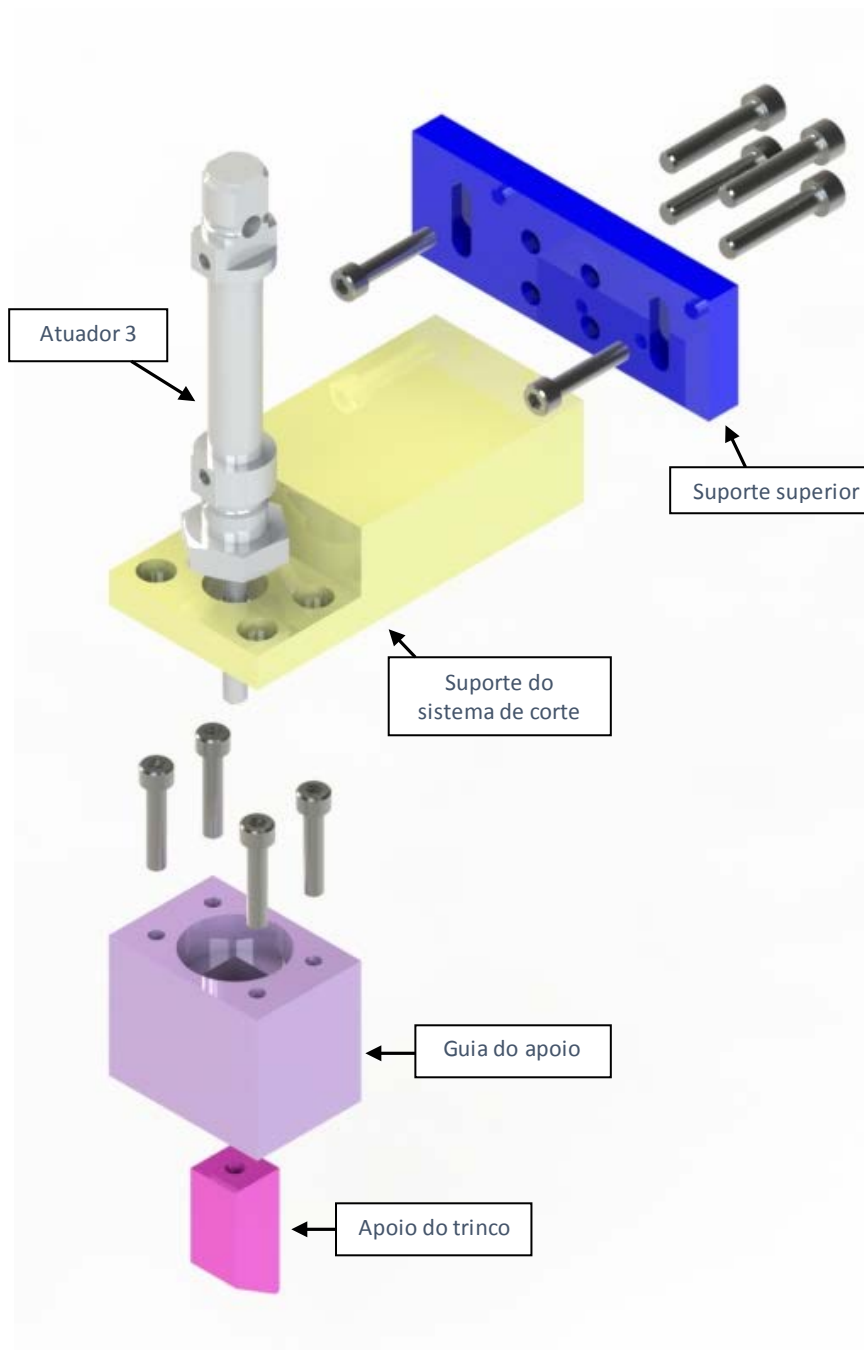


Figura 67 - Vista explodida do modelo isométrico do subconjunto 4
Fonte: Autoria própria



Figura 68 - Subconjunto 4 em andamento
Fonte: Autoria própria

Para a montagem do subconjunto 4 foram utilizados os parafusos descritos na Tabela 26.

Tabela 26 - Elementos de ligação utilizados na montagem do subconjunto 4
Fonte: Autoria própria

Descrição do item	Quantidade
M5 x 0,8 x 25 Hex SHCS	6
M6 x 1 x 30 Hex SHCS	4

O subconjunto 4 em seu estado final pode ser visto na Figura 69 e na Figura 70.

