

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CHRISTIAN PEDRO WEIPPERT
RODRIGO BASSO**

**ESTUDO E PROPOSTA DE DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO PARA
USINAGEM DE PEÇAS COM GEOMETRIA COMPLEXA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2020

CHRISTIAN PEDRO WEIPPERT
RODRIGO BASSO

**ESTUDO E PROPOSTA DE DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO PARA
USINAGEM DE PEÇAS COM GEOMETRIA COMPLEXA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima

PATO BRANCO

2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

Estudo e Proposta de Dispositivos de Fixação para Usinagem de Peças com Geometria Complexa

Christian Pedro Weippert

Rodrigo Basso

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 16/11/2020 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. Giovanni Bratti
UTFPR – Departamento de Mecânica

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
UTFPR – Departamento de Mecânica

Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima
UTFPR – Departamento de Mecânica
Orientador

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a Deus por ter nos guiado até este momento, a nossas famílias por incentivar nossas vocações, aos professores e amigos que nos auxiliaram e orientaram durante essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à nossas famílias, por alicerçarem toda nossa jornada, pelo apoio incondicional e não nos deixarem desistir.

Agradecemos ao nosso Professor Orientador Fabio de Freitas Lima, pela orientação e incentivo, facilitando nossos caminhos para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradecemos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Pato Branco, e a toda sua equipe por nos acolher e oportunizar a realização de um sonho.

Agradecemos ao Engenheiro de Produção Mecânica Nelson Paulo Fischer, por compartilhar de seu conhecimento e experiência.

Por fim agradecemos a todos os amigos que nos apoiaram e ajudaram no decorrer da graduação.

EPÍGRAFE

The significant problems we face cannot be solved at the same level of thinking that created them. (EINSTEIN, Albert).

Os problemas que enfrentamos não podem ser resolvidos no mesmo nível de pensamento em que foram criados. (EINSTEIN, Albert).

RESUMO

BASSO, Rodrigo. WEIPPERT, Christian Pedro. Estudo e Proposta de Dispositivos de Fixação para Usinagem de Peças com Geometria Complexa. 2020. 130 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2020.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver o estudo e proposta de um dispositivo de fixação para usinagem de uma peça modelo com geometria complexa. Para alcançar esse objetivo utilizou-se a metodologia de revisão bibliográfica. Assim, serão apresentados conceitos gerais de usinagem aliados ao sistema de troca rápida de ferramentas (SMED). Também são utilizadas ferramentas que auxiliam na tomada de decisões em projetos conceituais. O trabalho propõe-se, ainda, a identificar e analisar diversas práticas elementares na usinagem. E a partir do conhecimento construído apontar possíveis soluções para fixação de peças com geometria complexas, que apresente as seguintes qualidades: segura, robusta, com boa precisão e de fácil ajuste em Centros De Usinagem. O levantamento bibliográfico é abordado em conjunto com estudo de campo, no qual se utiliza o método observatório e interrogativo para diversificar as opções. Após a apresentação dos resultados da pesquisa, esboçou-se o sistema de fixação proposto e realizou-se simulação numérica para verificar sua aplicabilidade prática. Concluiu-se então que a solução abordada é adequada ao sistema de troca rápida de ferramentas e poderá permitir alta performance e produtividade.

Palavras-chave: Usinagem, Centros de Usinagem, Dispositivos de Fixação, Came Excêntrico e Alavanca Excêntrica Dupla.

ABSTRACT

BASSO, Rodrigo. WEIPPERT, Christian Pedro. Study and Proposal of Clamping Devices for Machining Parts with Complex Geometry. 2020. 130 f. Course Conclusion Paper - Mechanical Engineering Course, Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2020.

The present work aims to develop the study and the proposal of a clamping device for machining a model part with complex geometry. To achieve this objective, the bibliographic review methodology was used. Thus, the general machining concepts combined with the Single Minute Exchange of Die (SMED) will be presented. Tools are also used to assist in decision making in conceptual projects. The work also proposes to identify and analyze several elementary practices in machining. And from the knowledge built, point out possible solutions for fixing parts with complex geometry, which has the following qualities: safe, robust, with good precision and easy adjustment in Machining Centers. The bibliographic survey is approached in conjunction with a field study, in which the observatory and interrogative method is used to diversify the options. After presenting the research results, the proposed fixation system was outlined and numerical simulation was performed to verify its practical applicability. It was concluded that the approached solution is suitable for the quick tool change system, allowing for high performance and productivity.

Keywords: Machining, Machining Centers, Clamping Devices, Eccentric Cam and Cam Levers Double.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - (a) Pedra Lascada, (b) Foice de Ossos e (c) Pontas de Armas	23
Figura 2 - Cinzel, máquina pré-histórica.....	24
Figura 3 - Furação de corda puxada	24
Figura 4 - Máquinas ferramenta rudimentares	25
Figura 5 - Torno com suporte ferramenta mecânica e torno com ferramentas manuais	25
Figura 6 - Surgimento dos metais	26
Figura 7 - Evolução das ferramentas de corte.....	27
Figura 8 - Materiais para ferramentas de corte	27
Figura 9 - Cronologia das Revoluções Industriais	29
Figura 10 - Classificação dos processos de produção	31
Figura 11 - Capacidade de amortecimento do ferro fundido em relação ao aço	33
Figura 12 - Forças resultantes em grampo de centragem.....	34
Figura 13 - Forças horizontais em morsa de precisão para produção modular	35
Figura 14 - Acionamento de fixação por parafusos	35
Figura 15 - Acionamento de fixação por came-seguidor	36
Figura 16 - Acionamento de fixação por alavanca	36
Figura 17 - Acionamento de fixação por grampo axial somado a grampo universal .	36
Figura 18 - Grampo de fixação com acionamento pneumático	37
Figura 19 - Exemplos de acionamentos de fixadores hidráulicos.....	37
Figura 20 - Exemplos de fixação por acionamento magnético	37
Figura 21 - Exemplo de fixação do componente por parafuso	38
Figura 22 - Exemplo de fixação do componente por encaixe rápido.....	38
Figura 23 - Exemplo de fixação por grampos escalonado	39
Figura 24 - Exemplo de fixação por grampos escalonado	39
Figura 25 - Exemplos de sistema de aperto múltiplo para diversas peças.....	40
Figura 26 - Exemplos de sistema de aperto múltiplo para diversas peças.....	40
Figura 27 - Dispositivo de fixação modular descarregado.....	41
Figura 28 - Dispositivo de fixação modular carregado	41
Figura 29 - Acessórios do dispositivo de fixação.....	41
Figura 30 - Exemplo bloco de fixação TANDEM KSE	42
Figura 31 - Máquina de pré-ajuste de ferramentas	43

Figura 32 - Centralizado com infravermelho.....	44
Figura 33 - Eixo da ferramenta Z sobre o plano XY	46
Figura 34 - Pontos de referência da área de trabalho	46
Figura 35 - Ponto de referência do porta ferramenta	47
Figura 36 - Direção dos movimentos de corte, de avanço e efetivo no torneamento. Ângulos da direção de avanço φ , da direção efetiva η e Plano de trabalho.....	48
Figura 37 - Direção dos movimentos de corte, de avanço e efetivo no fresamento discordante. Ângulos da direção de avanço φ , da direção efetiva η e Plano de trabalho	49
Figura 38 - Taxa de remoção de material por incerto.....	50
Figura 39 - Direção dos movimentos de corte, de avanço e efetivo na furação. Ângulos da direção de avanço φ , da direção efetiva η e Plano de trabalho.....	52
Figura 40 - Movimento da peça relativo aos tipos de fresamento	54
Figura 41 - Forças de flexão exercida nos diversos tipos de fresamento.....	56
Figura 42 - Medida mínima apontada.....	57
Figura 43 - Medida máxima apontada.....	57
Figura 44 - Diferença entre as medidas máximas e mínimas de medidas dimensionais	57
Figura 45 - Teste de torque ao qual a ferramenta desliza	58
Figura 46 - Comparativo do torque ao qual diferentes ferramentas deslizam	58
Figura 47 - Exemplo de superfície irregular com diferentes tipos de brocas para furação	59
Figura 48 - Exemplo de pré-furo para diferentes tipos de brocas.....	60
Figura 49 - Exemplo de furo cruzado para diferentes tipos de brocas	61
Figura 50 - Exemplo de entrada da ferramenta na peça	61
Figura 51 - Fluxograma de programação de torno	62
Figura 52 - Fluxograma de programação de fresa e furação	64
Figura 53 - Exemplo de castanhas especiais para torneamento.....	65
Figura 54 - Sistema modular de fixação manual	66
Figura 55 - Representação das diferentes parcelas do tempo total de fabricação por peça, em função da velocidade de corte	69
Figura 56 - Explicação do MVP	70
Figura 57 - Construindo um MVP.....	70
Figura 58 - Grampo excêntrico.....	71

Figura 59 - Corpo de prova	74
Figura 60 - Máquina CNC VEKER - modelo CVK1000D.....	75
Figura 61 - Fluxograma do desenvolvimento	77
Figura 62 - Modelagem da função global	79
Figura 63 - Modelagem do desdobramento	79
Figura 64 - Esboço sistema de fixação para a operação 10	82
Figura 65 - Esboço sistema de fixação para a operação 20	83
Figura 66 - Modelo de dispositivo sugerido	84
Figura 67 - Parcela dinâmica de F_x , F_y e F_z para o corte discordante	86
Figura 68 - Parcela dinâmica de F_x , F_y e F_z para o corte concordante	86
Figura 69 - Forças de corte x Avanço por dente	87
Figura 70 - Forças de corte no faceamento	87
Figura 71 - Forças de corte no mandrilhamento.....	88
Figura 72 - Diagrama de corpo livre	88
Figura 73 - Representação dos carregamentos para a simulação	89
Figura 74 - Tensão equivalente de Von-Mises no grampo	90
Figura 75 - Deformação do grampo	90
Figura 76 - Força de corte x comprimento do furo	91
Figura 77 - Força de corte x comprimento do furo x quantidade de furo	92
Figura 78 - Influência do comprimento do gume transversal na força de avanço	92
Figura 79 - Inserção das forças na simulação.....	93
Figura 80 - Tensão equivalente de Von-Mises no parafuso	94
Figura 81 - Deformação do parafuso.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do ferro fundido nodular C5506	74
Tabela 2 - Especificações de materiais e dimensões.....	83
Tabela 3 - Especificações de materiais e dimensões.....	83
Tabela 4 - Cálculo da força e condição de auto-travamento	85

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	Desenho Assistido por Computador
CAM	Manufatura Assistida por Computador
CNC	Comando Numérico Computadorizado
CIMM	Centro de Informação Metal Mecânica
FEIMEC	Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CLP	Controladores Lógicos Programáveis
NC	Comando Numérico
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts
G-code	Linguagem de Programação para Sistemas CNC
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
MES	<i>Manufacturing Execution Systems</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
TIR	<i>Total Indicator Reading</i>
°C	Graus Celsius
E.U.A	Estados Unidos da América
rpm	Rotações por minuto
V _c	Velocidade de corte constante
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
PRT	Porcentagem
MVP	<i>Minimum Viable Product</i>
V _c	Velocidade de corte [m/min]
D _m	Diâmetro usinado [mm]
n	Velocidade do fuso [rpm]