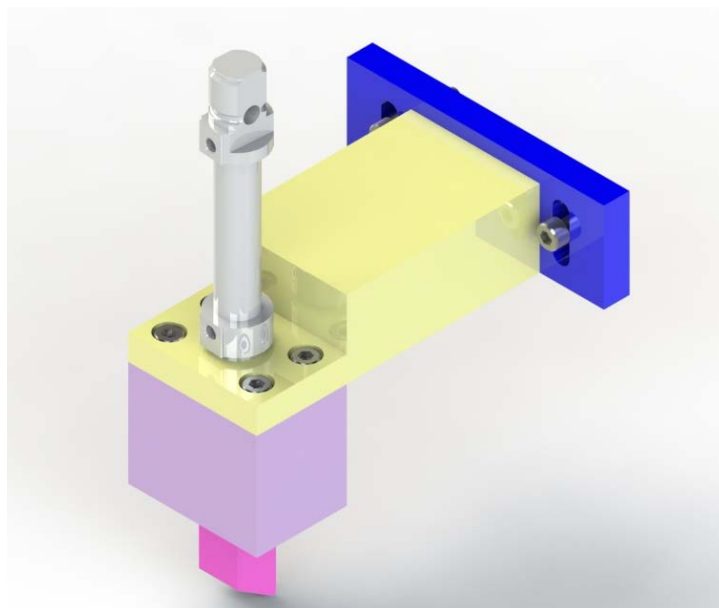


Figura 69 - Vista isométrica do subconjunto 4
Fonte: Autoria própria

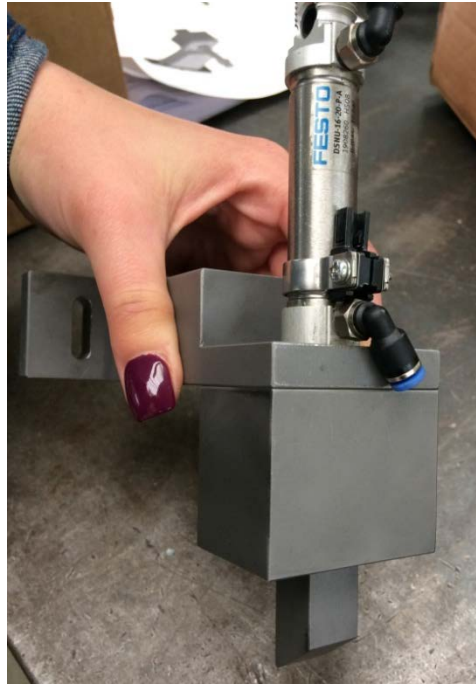


Figura 70 - Subconjunto 4 finalizada
Fonte: Autoria própria

Na montagem do subconjunto 5 são utilizadas as peças rampa, rampas direita e esquerda, mesa de suporte e punção de corte, além do atuador pneumático ADN-25-10-A-P-A (atuador 4). A vista explodida do subconjunto é apresentada na Figura 71.

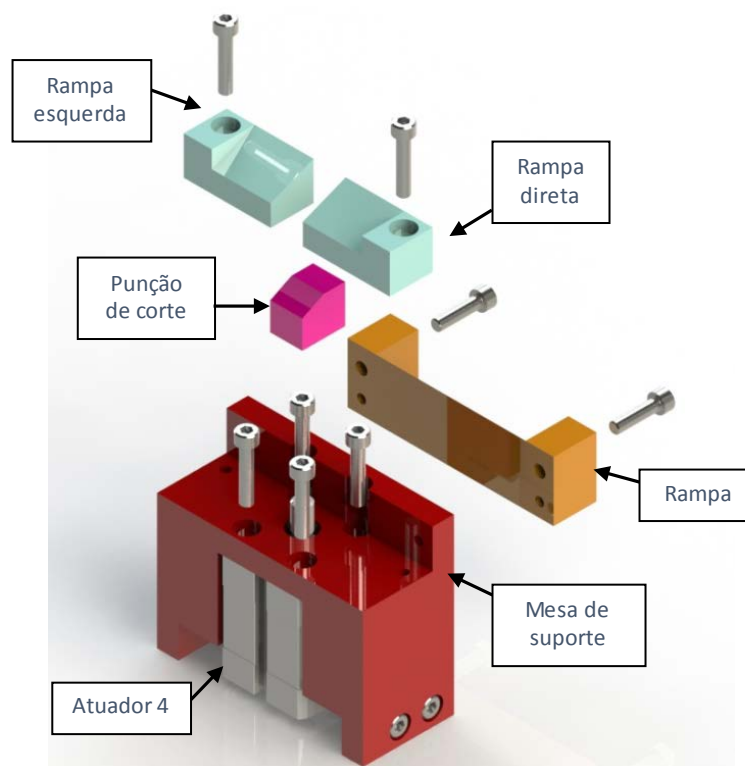


Figura 71 - Vista explodida isométrica do subconjunto 5
Fonte: Autoria própria

Os elementos de fixação utilizados no subconjunto 5 são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Elementos de ligação utilizados no subconjunto 5
Fonte: Autoria própria

Descrição do item	Quantidade
M5 x 0,8 x 20 Hex SHCS	2
M5 x 0,8 x 25 Hex SHCS	6
M6 x 1 x 16 Hex SHCS	4

A montagem do subconjunto 5 em andamento pode ser vista na Figura 72, e o seu estado final é apresentado na Figura 73 e na Figura 74.