Q	Taxa de remoção de material [cm^3/min]
f_n	Avanço por rotação [mm/rot]
a_p	Profundidade de corte [mm]
P_c	Potência líquida [kW]
k_c	Força de corte específica [N/mm^2]
T_c	Tempo de usinagem [min]
l_m	Comprimento do usinado [mm]
F_t	Força tangencial [N]
$k_{C,D,A}$	Força de corte específica [N/mm^2]
AP	Profundidade de corte no material [mm]
V_f	Avanço da mesa [m/min]
f_z	Avanço por dente [mm]
$ZEFF$	Número efetivo de arestas de corte na parte frontal
V_c	Velocidade de corte [m/min]
D_{cap}	Diâmetro de corte na profundidade de corte a_p [mm]
f_n	Avanço por rotação [mm/rot]
A_c	Profundidade radial do corte [mm]
N_c	Torque [Nm]
D_c	Diâmetro de corte [m]

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVOS	20
1.1.1 Objetivo Principal	20
1.1.2 Objetivos Específicos	20
1.2 JUSTIFICATIVA	21
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 HISTÓRICO DA USINAGEM	23
2.1.1 Princípio e Evolução da Usinagem.....	23
2.1.2 Princípio e Evolução das Ferramentas de Corte	26
2.1.3 Surgimento das Máquinas - Necessidade da Usinagem	28
2.1.4 Comando Numérico Computadorizado CNC.....	29
2.2 ESTUDO DOS PROCESSOS DE USINAGEM	30
2.3 MATERIAIS UTILIZADOS EM DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO	31
2.3.1 Alumínio	32
2.3.2 Aço	32
2.3.3 Ferro Fundido	32
2.3.3.1 Ferro Fundido Cinzento	32
2.3.3.2 Ferro Fundido Branco.....	33
2.3.3.3 Ferro Fundido Nodular	34
2.4 ACESSÓRIOS DE FIXAÇÃO PARA USINAGEM	34
2.4.1 Forças Resultantes	34
2.4.2 Acionamentos.....	35
2.4.3 Tipo de Fixação do Acessório	38
2.4.4 Modularidade.....	39
2.4.5 Dispositivos de Fixação Inteligentes	42

2.4.6 Acessórios inteligentes para setup de ferramentas	43
2.5 ESTRATÉGIA DE USINAGEM.....	44
2.5.1 Propriedades de Usinagem do Material	44
2.5.2 Seleção das Ferramentas Empregadas	44
2.5.3 Características da Máquina-ferramenta	45
2.5.3.1 Fundamentos geométricos	45
2.5.4 Parâmetros de Corte	47
2.5.4.1 Torneamento	47
2.5.4.2 Fresamento	49
2.5.4.3 Furação	51
2.5.4.4 Fresamento concordante, fresamento discordante, fresamento frontal e suas peculiaridades	53
2.5.5 Tolerâncias Dimensionais Relativas ao Suporte de Ferramental Utilizado	56
2.5.6 Sequências dos Processos de Usinagem e suas Implicações.....	59
2.5.7 Definição do Programa de Execução do CNC	61
2.5.8 Estratégias de Fixação da Peça.....	64
2.6 ANÁLISE E CONDIÇÕES ECONÔMICAS.....	66
2.6.1 Análise e Condições Econômicas de Usinagem	66
2.6.1.1 Ciclo e Tempos de Usinagem	67
2.6.2 Produto Mínimo Viável	69
2.7 DIMENSIONAMENTO DE GRAMPO EXCENTRICO.....	71
3 MATERIAIS E MÉTODOS	73
3.1 MATERIAIS	73
3.1.1 Corpo de Prova	74
3.1.2 Máquina CNC.....	74
3.1.3 Dispositivo de Fixação.....	75
3.1.3.1 Esquadro	75

3.1.3.2 Blank	75
3.1.3.3 Parafusos	76
3.1.3.4 Grampo Convencional ou Pneumático	76
3.1.5 Ferramentas para Usinagem.....	76
3.1.6 Instrumentos de Medição	76
3.2 MÉTODOS	76
3.2.1 Desdobramento das Fases Propostas	77
3.2.2 Desenvolvimento das Alternativas para o Projeto do Dispositivo de Fixação ..	78
3.2.2.1 Modelagem funcional do produto	79
3.2.2.2 Matriz Morfológica	79
3.2.3 Esboço do Modelo.....	82
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
4.1 MECANISMO PROPOSTO	84
4.1.1 Dimensionamento do Grampo Excêntrico	85
4.2 DISCUSSÕES.....	85
4.2.1 Discussões Sobre a Operação 10.....	85
4.2.2 Discussões Sobre a Operação 20.....	91
5 CONCLUSÕES	95
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	96
REFERÊNCIAS.....	97
ANEXO A - CORPO DE PROVA.....	104
ANEXO B - MATRIZ MORFOLÓGICA DA OPERAÇÃO 10	105
ANEXO C - MATRIZ MORFOLÓGICA DA OPERAÇÃO 20	106
ANEXO D - MATRIZ MORFOLÓGICA DA OPERAÇÃO 10, PRIMEIRO PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	107
ANEXO E - MATRIZ MORFOLÓGICA DA OPERAÇÃO 10, SEGUNDO PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	108

ANEXO F - MATRIZ MORFOLÓGICA DA OPERAÇÃO 20, PRIMEIRO PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	109
ANEXO G - MATRIZ MORFOLÓGICA DA OPERAÇÃO 20, SEGUNDO PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	110
ANEXO H - COMPONENTES DO SISTEMA DE FIXAÇÃO DA OPERAÇÃO 10..	111
ANEXO I - COMPONENTES DO SISTEMA DE FIXAÇÃO DA OPERAÇÃO 20 ...	120

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos ocorreu uma evolução na forma e complexidade das máquinas. Um setor com uma forte demanda e crescimento para essa complexidade é o agronegócio com plantadeiras, pulverizadores, arados, grades, ensiladeiras, desensiladeiras e colheitadeiras, observa-se que, cada vez mais há a necessidade de peças com geometrias mais complexas.

Na fase de desenvolvimento de um processo de usinagem para essas peças, as empresas encontram problemas de planejamento do processo produtivo, tais como: a fixação de peças, repetibilidade do processo, os ajustes iniciais rápido e prático, o tempo de ciclo e os custos.

Assim, a fixação deve ser rígida o suficiente para que a peça não se solte do dispositivo causando acidentes, os quais, muitas vezes podem ser fatais. Outro benefício ao ter uma fixação adequada é a estabilidade dinâmica, que reduz a ocorrência das vibrações decorrentes do processo de usinagem e as variações dimensionais sem desperdício de recursos materiais e financeiros, tampouco paradas desnecessárias (CASSANIGA, 2009).

A repetibilidade do processo é vital para garantir a competitividade econômica, assim como já foi comprovado no início do século XX por Taylor (1907) *apud* Rodrigues (2019) que otimizações geram reduções de desperdícios na ordem de 20 a 35%. Cinco décadas após, a ideia é reforçada por Taichi Ohno [195-] *apud* Rodrigues (2019) fundador do sistema Toyota de produção.

Os ajustes iniciais, rápidos da máquina e do dispositivo de fixação, implicam em quanto tempo o preparador vai demorar para disponibilizar o equipamento ao operador para que inicie a produção. Estes ajustes precisam ser realizados de forma ágil para reduzir custos de tempo de máquina e operador parados. “O objetivo é o de se produzir peças seriadas com qualidade, ao menor custo. Para isso, é fundamental que os ciclos de trabalho sejam os mais rápidos possíveis” (FERRARI, 2016).

Cassaniga (2009) discute a importância de o operador ter fácil acesso a peça para efetuar a carga e descarga das mesmas, respeitadas as limitações de projeto e as configurações da máquina, impactando em melhor tempo de ciclo da produção.

Outro ponto importante a tratar é a interligação entre o Desenho Assistido Computadorizado (CAD) que reflete as limitações do projeto, com o programa de Manufatura Assistida por Computador (CAM) respeitadas as configurações da máquina através do planejamento de produção para se obter o melhor aproveitamento possível dos recursos disponíveis.

Taylor (1907) *apud* Rodrigues (2019), menciona o conjunto de características que repercutem na fase de desenvolvimento de projetos de usinagem:

1. Qual ferramenta devo utilizar?
2. Qual velocidade de corte devo utilizar?
3. Qual avanço devo utilizar?

Os acessórios utilizados na fixação da matéria prima na máquina, para usinagem, podem ser de diferentes formas, tamanhos e materiais. Entre os principais materiais usados na confecção dos dispositivos dedicados, pode-se citar: aço, ferro fundido, alumínio e outros.

Os elementos de fixação para usinagem das peças realizam a interface entre fatores como: força de usinagem, estabilidade, limitações do projeto e características específicas de cada ferramenta utilizada durante o processo. Tais elementos impactam diretamente no tempo de produção, na qualidade obtida e, conseqüentemente, no custo do produto acabado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Principal

Apresentar uma proposta de dispositivo dedicado a fixação para usinagem de peças com geometria complexa, de difícil fixação em centros de usinagem com Comando Numérico Computadorizado (CNC), onde os sistemas universais de fixação não são aplicáveis.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- Identificar as limitações do projeto do dispositivo;

- Estabelecer as configurações mínimas do centro de usinagem CNC, necessárias para a concepção do dispositivo;
- Verificar os modelos de acessórios existentes e compatíveis com o conjunto, para a obtenção do dispositivo de fixação pretendido;
- Determinar um plano para a produção do dispositivo com aproveitamento de recursos disponíveis;
- Propor um modelo de dispositivo adequado para o problema;

1.2 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho apresenta uma proposta de desenvolvimento de um acessório de fixação para otimizar o tempo de ciclo de produção de uma peça com geometria complexa.

A utilização de um dispositivo de fixação específico para peças com geometria complexa, ainda, trará benefícios à saúde laboral dos operadores que executam o processo produtivo, facilitando o acesso a peça e sua fixação com a menor quantidade de movimentos possíveis.

Outro elemento a ser levado em consideração é que a partir da otimização do processo a empresa torna-se mais competitiva economicamente, pois ao reduzir o tempo de produção há a possibilidade de maior margem de retorno financeiro. Desta forma, a aplicação deste trabalho é de suma importância, servindo como um referencial para a execução de novos dispositivos dedicados à fixação de peças com geometria complexa.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está segmentado em cinco seções de áreas para compreensão do estudo realizado. A primeira seção expõe a introdução do trabalho, a motivação do estudo realizado, os objetivos gerais e específicos. Sendo apresentado o problema e explicitando informações relevantes execução do trabalho.

Na segunda seção situa-se a revisão bibliográfica referente ao assunto discorrido ao longo do trabalho.

Na terceira seção descrevem-se os materiais e métodos utilizados para desenvolver o estudo em questão.

Na quarta seção estão contidos os resultados e discussões pertinentes à realização do que se propõem.

Na quinta e última seção apresentam-se as conclusões referentes ao que foi desenvolvido, bem como sugestões para realização de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, será discorrido sobre a evolução dos processos de usinagem, das ferramentas de corte e dos centros de usinagem CNC. Características fundamentais que estabelecem os parâmetros de corte para usinagem e propriedades da peça e, ainda, os materiais empregados para a confecção do dispositivo.