Figura 72 - Subconjunto 5 em andamento
Fonte: Autoria própria

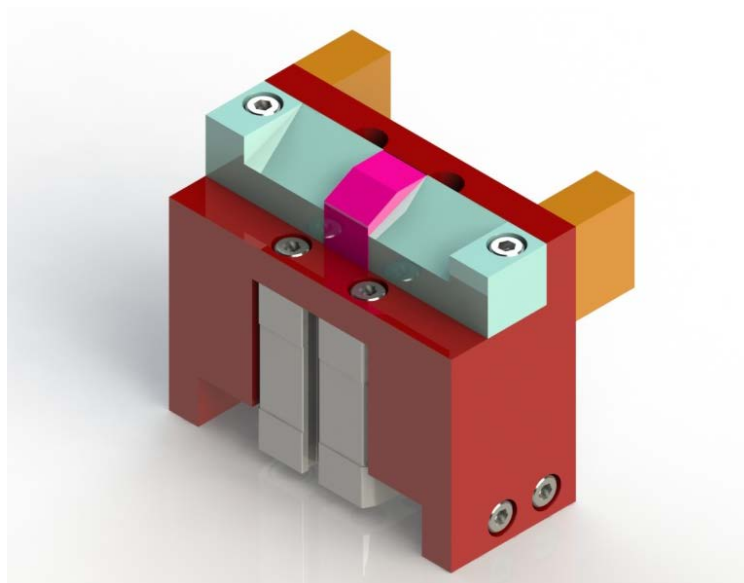


Figura 73 - Vista isométrica do subconjunto 5
Fonte: Autoria própria



Figura 74 - Subconjunto 5 finalizado
Fonte: Autoria própria

O subconjunto 6 apresentado na Figura 75 consiste na junção do subconjunto 1 e do subconjunto 3.

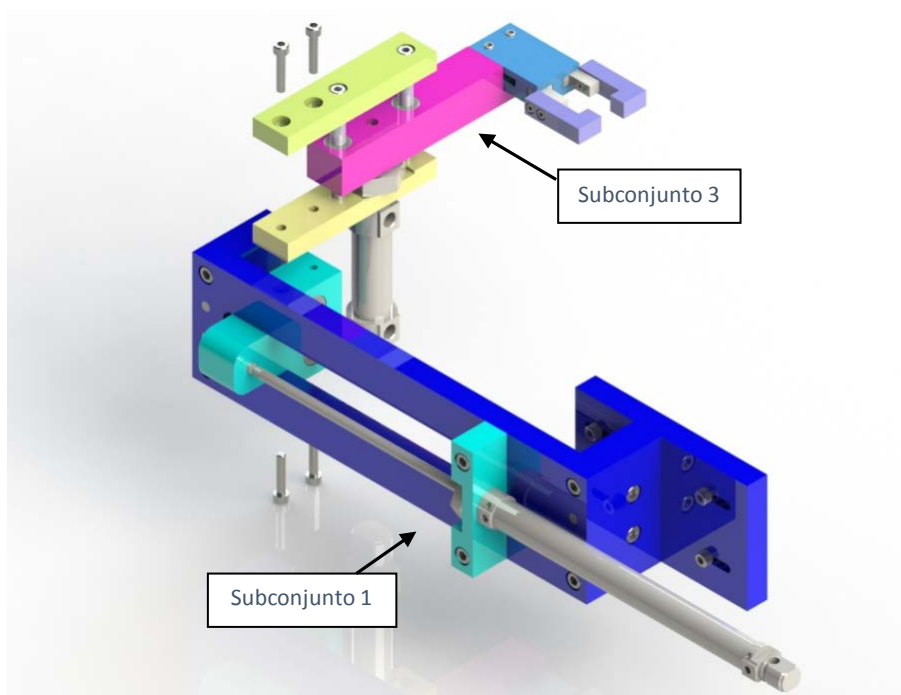


Figura 75 - Vista explodida do modelo isométrico do subconjunto 6
Fonte: Autoria própria

Os parafusos utilizados nessa montagem são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 - Elementos de ligação utilizados no subconjunto 6
Fonte: Autoria própria

Descrição do item	Quantidade
M5 x 0,8 x 25 Hex SHCS	4

O modelo final do subconjunto 6 é apresentado na Figura 76 e na Figura 77.