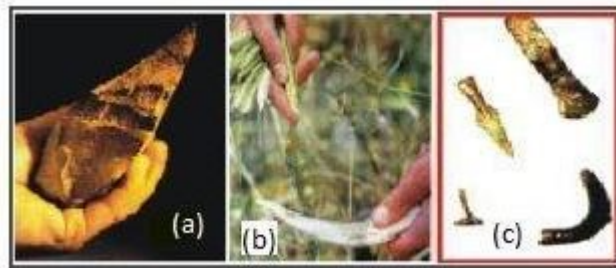
2.1 HISTÓRICO DA USINAGEM

2.1.1 Princípio e Evolução da Usinagem

A usinagem surgiu como uma necessidade do ser humano de transformar as matérias primas em peças que lhes ajudassem a realizar de forma mais prática e rápida suas atividades cotidianas. Conforme CIMM (c2019) a Pré-História compreende o período do surgimento do homem até o aparecimento da escrita, sendo dividida em:

- **Idade da Pedra Lascada** - Ferramentas rudimentares de pouca complexidade, Figura 1a;
- **Idade da Pedra Polida** - Houve a percepção de que se poderia dar um formato diferente às ferramentas, em relação as anteriores, por polimento (Princípio da Retificação), com isso tiveram uma melhora nas ferramentas. Também constatou-se a utilização de ossos como ferramentas, Figura 1b;
- **Idade dos Metais** - Começam a surgir pontas de armas, Figura 1c.

Figura 1 - (a) Pedra Lascada, (b) Foice de Ossos e (c) Pontas de Armas

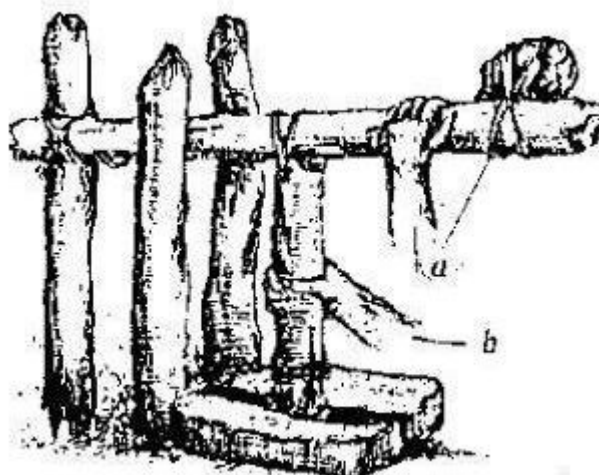


Fonte: CIMM (c2019)

Observa-se que a usinagem evoluiu juntamente com o homem, sendo usada como parâmetro de subdivisão de um período (Idade da Pedra Polida) (CIMM, c2019).

A evolução da ferramenta, “com a pancada de uma cunha manual, surgiu o cinzel, e com movimentos para frente e para trás e aplicando uma pressão, surgiu a serra”, Figura 2, CIMM (c2019).

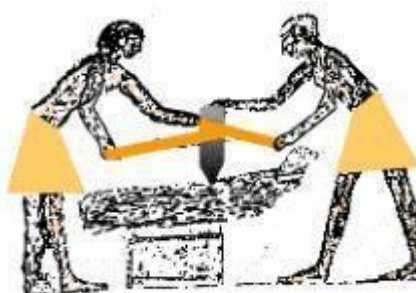
Figura 2 - Cinzel, máquina pré-histórica



Fonte: CIMM (c2019)

Seguindo a cronologia, “um grande avanço nesse período foi a transformação do movimento de translação em movimento de rotação (com sentido de rotação invertido a cada ciclo). Este princípio foi aplicado em um dispositivo denominado Furação de Corda Puxada”, como ilustra a Figura 3, CIMM (c2019).

Figura 3 - Furação de corda puxada

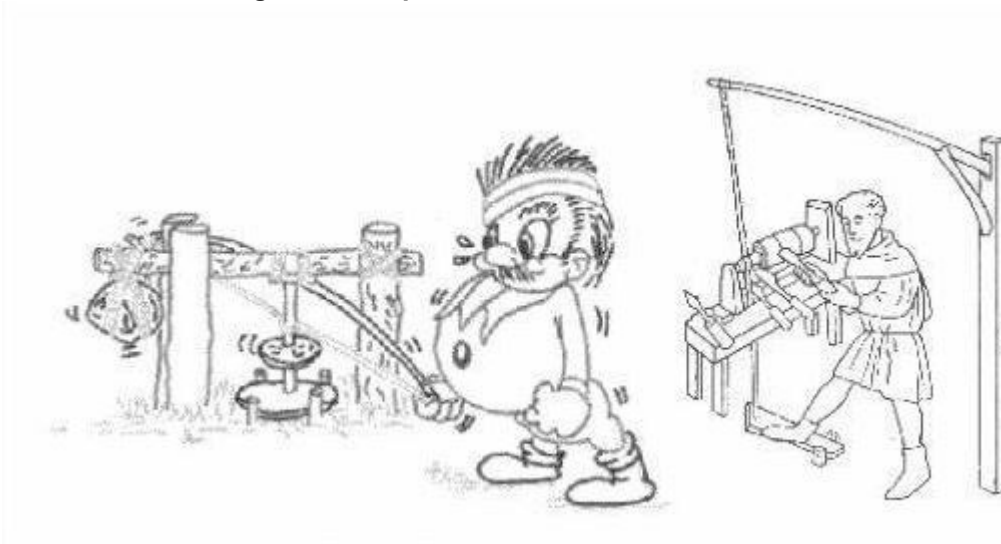


Fonte: CIMM (c2019)

Assim surgiram e evoluíram as máquinas-ferramenta, possibilitando que um só homem, com pouco esforço físico, realizasse trabalhos quando outrora

necessitava de vários homens, (CIMM (c2019)). Na Figura 4, pode-se visualizar os princípios de máquinas ferramenta.

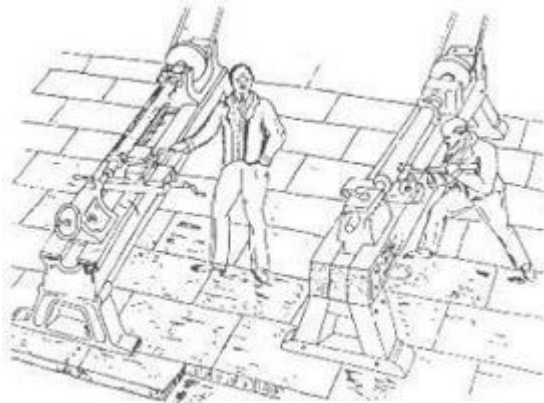
Figura 4 - Máquinas ferramenta rudimentares



Fonte: CIMM (c2019)

Como no século XIX o trabalho do ferreiro era muito lento, surgiram então as máquinas movidas a vapor. Nas primeiras máquinas a energia era transmitida por meio de eixos, correias e roldanas. Com o passar dos anos a energia gerada por motor a vapor foi substituída por energia elétrica. Tem-se também a introdução de suporte de ferramentas mecânico ao torno. O suporte eliminou a necessidade de segurar as ferramentas com as mãos, reduzindo o risco de acidentes, conforme mostra a Figura 5 (CIMM (c2019)).

Figura 5 - Torno com suporte ferramenta mecânica e torno com ferramentas manuais



Fonte: CIMM (c2019)

2.1.2 Princípio e Evolução das Ferramentas de Corte

Com o surgimento das máquinas surgiu a necessidade de ferramentas elaboradas a partir da necessidade de trabalhos, a fim de facilitar suas operações.

O ser humano descobriu, por acaso, a possibilidade de produzir metal. Enquanto utilizava pedras de minério de ferro na estruturação de fogueiras para aquecer cavernas, o efeito combinado do calor e do carbono, este oriundo da lenha carbonizada, transformou o minério de ferro em metal. A partir daí, com o passar dos séculos, o descobrimento de novos metais, a sofisticação dos métodos de fabricação e a combinação de elementos resultou nos materiais de alto desempenho que temos hoje (CIMM (C2019)).

Figura 6, pode-se ver uma ilustração do surgimento dos metais.

Figura 6 - Surgimento dos metais

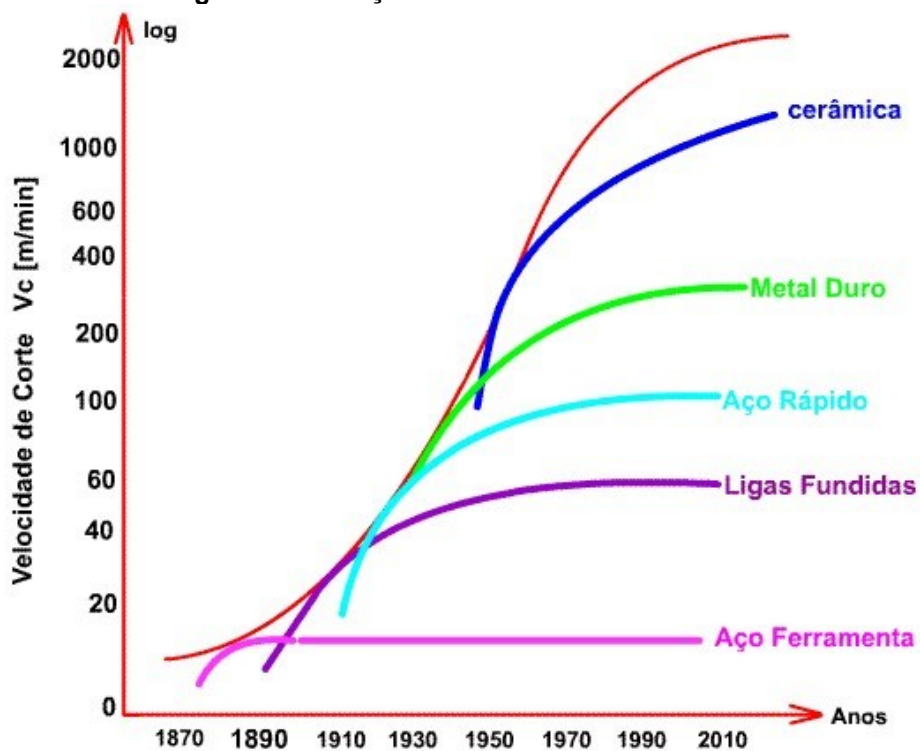


Fonte: CIMM (C2019)

As ferramentas de corte tiveram uma evolução extrema nas últimas décadas, como é possível ver na Figura 7. Com a evolução dos materiais e revestimentos a velocidade de corte teve um aumento significativo entre os anos de 1870 a 2010, tendo em 1870 uma velocidade de corte de 10 a 20 m/min com o emprego de aço ferramenta e, nos anos 2000 chegando perto de 1000 m/min beneficiando-se de ferramentas cerâmicas.

Outra evolução é com relação ao desgaste do material de corte. Pode-se ver na Figura 8 que o diamante possui maior resistência ao desgaste, velocidade de corte e resistência a quente e menor resistência à flexão e a tenacidade, enquanto que para os aços rápidos acontece o contrário.

Figura 7 - Evolução das ferramentas de corte



Fonte: CIMM (C2019)

Figura 8 - Materiais para ferramentas de corte



Fonte: CIMM (C2019)

2.1.3 Surgimento das Máquinas - Necessidade da Usinagem

Nesta seção são apresentados alguns fatos e informações relevantes sobre o surgimento das máquinas e a usinagem, as quais foram extraídas de uma web série disponibilizada pela FEIMEC (2016), denominada “Manufatura Avançada: A Indústria 4.0 no Brasil”. A série foi exibida para a divulgação da Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos, é apresentada pelo pesquisador do CNPq e professor do Instituto Mauá de Tecnologia, Ari Costa, e faz uma cronologia desde os primórdios da industrialização até os dias atuais.

O surgimento das máquinas de tear movidas à vapor, por volta de 1784 é um fato relevante e deu início à Primeira Revolução Industrial (mecânica) na segunda metade do século XVIII na Inglaterra. O grande marco da Primeira Revolução Industrial foi a substituição da força de trabalho animal pela força oriunda de máquinas.

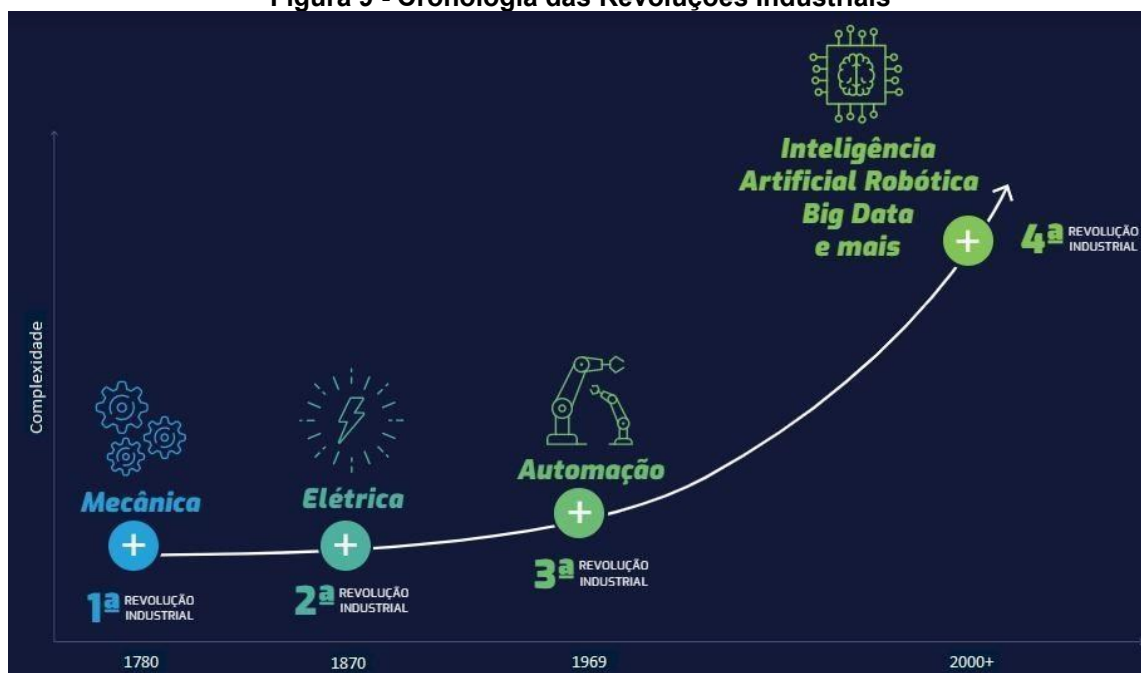
Com a utilização da eletricidade e de motores à combustão inicia a Segunda Revolução Industrial no começo do século XX. Neste período o sistema de produção em massa teve notoriedade devido à maior eficiência nas linhas de produção. O principal marco dessa fase ocorreu na indústria automobilística e ficou conhecido como o Fordismo, devido vanguarda tecnológica aplicada na produção dos veículos da marca Ford.

A popularização da produção em massa e a ascensão das novas fontes de energia possibilitaram que novas tecnologias fossem criadas. A descoberta de novos materiais oportunizou a introdução dos Controladores Lógicos Programáveis (CLP) em equipamentos e processos tornando viável a produção em massa customizada. Este avanço foi nomeado como Terceira Revolução Industrial (automação). Seu legado é a capacidade das máquinas de processar informações rapidamente, suportando-as em maiores quantidades.

No início do século XXI a evolução atingiu níveis extraordinários, a ponto que se fez latente a inteligência artificial que possibilita às máquinas ter autonomia sobre o processo produtivo. Assim, teve início a Quarta Revolução Industrial (inteligência artificial e sistemas cibernéticos), também chamada de Indústria 4.0.

A Figura 9, sintetiza a cronologia das revoluções tecnológicas industriais.

Figura 9 - Cronologia das Revoluções Industriais



Fonte: ABDI (2019)

2.1.4 Comando Numérico Computadorizado CNC

No final da década de 1940, a demanda por máquinas com maior precisão e eficiência para a indústria aeronáutica determinou a progressiva substituição das Máquinas Ferramentas Manuais, decorrente do surgimento das máquinas com Comando Numérico (NC). Fomentado pelo exército dos Estados Unidos na década de 1950, que posteriormente deram origem às máquinas com Comando Numérico Computadorizado - (CNC) na década de 1960, facilitado com a criação e padronização do código G (G-code), iniciado no laboratório de servomecanismos do Instituto de Tecnologia de Massachusetts – MIT, (PEREIRA 2007).

Em 1970 estas máquinas ferramentas se popularizaram nas indústrias, devido aos ganhos na produtividade e qualidade, diminuindo as margens de erro. Além de possibilitarem a usinagem de geometrias variadas e complexas, aumentando a competitividade econômica. Posteriormente várias outras máquinas se beneficiaram dessa automatização e tiveram essa tecnologia implantada, como por exemplo: furadeiras, tornos, máquinas de corte (a laser, a plasma, oxicorte, routers), impressoras, máquinas de desenho e pintura, entre outros processos.

Atualmente as máquinas ferramentas estão em processo de transição para o que se denomina de Indústria 4.0, onde a inteligência artificial auxilia no comando e

operação das máquinas. Assim a máquina tem autonomia sobre todo o processo produtivo. Um exemplo disso pode ser visto no vídeo disponível na internet com o título: “Manufatura avançada: demonstração final na FEIMEC”, em 2016

Abaixo estão descritas algumas máquinas, equipamentos e sistemas integrados que auxiliam na Indústria 4.0 e que, segundo FEIMEC (2018), vêm substituindo a força de trabalho humana com aplicação de tecnologias assistivas:

Máquinas e equipamentos:

1. Cadastro e Identificação por reconhecimento facial;
2. Usinagem;
3. Controle de qualidade;
4. Manufatura aditiva;
5. Gravação à laser;
6. Montagem de produtos;
7. Embalagem;
8. Entrega de produtos por robótica colaborativa;

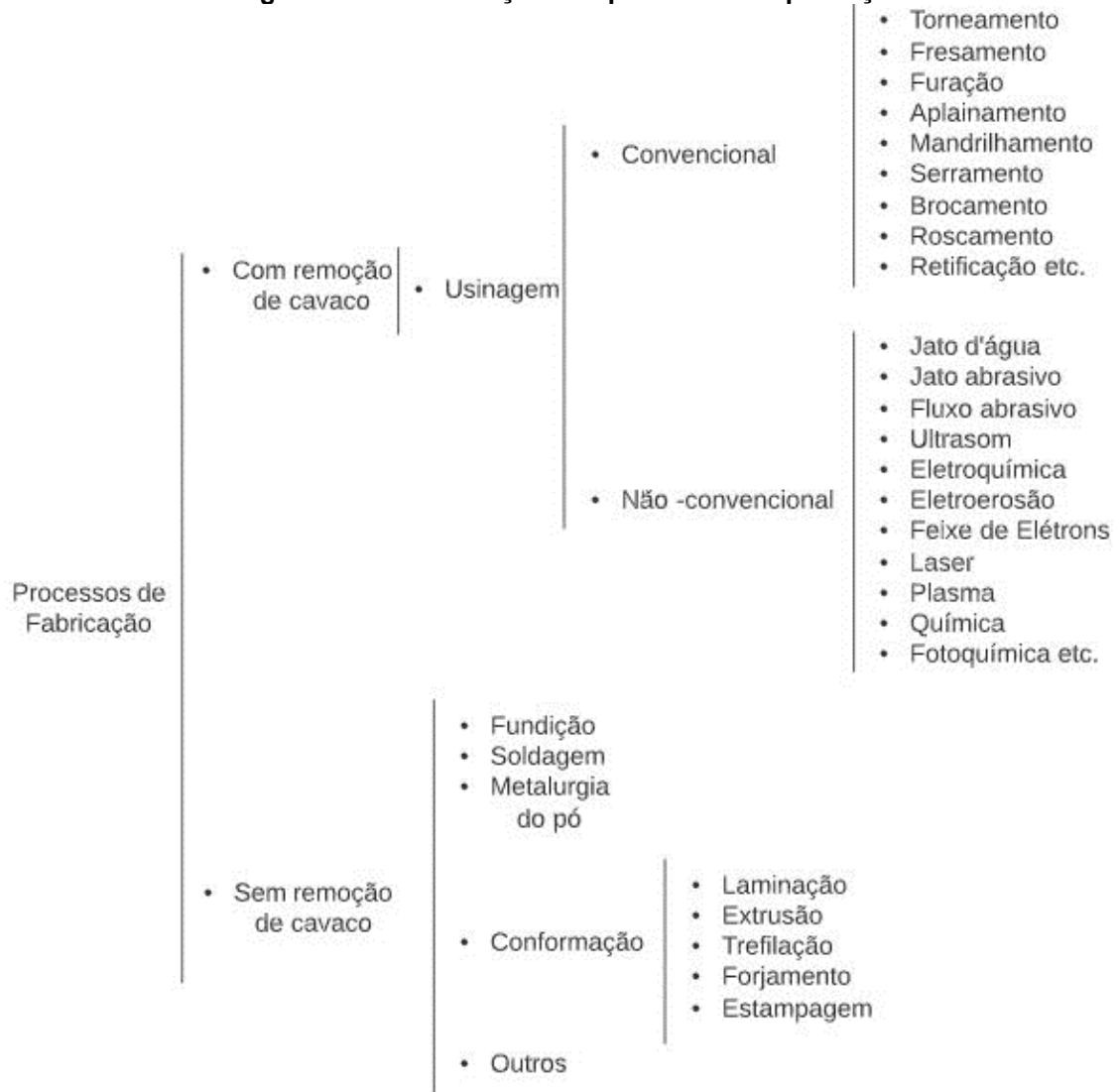
Sistemas integrados:

1. ERP - *Enterprise Resource Planning*;
2. MES - *Manufacturing Execution Systems*;
3. PLM - *Product Lifecycle Management*;
4. Comissionamento Virtual;
5. Sistema de Medição e Gerenciamento de Energia;
6. Realidade Aumentada;
7. Sistema de Manutenção Inteligente;
8. Inteligência Artificial;

2.2 ESTUDO DOS PROCESSOS DE USINAGEM

A fabricação de peças pode ser realizada de duas formas distintas, a primeira é feita a partir da remoção de cavacos, enquanto a segunda não apresenta a remoção de cavacos, também conhecida como manufatura aditiva. Na Figura 10, é possível observar como são classificados os processos de fabricação, com destaque para os principais processos de usinagem (MACHADO et al., 2009).