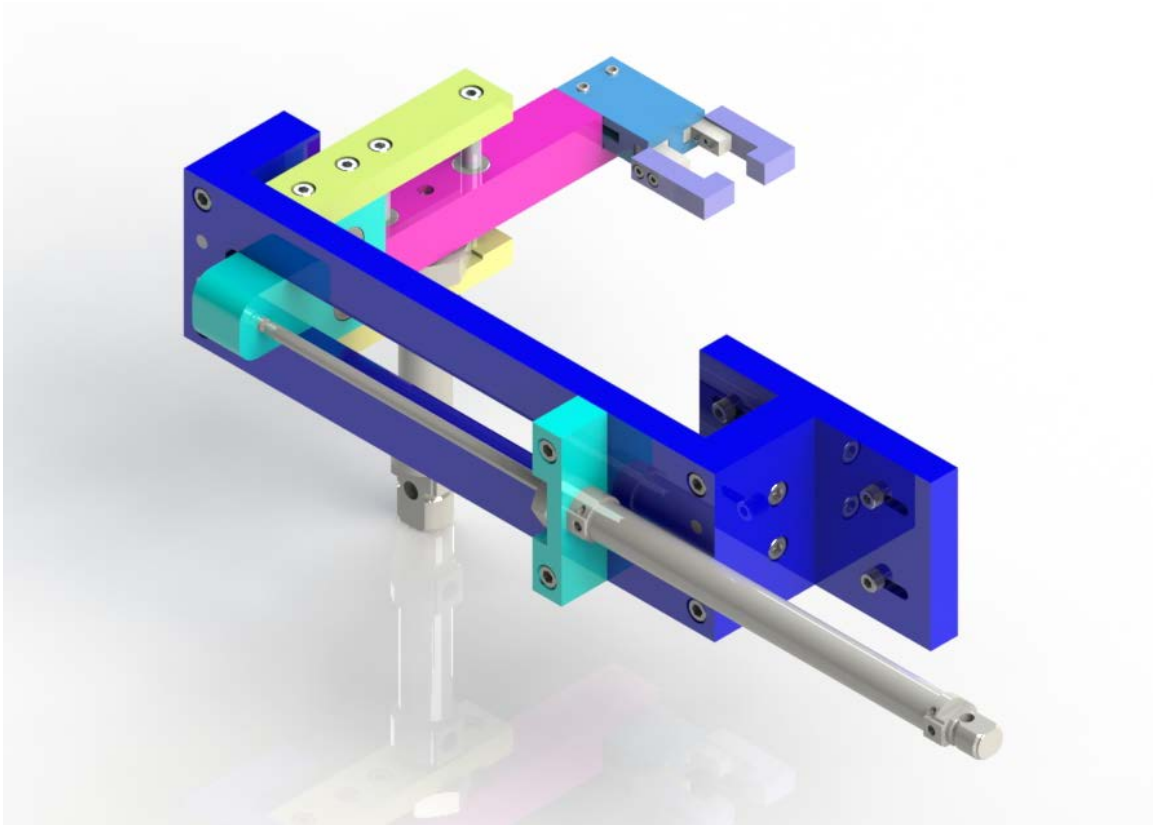


Figura 76 - Vista isométrica do subconjunto 6
Fonte: Autoria própria

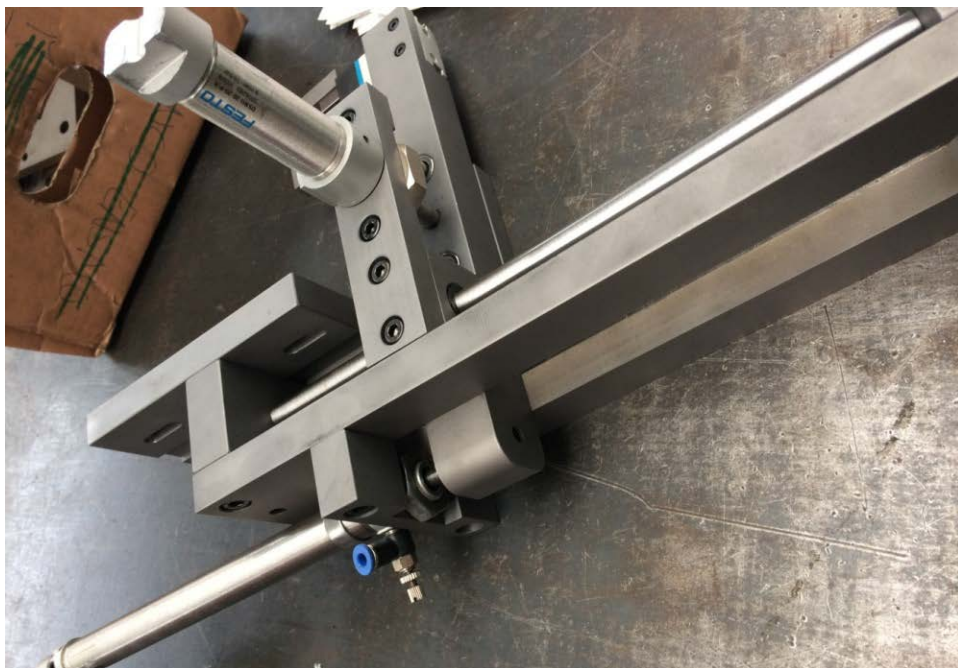


Figura 77 - Subconjunto 6 finalizado
Fonte: Autoria própria

Finalmente, com todos os sub-conjuntos já montados, é hora de fixar as montagens na máquina injetora.