Figura 10 - Classificação dos processos de produção



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2009, pg 4)

Conforme Machado et al., (2009) os processos de usinagem envolvem operações de arrancamento de cavaco com uma ferramenta de corte definida gerando a remoção de material até que se resulte na peça desejada.

2.3 MATERIAIS UTILIZADOS EM DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO

As alternativas de materiais disponíveis para serem utilizados na confecção do dispositivo de fixação são: o alumínio, o aço e o ferro fundido. Na sequência serão descritas as principais propriedades de cada material.

2.3.1 Alumínio

O alumínio tem características que o destacam em relação a outros materiais, sendo elas: a elevada condutividade térmica e elétrica, o baixo ponto de fusão, a elevada resistência a corrosão, a sua massa específica é cerca de 35% a do aço, aproximadamente 2,7 g/cm³. Sua resistência mecânica pode ser facilmente melhorada através de trabalho a frio e pela formação de ligas diferentes, podendo alterar a resistência a corrosão (CALLISTER, 2007, pg. 272).

2.3.2 Aço

São elementos de liga ferro-carbono que apresentam a faixa de 0,008% a 2,11% de carbono no ferro, podendo ainda ter outros elementos de liga. Conforme Chiaverini (2008, pg. 22), “o limite inferior de 0,008% corresponde a máxima solubilidade do carbono no ferro a temperatura ambiente e o limite superior de 2,11% corresponde a máxima quantidade de carbono que se dissolve no ferro e ocorre a 1148°C”.

2.3.3 Ferro Fundido

Segundo Chiaverini (2008, p. 494) o ferro fundido pode ser definido como uma liga de ferro-carbono-silício, que apresenta teores de carbono, geralmente, acima de 2,0%. Assim quando a liga apresenta quantidade superior de carbono a mesma deve ser retida em solução sólida na austenita, resultando assim em carbono parcialmente livre, na forma de veios ou lamelas de grafita.

2.3.3.1 Ferro Fundido Cinzento

O ferro fundido cinzento está entre os mais utilizados. CHIAVERINI (2008) prioriza as seguintes propriedades:

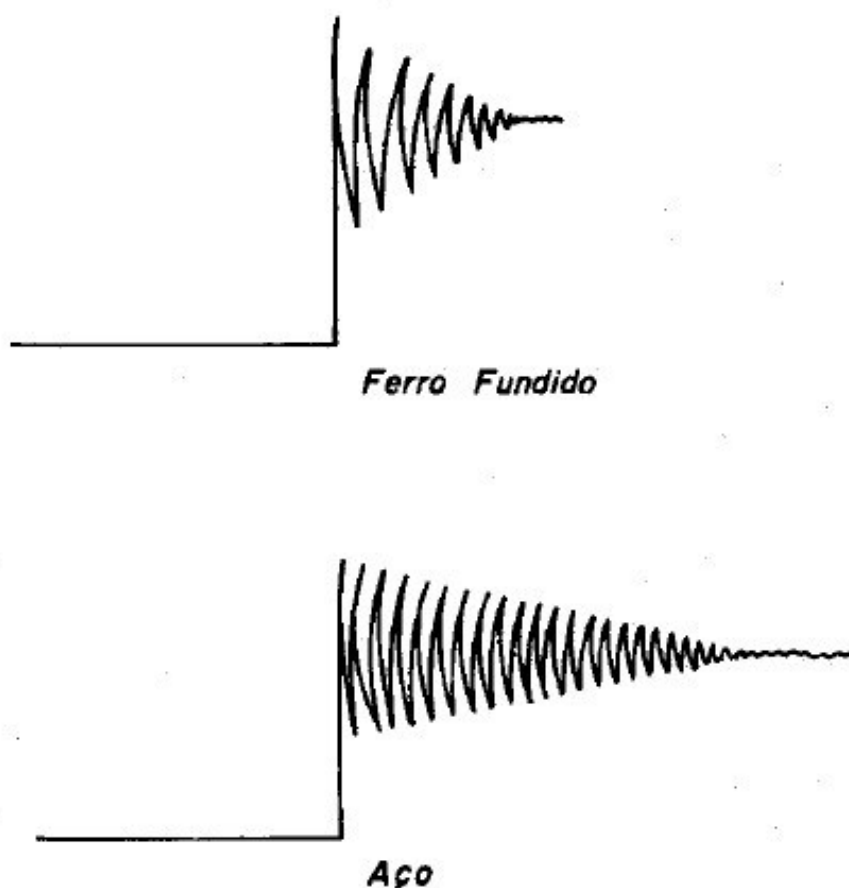
- Fácil fusão e moldagem;
- Boa resistência mecânica;
- Excelente usinabilidade;
- Boa resistência ao desgaste;

- Boa capacidade de amortecimento de vibração.

Ferros fundidos cinzentos apresentam, na sua maioria, estrutura em que sua matriz é ferrítica ou ferrítico-perlítica, além de veios com grafita, estas estruturas conferem aos ferros fundidos cinzentos uma boa usinabilidade, CHIAVERINI (2008). O que traz vantagens para a confecção do sistema de fixação, que na sua grande maioria recebe uma geometria similar à da peça, obtido através da usinagem.

Na Figura 11, pode-se ver a comparação da capacidade de amortecimento de vibração do ferro fundido em relação ao aço, a capacidade de amortecimento da vibração do ferro fundido é bem melhor em relação ao aço.

Figura 11 - Capacidade de amortecimento do ferro fundido em relação ao aço



Fonte: Chiaverini (2008, pg. 524)

2.3.3.2 Ferro Fundido Branco

Neste ferro fundido, quase todo o carbono se apresenta na forma combinada de carboneto de ferro Fe_3C . Suas propriedades são elevadas dureza e

resistência ao desgaste, porém, sua usinabilidade é muito difícil devido a sua elevada dureza, (Chiaverini, 2008, p. 508).

2.3.3.3 Ferro Fundido Nodular

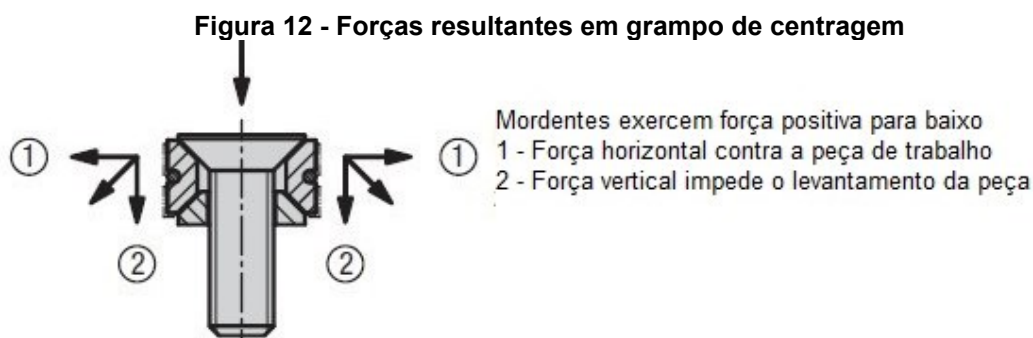
Este ferro fundido se caracteriza pela ductilidade, tenacidade e resistência mecânica. A propriedade mais importante está ligada a resistência mecânica, pois seu limite de escoamento é mais elevado que no ferro fundido cinzento e aços-carbono comum, (Chiaverini 2008, p. 560).

2.4 ACESSÓRIOS DE FIXAÇÃO PARA USINAGEM

A fundamentação teórica sobre acessórios de fixação para usinagem foi dividida em: forças atuantes na peça, na forma de acionamento, tipo de fixação do acessório, na modularidade do elemento, dispositivos de fixação inteligentes e acessórios inteligentes para setup de ferramentas.

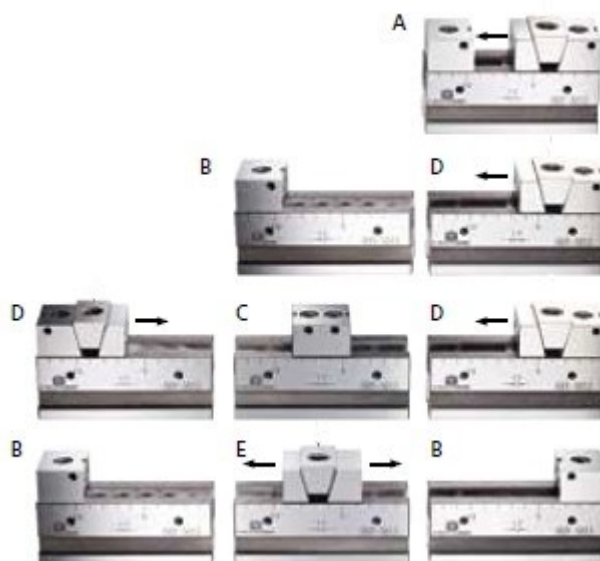
2.4.1 Forças Resultantes

As forças resultantes que atuam na peça podem ser em várias direções: vertical, horizontal e diagonal, como demonstrado na Figura 12 e na Figura 13. Essas forças impactam diretamente na estratégia de fixação da peça, refletindo assim no comportamento durante o processo de usinagem através da estabilidade.



Fonte: Adaptado de KIPP Clamping Technology Catalog (2018)

Figura 13 - Forças horizontais em morsa de precisão para produção modular



Fonte: Catálogo BTfixo (2019)

2.4.2 Acionamentos

Os acionamentos são dispostos de inúmeras formas, tais como: mecânico manual, pneumáticos, hidráulicos e magnéticos.

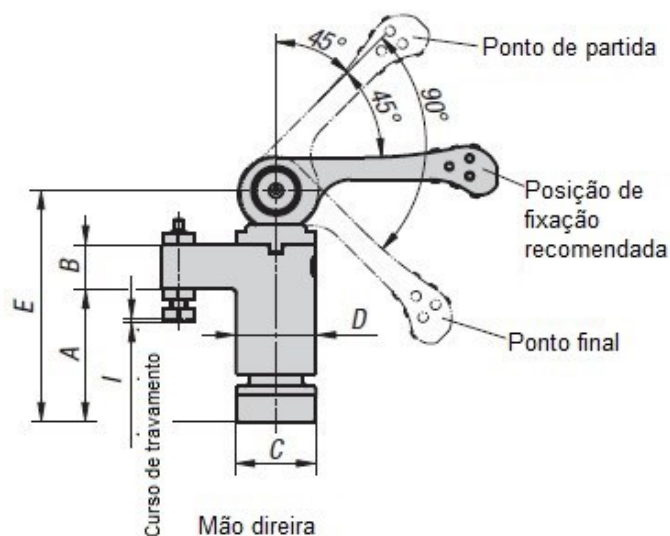
Os acionamentos mecânicos manuais podem ser realizados através de parafusos, onde o operador tem que dar o aperto do parafuso, came-seguidor, alavancas e combinações entre eles. Na Figura 14, é possível visualizar o acionamento de mecanismos por parafusos. Enquanto que na Figura 15, tem-se acionamento por came-seguidor. Já na Figura 16 tem-se acionamento por alavancas e, para finalizar na Figura 17 é demonstrado o acionamento com combinação de dois tipos de acionamento.

Figura 14 - Acionamento de fixação por parafusos



Fonte: KIPP Clamping Technology Catalog (2018)

Figura 15 - Acionamento de fixação por came-seguidor



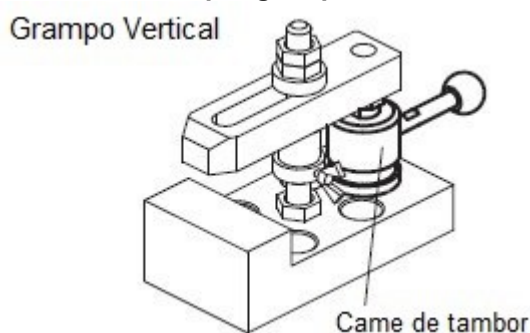
Fonte: Adaptado de KIPP Clamping Technology Catalog (2018)

Figura 16 - Acionamento de fixação por alavanca



Fonte: Catálogo KIFIX (2018)

Figura 17 - Acionamento de fixação por grampo axial somado a grampo universal



Fonte: Adaptado de KIPP Clamping Technology Catalog (2018)

Para os acionamentos pneumáticos, Figura 18, o comando pode ser manual ou automatizado, este podendo ser sincronizado com máquina CNC.

Os acionamentos hidráulicos, Figura 19, têm comando semelhante aos acionamentos pneumáticos, o que difere entre eles é que os sistemas hidráulicos exercem uma maior pressão sobre a peça ou o dispositivo.

Figura 18 - Grampo de fixação com acionamento pneumático



Fonte: Catálogo KIFIX (2018)

Figura 19 - Exemplos de acionamentos de fixadores hidráulicos



Fonte: Catálogo AMF - Elementos de fixação hidráulicos (2017/2018)

Nos acionamentos de fixação magnéticos, Figura 20, a peça é posicionada em contato com o dispositivo. A fixação é decorrente do campo magnético que gera uma força uniformemente distribuída sobre a área de contato, sem que necessite do uso de braçadeiras adicionais. Desta forma, praticamente todas as áreas da peça podem ser atingidas. Porém ela se limita apenas a materiais magnéticos.

Figura 20 - Exemplos de fixação por acionamento magnético



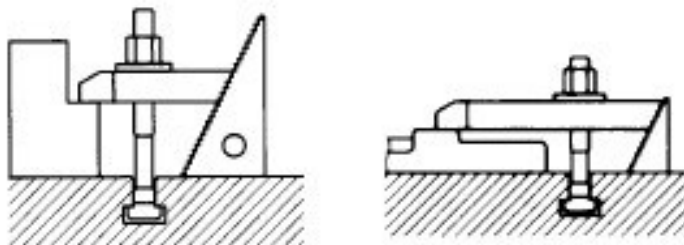
Fonte: Catálogo AMF - Magnetic Clamping Systems (2015/2016)

2.4.3 Tipo de Fixação do Acessório

Os tipos de fixação dependem das dimensões do dispositivo, das características do equipamento utilizado, havendo possibilidade de diversas combinações para um mesmo resultado na fixação. Este item impacta razoavelmente na estabilidade da peça, pois uma boa escolha de fixação permitirá a rigidez necessária no processo usinagem.

Na maioria das vezes os acessórios são fixados na mesa da máquina por parafusos, porca T e grampos, conforme exemplo da Figura 21, aparafusados ou encaixados diretamente no dispositivo utilizado como mostrado na Figura 22.

Figura 21 - Exemplo de fixação do componente por parafuso



Fonte: Catálogo AMF - Elementos de fixação mecânicos (2019)

Figura 22 - Exemplo de fixação do componente por encaixe rápido



Fonte: Catálogo AMF Zero Point Systems (2019)

Também é comum a prática de agregar diferentes tipos de elementos de fixação, numa só sujeição da peça em determinado local para a usinagem em função da complexidade do projeto, como pode ser observado na Figura 23 e na Figura 24, onde a geometria da peça em questão é complexa.

Figura 23 - Exemplo de fixação por grampos escalonado



Fonte: Catálogo AMF - Elementos de Fixação Mecânica (2019)

Figura 24 - Exemplo de fixação por grampos escalonado



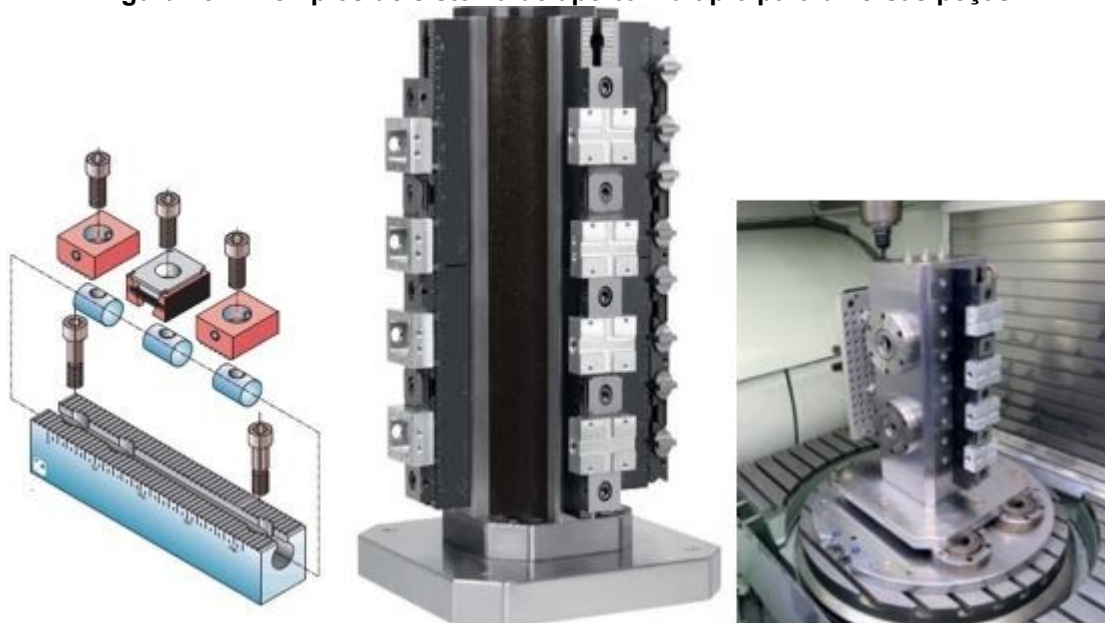
Fonte: Catálogo AMF - Elementos de Fixação Mecânica (2019)

2.4.4 Modularidade

A modularidade pode ser utilizada para otimizar a área útil de uma máquina ferramenta e os movimentos de suprimento e extração de peças da máquina. Pois, podem ser empregados sistemas de fixação múltiplos, a fim de fixar mais de uma peça na base ou diretamente na máquina para a execução de um ciclo de trabalho. A Figura 25, mostra um exemplo onde o aperto se dá em uma seção plana e, também, mostra como é montado o dispositivo na máquina e a montagem das peças no dispositivo

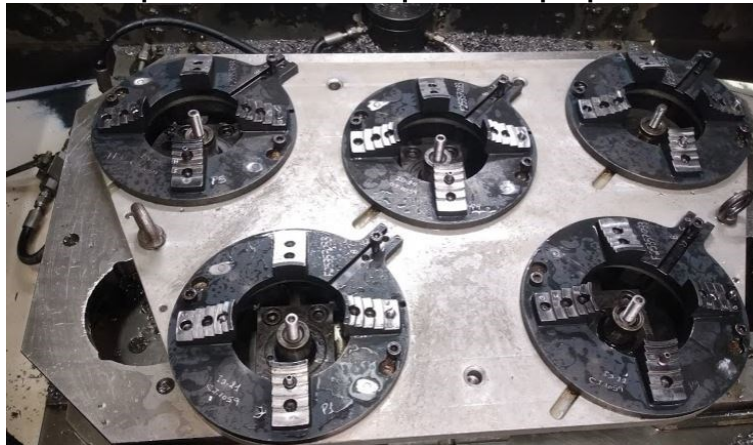
para a operação de usinagem. Na Figura 26, há um exemplo de dispositivo no qual o encosto se dá através de uma seção circunferencial.

Figura 25 - Exemplos de sistema de aperto múltiplo para diversas peças



Fonte: KIPP - Clamping Technology Catalog (2018)

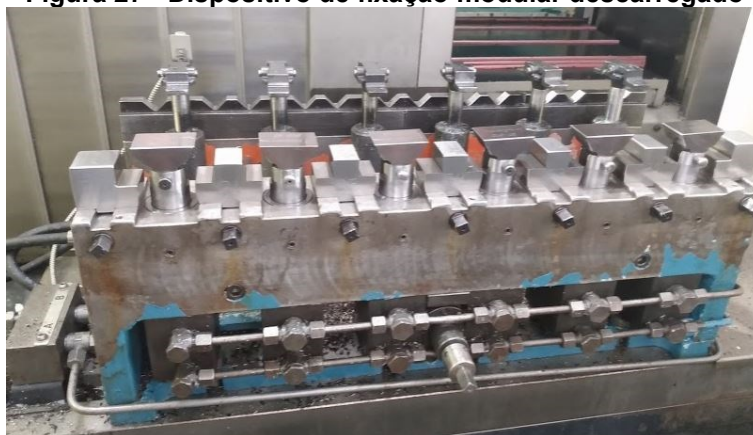
Figura 26 - Exemplos de sistema de aperto múltiplo para diversas peças



Fonte: Autoria própria (2019)

Outro exemplo de modularidade pode ser observado em um dispositivo de fixação na Figura 27, onde a mesma está aguardando carregamento, comportando uma série de eixos com diferentes diâmetros, comprimentos e formas, estes usinados em um dispositivo dedicado melhorando o tempo de ajuste da máquina. Já na Figura 28, os eixos estão dispostos e prontos para a usinagem. Na Figura 29, destacam-se partes do dispositivo que atuam diretamente na fixação dos eixos.

Figura 27 - Dispositivo de fixação modular descarregado



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 28 - Dispositivo de fixação modular carregado



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 29 - Acessórios do dispositivo de fixação



Fonte: Autoria Própria (2019)

2.4.5 Dispositivos de Fixação Inteligentes

Como visto anteriormente, o avanço tecnológico esteve focado na modernização das máquinas e ferramentas deixando um pouco de lado a parte da fixação das peças. Atualmente, é tendência considerar também a forma de fixação e seus desdobramentos em função da automação e da inserção da inteligência de máquina auxiliando na obtenção de informações em tempo real e de forma autônoma, aumentando assim o leque de possibilidades para aplicações e interações nos processos de manufatura.

Um exemplo de inovação é a Schunk, que na feira AMB - 2018 em Stuttgart na Alemanha, demonstrou dispositivos de fixação e garras para monitoramento de forças de fixação, temperatura e características de vibração em tempo real. Segundo a empresa estes dispositivos de fixação terão papel fundamental para o desenvolvimento da produção inteligente no futuro. Assim sensibilidade, conectividade e um elevado grau de funcionalidades de integração serão peças chaves para esta área, conforme BrasilAlemanha News (2018).