3.9 Manual de Operação e Segurança

A operação e manutenção do sistema devem ser realizadas somente por pessoal qualificado que compreenda o funcionamento deste equipamento de injeção de zamak. O sistema deve ser isolado eletricamente e pneumaticamente ao realizar os procedimentos de manutenção. Para evitar queimaduras, deve-se prestar especial atenção à superfície quente do sistema. Devem ser tomadas precauções de manutenção normais.

As máquinas apresentam diferentes tipos de avisos e informações, que garantem e ajudam o trabalhador a uma compreensão fácil para os perigos que ocorrem durante o trabalho. O operador pode assim agir de acordo com os procedimentos de segurança. A Figura 78 indica exemplos de avisos de segurança e sinais de perigo.



Figura 78 - Exemplo de sinais que indicam perigo
Fonte: Adaptado Manual *PPRR-Metal*

Os sinais que indicam situações de risco potenciais têm forma triangular, o contorno e os pictogramas são pretos e o fundo é amarelo.

3.10 Manual de manutenção

Para o plano de manutenção do mecanismo foram desenvolvidas algumas planilhas de forma que os procedimentos de manutenção ficassem mais visuais ao operador de manutenção. As ações de manutenção foram divididas em diárias e mensais, variando com a necessidade de um intervalo de tempo menor e complexidade da tarefa. A seguir é mostrada a Tabela 29 com o plano de manutenção diário.

Tabela 29 - Plano de manutenção diário
 Fonte: Adaptado manuais de máquina *PPRR Metal*

Semana: _____

Tipo	<i>Pneumático</i>	<i>Mecânico</i>
Designação	Verificar as ligações pneumáticas / existência de fugas de ar	Limpeza do equipamento
Métodos e meios	<i>Inspeção sonora / visual</i>	<i>Ar comprimido / pano</i>

OK

NOK

OK

NOK

	Técnico				
<u>Segunda</u>					
<u>Terça</u>					
<u>Quarta</u>					
<u>Quinta</u>					
<u>Sexta</u>					

Semana: _____

Tipo	<i>Mecânico</i>	<i>Mecânico</i>
Designação	Limpar todas as guias do dispositivo	Verificar a existência de folga nos mecanismos
Métodos e meios	<i>Ar comprimido / pano</i>	<i>Inspeção visual</i>

OK

NOK

OK

NOK

<u>Segunda</u>	Técnico				
<u>Terça</u>	Técnico				
<u>Quarta</u>	Técnico				
<u>Quinta</u>	Técnico				
<u>Sexta</u>	Técnico				

Semana: _____

Tipo	<i>Mecânico</i>	<i>Mecânico</i>
Designação	Verificar os apertos	Lubrificar todas as guias e movimentos do dispositivo
Métodos e meios	<i>Inspeção visual</i>	<i>Lubrificante</i>

OK

NOK

OK

NOK

<u>Segunda</u>	Técnico				
<u>Terça</u>	Técnico				
<u>Quarta</u>	Técnico				
<u>Quinta</u>	Técnico				
<u>Sexta</u>	Técnico				

Para as tarefas em que não há necessidade de uma verificação diária (pela experiência da empresa no fabrico de máquinas), foi efetuado um plano de manutenção mensal, que é apresentado a seguir.

Tabela 30 - Plano de manutenção mensal
 Fonte: Adaptado manuais de máquina *PPRR Metal*

Ano: _____

Tipo	<i>Mecânico</i>	<i>Mecânico</i>	<i>Mecânico</i>
Designação	Limpar o bico injetor de Zamak	Limpar as zonas de sopro	Verificar o aperto dos parafusos
Métodos e meios	<i>Ar comprimido</i>	<i>Aspiração / pano</i>	<i>Inspeção visual</i>

OK

NOK

OK

NOK

OK

NOK

<u>Janeiro</u>	Técnico						
<u>Fevereiro</u>	Técnico						
<u>Março</u>	Técnico						
<u>Abril</u>	Técnico						
<u>Mai</u>	Técnico						
<u>Junho</u>	Técnico						
<u>Julho</u>	Técnico						
<u>Agosto</u>	Técnico						
<u>Setembro</u>	Técnico						
<u>Outubro</u>	Técnico						
<u>Novembro</u>	Técnico						
<u>Dezembro</u>	Técnico						

CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um projeto é sempre desafiador, no sentido técnico e também criativo. Nesse trabalho, foi necessária a aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo dos cinco anos da graduação, permitindo assim alcançar os objetivos previstos pela empresa. Foram estes:

- O projeto de um mecanismo automatizado que efetuasse a quebra do gito de uma peça Zamak injetada, respeitando todas as restrições impostas pela máquina já em funcionamento;
- O desenvolvimento dos projetos pneumático, elétrico e de segurança para o sistema a ser implementado, além do projeto mecânico;
- A orçamentação dos materiais necessários à construção do mecanismo;
- A elaboração dos manuais de operação e de manutenção do mecanismo projetado;
- O acompanhamento do fabrico das peças e montagem do sistema.