A Schunk também lançou o sistema TANDEM KSE:

Bloco inteligente de fixação TANDEM KSE, permite o monitoramento automático a área e força de fixação, temperatura interna e números de ciclo. Adicionalmente, o posicionamento dos mordentes pode ser ajustado individualmente de acordo com a peça a ser fixada, Figura 30 (BrasilAlemanha News, 2018).

Figura 30 - Exemplo bloco de fixação TANDEM KSE



Fonte: Schunk (2018)

2.4.6 Acessórios inteligentes para setup de ferramentas

Para sistemas de ajustes do ponto de referência da peça (*zero-point*) é comum fazer uso das máquinas de pré-ajustes de ferramenta, como pode ser visto na Figura 31. Desta forma, são obtidas medidas de comprimento, diâmetro, raio e ângulos de borda das arestas cortantes, a partir dos parâmetros obtidos na medição são gerados documentos que auxiliam na produção do *workpiece*, onde o operador pode alimentar os dados manualmente no CNC ou havendo a integração entre ambas, o CNC recebe a documento com os parâmetros fazendo a gerência integrada das ferramentas.

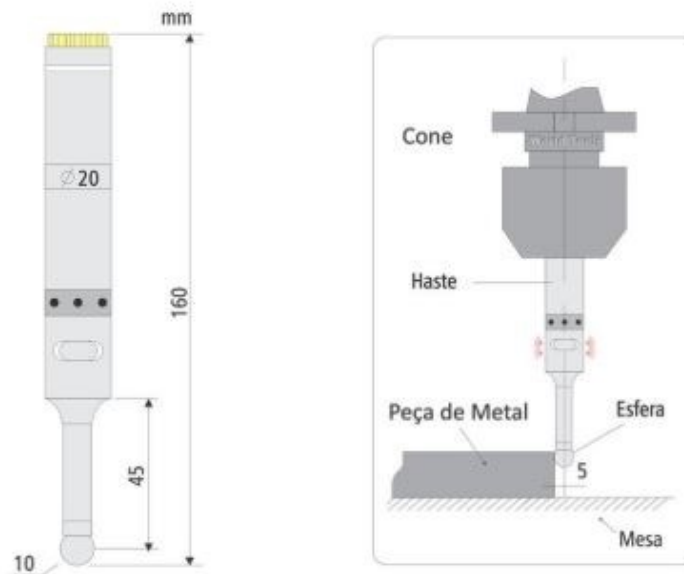
Figura 31 - Máquina de pré-ajuste de ferramentas



Fonte: Ezset, acessado em 12/09/2020

Para referenciamento da peça, pode ser utilizado o centralizador com infravermelho e *beeper*, que agiliza o processo de obtenção das coordenadas da peça. A Figura 32 mostra um modelo de centralizador, onde ao tocar a extremidade da peça faz-se a compensação do raio e anota-se a coordenada para determinado eixo. Na sequência é tocada outra extremidade e anota-se a coordenada do eixo, assim, obtém-se o ponto de referência no vértice da peça. Para encontrar o centro da peça toca-se com o equipamento nas extremidades opostas dos eixos de referência obtendo assim o ponto de referência.

Figura 32 - Centralizado com infravermelho



Fonte: Worldtools, acessado em 08/08/2020

2.5 ESTRATÉGIA DE USINAGEM

Para as estratégias de usinagem deve-se ponderar alguns fatores, tais como: propriedades de usinagem do material, seleção das ferramentas empregadas, características da máquina-ferramenta, parâmetros de corte, sequências de processo de usinagem e suas implicações, definição do programa de execução do CNC, modos de fixação da peça, entre outros.

2.5.1 Propriedades de Usinagem do Material

A usinabilidade do material é definida pelo grau de dificuldade de usar o mesmo. Entende-se como propriedades de usinagem do material aquelas que expressam grandezas mensuráveis inerentes ao processo, como: vida da ferramenta, acabamento superficial da peça, esforços de corte, temperatura de corte, produtividade e características do material, (DINIZ et al, 2008).

2.5.2 Seleção das Ferramentas Empregadas

Para a seleção de ferramentas empregadas no processo de usinagem, é necessário saber sobre o material da ferramenta de corte e as limitações do projeto,

formato da peça a ser usinada, das condições de usinagem e no acabamento superficial, (SANDVIK (c2019)).

Diniz et al (2008) consideram que a seleção leva em conta diversos fatores, como: material a ser usinado, processo de usinagem, condição da máquina operatriz, forma e dimensões da ferramenta, custo do material da ferramenta, condições de usinagem e condições da operação. O material da ferramenta a ser utilizada deve apresentar requisitos de maior ou menor importância, dependendo dos fatores citados anteriormente, essas características são: dureza à quente, resistência ao desgaste, tenacidade e estabilidade química.

2.5.3 Características da Máquina-ferramenta

Para uma usinagem precisa e segura é necessária a utilização de uma máquina-ferramenta que resista às forças de usinagem, apresente repetibilidade e comporte os componentes envolvidos no processo de manufatura.

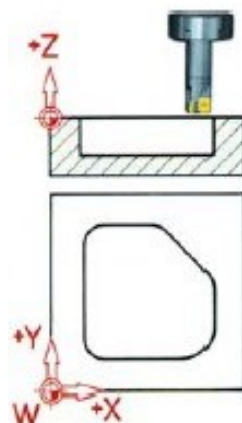
Nesse sentido uma máquina-ferramenta deve:

Obter exatidão de uma máquina-ferramenta, seja de precisão e/ou ultraprecisão, significa, entre outras coisas, ter estrutura apropriada para essa função, pois é a estrutura da máquina que faz a ligação entre a ferramenta e a peça. Verifica-se que defleções associadas a vibrações da máquina podem ser reproduzidas na forma de erros sobre a peça. (Porto et al., 2004, pg 3).

2.5.3.1 Fundamentos geométricos

Para a programação de processos de manufatura em máquinas CNC, convencionalmente é respeitada a norma DIN 66217 ou ISO 841, que padroniza a instalação da ferramenta. Desta forma, a ferramenta é disposta paralela aos eixos principais e estes ficam ortogonais entre si. A Figura 33 ilustra o plano formado pelos eixos X e Y e o ponto W que remete a origem da peça de trabalho e, selecionado convenientemente de acordo com cada projeto, também mostra a ferramenta paralela ao eixo Z. Outros planos podem ser gerados com entroncamento dos eixos X e Z ou Y e Z, conforme necessidade.

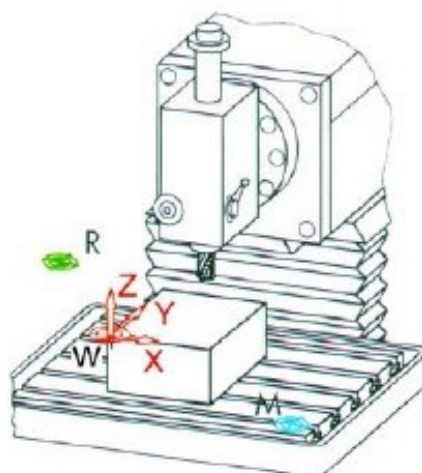
Figura 33 - Eixo da ferramenta Z sobre o plano XY



Fonte: Manual de fresamento e torneamento para iniciantes SINUMERIK 810D / 840D / 840Di (2003)

Na Figura 34, tem-se os principais pontos a serem considerados na elaboração do programa de usinagem. O ponto zero da máquina está simbolizado pela letra M, ele é estabelecido para cada máquina pelo fabricante e determina a origem do sistema de coordenadas. O ponto de referência R é utilizado para ajustar o sistema de medição da máquina.

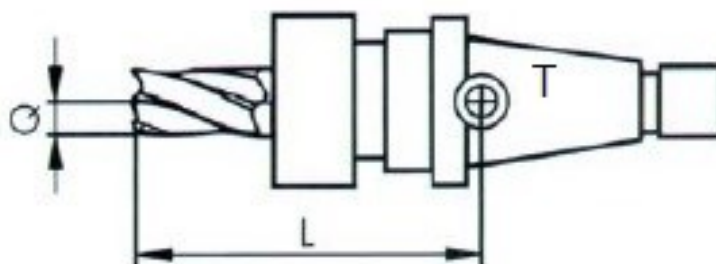
Figura 34 - Pontos de referência da área de trabalho



Fonte: Manual de fresamento e torneamento para iniciantes SINUMERIK 810D / 840D / 840Di (2003)

A Figura 35, apresenta o ponto de referência do porta-ferramenta simbolizado pela letra T, que é de suma importância para a calibração das ferramentas. As cotas L e Q são valores a serem considerados no *presset* para execução do programa de usinagem.

Figura 35 - Ponto de referência do porta ferramenta



Fonte: Manual de fresamento e torneamento para iniciantes SINUMERIK 810D / 840D / 840Di (2003)

2.5.4 Parâmetros de Corte

Para a determinação dos parâmetros de corte leva-se em consideração os movimentos que promovem a remoção de material, são eles: movimento de corte, movimento de avanço e movimento efetivo de corte, (DINIZ et al, 2008).

Também deve ser levado em consideração qual o tipo de usinagem que está sendo empregado na peça, neste item será discorrido três tipos de usinagens básicas, que são: torneamento, fresamento e furação.

2.5.4.1 Torneamento

Ao realizar a remoção de cavaco através de torneamento, é essencial calcular os valores adequados para diferentes parâmetros da máquina como velocidade de corte e velocidade do avanço para que seja previsível o resultado obtido, conforme SANDVIK (c2019). Na Figura 36, pode-se ver as demonstrações das velocidades e dos ângulos, referentes ao torneamento.

As equações para cálculos da velocidade de corte, taxa de remoção de material, potência líquida, tempo de usinagem e força tangencial, disponíveis em MACHADO et al., (2009).

Velocidade de corte V_c , eq. 1:

$$V_c = \frac{D_m * \pi * n}{1000} \quad (1)$$

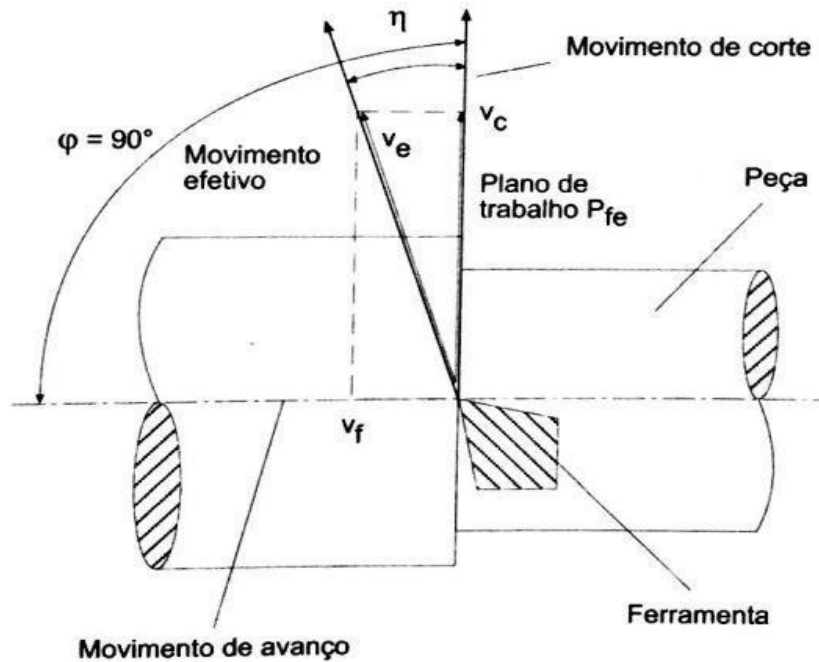
Onde:

D_m - Diâmetro usinado [mm];

V_C - Velocidade de Corte [m/min];

n - Velocidade do fuso [rpm].