Pode-se afirmar que o projeto desenvolvido foi bem sucedido pois todos os objetivos foram cumpridos. Entretanto, como anteriormente apresentado nesse trabalho, busca-se a melhoria contínua dos processos. Para tal, deixa-se em seguida uma proposta para trabalhos futuros.

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Como proposta de trabalhos futuros, sugere-se dar continuidade à automatização do processo de produção do componente estudado. Para isso, será necessária uma breve explicação das funções que seguem à quebra do gito.

Depois do gito partido, o trinco precisa de ser posicionado dentro de uma peça plástica, função que, atualmente, é feita de forma manual. Depois de posicionado, aplica-se uma pressão para fixar o trinco dentro da peça plástica. Esse processo de aperto já é feito através de uma prensa. Dessa forma, a função do operador é posicionar a peça plástica e o trinco no local correto na prensa.

Para um projeto viável nesse processo, seria necessário construir um sistema automatizado que pegue e posicione a peça no local correto, e então pegue o trinco e o coloque no interior da peça plástica. Para tal, podem-se estabelecer alguns objetivos de forma a facilitar um futuro estudo, são eles:

- Construir uma estrutura extra adaptada ao sistema que fixe o trinco na peça plástica;
- Utilizar dois vibradores industriais, que já existem na empresa, para deixar as peças sempre em uma determinada posição. Com tais máquinas já disponíveis na empresa, o custo de implementação do projeto seria reduzido;
- Construir um mecanismo automatizado em que o tempo total de operação (pegar as duas peças e encaixá-las) seja menor ou, pelo menos, igual ao tempo de operação manual já existente;
- Adequar o projeto aos materiais e componentes já existentes no estoque da empresa, de maneira a reduzir custos de construção.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

AGUIAR, Sílvio. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2002.

ANDRESEN, William. **Die Cast Engineering: A Hydraulic, Thermal, and Mechanical Process**. Marcel Dekker. 2004.

BAR-MEIR, Genick. **Fundamentals of Die Casting Design**. Minneapolis, MN, EUA. 2000.

BARRIERE, Th.; LIU, B.; GELIN, J. C. **Determination of the optimal process parameters in metal injection molding from experiments and numerical modeling**. Journal of Materials Processing Technology. 2003.

BONOLLO, F.; URBAN, J.; BONATTO, B.; BOTTER, M. Gravity and low pressure die casting of aluminium alloys: a technical and economical benchmark. **La Metallurgia Italiana**. 2005.

BRAGA, Edson. **1.2311 ou 1.2738, qual é a melhor opção para o meu projeto?**. In: Feira Internacional do Plástico e da Borracha. São Paulo, Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.plastico.com.br/ferramentaria-moderna-artigo-tecnico-1-2311-1-2738-melhor-opcao-projeto/3/>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

BUTLER, W.A. **Die Casting (Permanent Mold)**. Encyclopedia of Materials: Science and Technology. 2001.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

CARVALHO, Marly Monteiro de; PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier; Campus, 2012.

CAVERSAN, Elpidio Gilson; JUNIOR, Ivar Benazzi. **TECNOLOGIA DE ESTAMPAGEM 1: Corte**. FATEC, Sorocaba, São Paulo. Setembro, 2012.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica vol.II: Processos de Fabricação e Tratamento**. São Paulo: McGraw-Hill. 1986.

CUNHA, Luís Fernando Peixoto Da. **O método PDCA como ferramenta de melhoria contínua dos processos e suporte para a elaboração do planejamento estratégico das empresas**. Revista UNIABEU, Belford Roxo, v. 6, n. 14, 2013. Disponível em: <http://www.uniabeu.edu.br/publica/index.php/RU/article/view/980/pdf_52>. Acesso em: 11jan. 2017.

DANIEL, Érika Albina; MURBACK, Fábio Guilherme Ronzelli. **Levantamento bibliográfico do uso das ferramentas da qualidade**. Gestão & Conhecimento, Poços de Caldas, v. 2014, n. 8, dez. 2014. Disponível em:

<https://www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/artigos/v2014/Artigo16_2014.pdf>. Acesso em: 11jan. 2017.

DUARTE, Fernanda; DUARTE, Luiz Carlos Da Silva; ECKHARDT, Moacir. **Método para quantificar os resultados das auditorias do programa 5s.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33., 2013, Salvador. Anais eletrônicos... Rio de Janeiro: ABEPRO, 2013. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_tn_sto_177_013_22287.pdf>. Acesso em: 11jan. 2017.

Festo - Automação, Unipessoal, Lda. Empresa privada, Porto, Portugal. *Especificações técnicas de produtos.* Disponível em: <https://www.festo.com/cat/pt_pt/products_010200>. Acesso em: 17 mai. 2017.

FONSECA, Augusto V. M. Da; MIYAKE, Dario Ikuo. **Uma análise sobre o ciclo PDCA como um método para solução de problemas da qualidade.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006, Fortaleza. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENECEP2006_TR470319_8411.pdf>. Acesso em: 11jan. 2017.

GARCIA, Marcos Antônio; PACHECO, Ana Paula Reusing; POSSAMAI, Osmar; SALLES, Bertholdo Werner. **O ciclo pdca na gestão do conhecimento: uma abordagem sistêmica.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS, 3., 2007, Florianópolis. Anais eletrônicos...ISSS Brasil, 2007. Disponível em: <<http://issbrasil.usp.br/issbrasil/pdfs2/ana.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

GELFI, M.; BONTEMPI, E.; POLA, A.; ROBERTI, R.; ROLLEZ, D.; DEPERO, L.E. **Microstructural and Mechanical Properties of Zinc Die Casting Alloys.** Advanced Engineering Materials. 2004.

JÚNIOR, Pedro Paulo Andrade; MAICZUK, Jonas. **Aplicação de ferramentas de melhoria de qualidade e produtividade nos processos produtivos: um estudo de caso.** Qualitas Revista Eletrônica, Campina Grande, v. 14, n. 1, 2013. Disponível em: <<http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/view/1599/924>>. Acesso em: 11 jan.2017.

LAVAGNINI, Adriana Paula Almussa; TEIXEIRA, César Aparecido. **Como agregar valor aos processos de detalhamento e documentação de projetos utilizando o programa 5s digital e o programa de otimização sistêmica de processos.** Revista de Ciências Gerenciais, Londrina, v. 14, n. 20, 2010. Disponível em: <<http://www.pgsskroton.com.br/seer/index.php/rcger/article/view/2281/2180>>. Acesso em: 11jan. 2017.

MELO, Leonimer Flavio De; SILVA, Marcelle Zacarias E. **Uma solução para organização: programa 5s.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos. Anais eletrônicos... Rio de Janeiro: ABEPRO, 2013. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_113_745_15170.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2017.

- PARANHOS FILHO, Moacyr. **Gestão da produção industrial**. Curitiba, PR: IbpeX, 2007.
- Ramada Aços - Special Steel Solutions. Empresa Privada, Porto, Portugal. *Informações sobre produtos/aços*. Disponível em: <<http://www.ramada.pt/pt/producos/acos.html>>. Acesso em: 17 mai. 2017.
- ROSATO, Dominick V; ROSATO, Donald V; ROSATO, Marlene G. **Injection Molding Machine**. Editora Imm. 2000.
- SELEME, Robson; STADLER, Humberto. **Controle da qualidade: as ferramentas essenciais**. Curitiba, PR: IBPEX, 2008.
- SHARMA, Satpal. **Modeling and Optimization of Die Casting Process for Zamak Alloy**. Journal of Engineering & Technology. 2014.
- SIMÕES, Leider; RIBEIRO, Máris De Cássia. **O ciclo pdca como ferramenta da qualidade total**. In: ENCONTRO CIENTÍFICO E SIMPÓSIO DE EDUCAÇÃO UNISALESIANO, 1., 2007, Lins. Anais eletrônicos...Lins: UNISALESIANO, 2007. Disponível em: <<http://www.unisalesiano.edu.br/encontro2007/trabalho/aceitos/CC04099565629B.pdf>>. Acesso em: 11jan. 2017.
- Sutafer (2012). Empresa privada, Oliveira de Azeméis, Portugal. **Ficha Técnica dos Veios de Precisão (INA - Tipo W)**. Disponível em: <<http://www.sutafer.com/publicfiles/q61ep7ggscmtorhzzjancbrph7ayj4xsk0btrdec.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2017.
- SVENSSON, Ingemar; SVENSSON, Ingrid. **Karlebo Gjuteriteknisk handbok**. Editora Jönköping. 2004.
- WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. 6. ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1995.
- W.F. Smith, **Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**, Mc-Graw-Hill, Lisboa, 1996.

5.1 ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS

ANEXOS

6.1 ANEXOSA

6.2 ANEXOS B

6 ANEXOS

6.1 ANEXOS A

Ficha técnica do Cilindro normalizado DSNU20-20-P-A

Fonte: Adaptado Catálogo Festo

Característica	Valores
Curso	20 mm
Diâmetro do êmbolo	20 mm
Rosca da haste	M8
Amortecimento	P: Anéis/placas de amortecimento elástico nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Conforme norma	CETOP RP 52 P ISO 6432
Extremidade da haste	Rosca externa
Princípio construtivo	Êmbolo Haste Camisa do atuador
Detecção de posição	Para sensor de proximidade
Variante	Haste do êmbolo unilateral
Pressão de trabalho	1 ... 10 bar
Modo de operação	de dupla ação
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	2 – Resistência à corrosão moderada
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Autorização	Germanischer Lloyd
Energia de impacto nas posições finais	0,2 J
Força teórica a 6 bar, retorno	158,3 N
Força teórica a 6 bar, avanço	188,5 N
Massa móvel com curso de 0 mm	44 g
Peso adicional por 10 mm de curso	7,2 g
Peso básico para curso de 0 mm	186,8 g
Fator de massa adicional por 10 mm de curso	4 g
Tipo de fixação	com acessórios
Conexão pneumática	G1/8
Observações sobre material	Conforme RoHS
Informação sobre material, tampão	Liga de alumínio, anodização neutra
Informação sobre material, vedações	NBR TPE-U(PU)
Informação sobre material, haste	Aço alta liga, inoxidável
Informação sobre material, camisa do cilindro	Aço alta liga, inoxidável

Ficha técnica do Cilindro normalizado DSNU-16-150-PPV-A

Fonte: Adaptado Catálogo Festo

Característica	Valores
Curso	150 mm
Diâmetro do êmbolo	16 mm
Rosca da haste	M6
Amortecimento	PPV: Amortecimento pneumático regulável nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Conforme norma	CETOP RP 52 P ISO 6432
Extremidade da haste	Rosca externa
Princípio construtivo	Êmbolo Haste Camisa do atuador
Detecção de posição	Para sensor de proximidade
Variantes	Haste do êmbolo unilateral
Pressão de trabalho	1 ... 10 bar
Modo de operação	de dupla ação
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	2 – Resistência à corrosão moderada
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Autorização	Germanischer Lloyd
Energia de impacto nas posições finais	0,15 J
Curso de amortecimento	12 mm
Força teórica a 6 bar, retorno	103,7 N
Força teórica a 6 bar, avanço	120,6 N
Massa móvel com curso de 0 mm	23 g
Peso adicional por 10 mm de curso	4,6 g
Peso básico para curso de 0 mm	89,9 g
Fator de massa adicional por 10 mm de curso	2 g
Tipo de fixação	com acessórios
Conexão pneumática	M5
Observações sobre material	Conforme RoHS
Informação sobre material, tampão	Liga de alumínio anodização neutra
Informação sobre material, vedações	NBR TPE-U(PU)
Informação sobre material, haste	Aço alta liga, inoxidável
Informação sobre material, camisa do cilindro	Aço alta liga, inoxidável

Ficha técnica do Cilindro normalizado DSNU-12-25-PPV-A

Fonte: Adaptado Catálogo Festo

Característica	Valores
Curso	25 mm
Diâmetro do êmbolo	12 mm
Rosca da haste	M6
Amortecimento	P: Anéis/placas de amortecimento elástico nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Conforme norma	CETOP RP 52 P ISO 6432
Extremidade da haste	Rosca externa
Princípio construtivo	Êmbolo
	Haste
	Camisa do atuador
Detecção de posição	Sem
Variantes	Haste do êmbolo unilateral
Pressão de trabalho	1,5 ... 10 bar
Modo de operação	de dupla ação
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	2 – Resistência à corrosão moderada
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Energia de impacto nas posições finais	0,07 J
Força teórica a 6 bar, retorno	50,9 N
Força teórica a 6 bar, avanço	67,9 N
Massa móvel com curso de 0 mm	18,5 g
Peso adicional por 10 mm de curso	4 g
Peso básico para curso de 0 mm	75 g
Fator de massa adicional por 10 mm de curso	2 g
Tipo de fixação	com acessórios
Conexão pneumática	M5
Observações sobre material	Conforme RoHS
Informação sobre material, tampão	Liga de alumínio, anodização neutra
Informação sobre material, vedações	NBR TPE-U(PU)
Informação sobre material, haste	Aço alta liga, inoxidável
Informação sobre material, camisa do cilindro	Aço alta liga, inoxidável

Ficha técnica do Cilindro normalizado ADN-32-10-A-P-A

Fonte: Adaptado Catálogo Festo

Característica	Valor
Curso	10 mm
Diâmetro do êmbolo	25 mm
Rosca da haste	M8
Amortecimento	P: Anéis/placas de amortecimento elástico nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Conforme norma	ISO 21287
Extremidade da haste	Rosca externa
Deteção de posição	Para sensor de proximidade
Variantes	Haste do êmbolo unilateral
Pressão de trabalho	0,6 ... 10 bar
Modo de operação	de dupla ação
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	2 – Resistência à corrosão moderada
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Energia de impacto nas posições finais	0,3 J
Força teórica a 6 bar, retorno	247 N
Força teórica a 6 bar, avanço	295 N
Massa móvel com curso de 0 mm	50 g
Peso adicional por 10 mm de curso	23 g
Peso básico para curso de 0 mm	156 g
Fator de massa adicional por 10 mm de curso	6 g
Tipo de fixação	Opcional: com furo passante com rosca interna com acessórios
Conexão pneumática	M5
Observações sobre material	Conforme RoHS
Informação sobre material, tampão	Alumínio anodizado
Informação sobre material, vedações	TPE-U(PUR)
Informação sobre material, haste	Aço alta liga

6.2 ANEXOS B