Figura 36 - Direção dos movimentos de corte, de avanço e efetivo no torneamento. Ângulos da direção de avanço φ , da direção efetiva η e Plano de trabalho



Fonte: Diniz et al (2008)

Taxa de remoção de material Q , eq. 2:

$$Q = V_C * a_p * f_n \quad (2)$$

Onde:

f_n - Avanço por rotação [mm/r];

Q - Taxa de remoção de material [cm³/min];

a_p - Profundidade de corte [mm].

Potência líquida P_C , eq. 3:

$$P_C = \frac{V_C * a_p * f_n * k_C}{60 * 10^3} \quad (3)$$

Onde:

k_C - Força de corte específica [N/mm²];

P_C - Potência líquida [kW].

Tempo de usinagem T_C , eq. 4:

$$T_C = \frac{l_m}{f_n * n} \quad (4)$$

Onde:

T_c - Tempo de usinagem [min];

l_m - Comprimento do usinado [mm].

Força tangencial F_t , eq. 5:

$$F_t = k_{C,D,A} * \left(\frac{0,4}{f_n}\right)^{0,29} * f_n * AP \quad (5)$$

Onde:

F_t - Força tangencial [N];

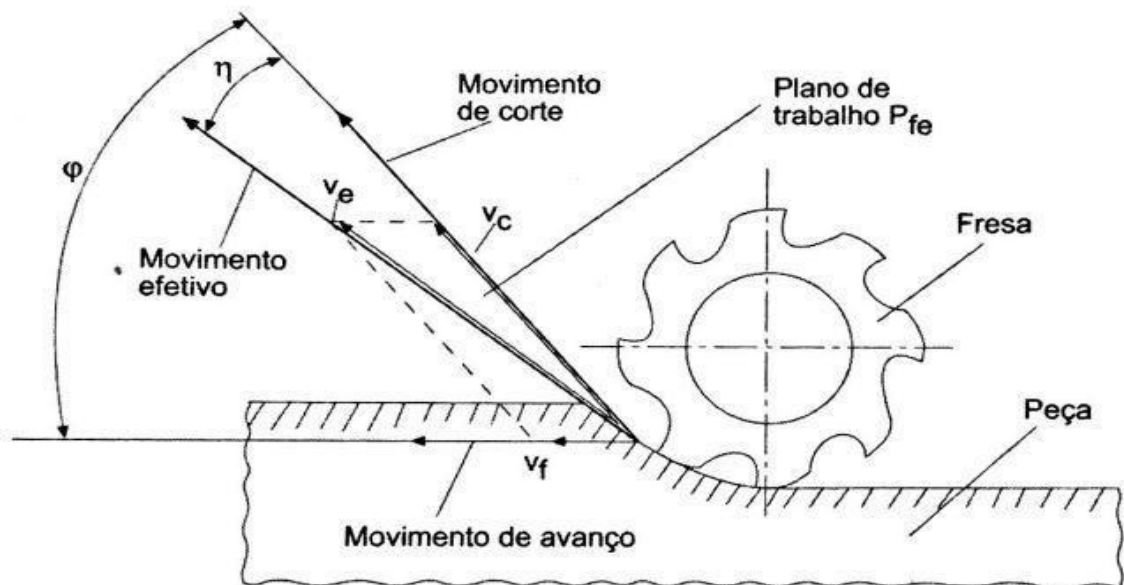
$k_{C,D,A}$ - Força de corte específica [N/mm²];

AP - Profundidade de corte no material [mm].

2.5.4.2 Fresamento

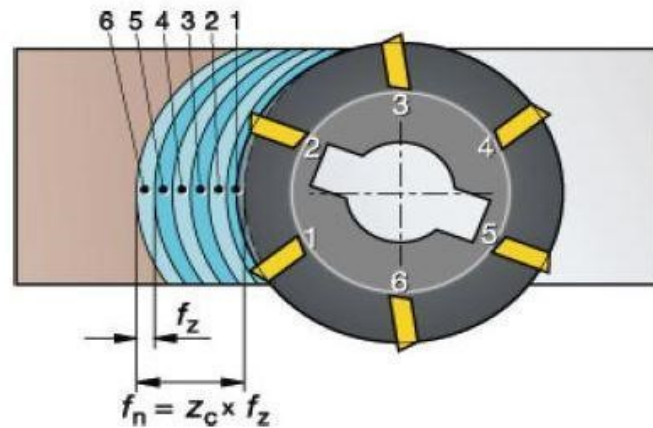
Na realização da remoção de cavaco através de fresamento é essencial calcular os valores adequados para diferentes parâmetros da máquina, como: velocidade de corte e velocidade do avanço para que seja previsível o resultado obtido, conforme SANDVIK (c2019). Na Figura 37 é possível visualizar as demonstrações das velocidades e dos ângulos. A Figura 38 demonstra a sequência de remoção de cada inserto.

Figura 37 - Direção dos movimentos de corte, de avanço e efetivo no fresamento discordante. Ângulos da direção de avanço ϕ , da direção efetiva η e Plano de trabalho P_{fe}



Fonte: Diniz et al (2008)

Figura 38 - Taxa de remoção de material por incerto



Fonte: SANDVIK (c2019)

Machado et al (2009) aponta as equações para cálculos do avanço da mesa, velocidade de corte, avanço por dente, avanço por rotação, taxa de remoção de material, potência líquida e torque.

Avanço da mesa V_f , eq. 6:

$$V_f = f_z * n * Z_{EFF} \quad (6)$$

Onde:

V_f - Avanço da mesa [m/min];

f_z - Avanço por dente [mm];

n - Velocidade do fuso [rpm];

Z_{EFF} - Número efetivo de arestas de corte na parte frontal.

Velocidade de corte V_c , eq. 7:

$$V_c = \frac{\pi * D_{cap} * n}{1000} \quad (7)$$

Onde:

V_c - Velocidade de corte [m/min]

D_{cap} - Diâmetro de corte na profundidade de corte ap [mm].

Avanço por dente f_z , eq. 8:

$$f_z = \frac{V_f}{n * Z_{EFF}} \quad (8)$$

Onde:

f_z - Avanço por dente [mm].

Avanço por rotação f_n , eq. 9:

$$f_n = \frac{V_f}{n} \quad (9)$$

Onde:

f_n - Avanço por rotação [mm/rot].

Taxa de remoção do material Q , eq. 10:

$$Q = \frac{AP * a_e * V_f}{1000} \quad (10)$$

Onde:

Q - Taxa de remoção de material [cm³/min];

AP - Profundidade de corte no material [mm];

a_e - Profundidade radial do corte [mm].

Potência líquida P_C , eq. 11:

$$P_C = \frac{AP * a_e * V_f * k_C}{60 * 10^6} \quad (11)$$

Onde:

P_C - Potência líquida [kW];

k_C - Força de corte específica [N/mm²].

Torque N_C , eq. 12:

$$N_C = \frac{P_C * 30 * 10^3}{\pi * n} \quad (12)$$

Onde:

N_C - Torque [Nm]

Tempo de usinagem T_C , eq. 13:

$$T_C = \frac{l_m}{V_f} \quad (13)$$

Onde:

T_C - Tempo de usinagem [min];

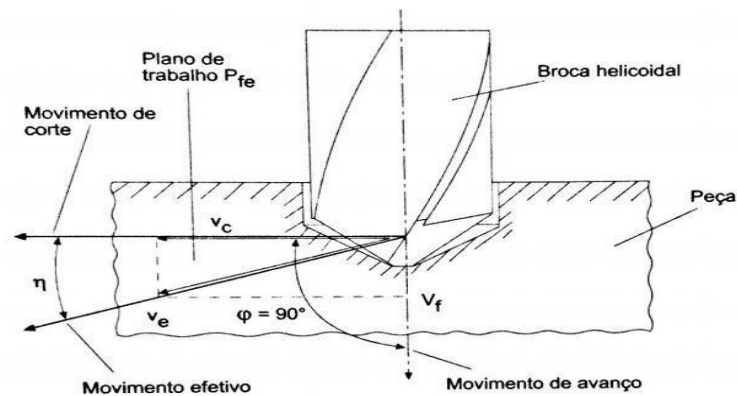
l_m - Comprimento do usinado [m].

2.5.4.3 Furação

SANDVIK (c2019) destaca que para a realização da remoção de cavaco através de furação é essencial calcular os valores adequados para diferentes

parâmetros da máquina, tais como: velocidade de corte, avanço por rotação e força de corte específica, para que seja previsível o resultado obtido. Na Figura 39 vê-se as demonstrações das velocidades e dos ângulos.

Figura 39 - Direção dos movimentos de corte, de avanço e efetivo na furação. Ângulos da direção de avanço ϕ , da direção efetiva η e Plano de trabalho P_{fe}



Fonte: Diniz et al (2008)

Machado et al (2009) fornece as equações para cálculos da velocidade de corte, taxa de penetração, avanço por rotação, taxa de remoção de material, potência líquida, torque e tempo de usinagem.

Velocidade de corte V_C , eq. 14:

$$V_C = \frac{\pi * D_C * n}{1000} \quad (14)$$

Onde:

V_C - Velocidade de corte [m/min];

D_C - Diâmetro de corte [m];

n - Velocidade do fuso [rpm].

Taxa de penetração V_f , eq. 15:

$$V_f = f_n * n \quad (15)$$

Onde:

V_f - Taxa de penetração [m/min].

Avanço por rotação f_n , eq. 16:

$$f_n = \frac{V_f}{n} \quad (16)$$

Onde:

f_n - Avanço por rotação [mm/rot].

Taxa de remoção do material Q , eq. 17:

$$Q = \frac{D_C * f_n * V_C}{4} \quad (17)$$

Onde:

Q - Taxa de remoção de material [cm³/min].

Potência líquida P_C , eq. 18:

$$P_C = \frac{f_n * V_C * D_C * k_C}{240 * 10^3} \quad (18)$$

Onde:

P_C - Potência líquida [kW];

k_C - Força de corte específica [N/mm²].

Torque N_C , eq. 19:

$$M_C = \frac{P_C * 30 * 10^3}{n * \pi} \quad (19)$$

Onde:

N_C - Torque [Nm].

Tempo de usinagem T_C , eq. 20:

$$T_C = \frac{l_m}{V_f} \quad (20)$$

Onde:

T_C - Tempo de usinagem [min]

l_m - Comprimento do usinado [m].

2.5.4.4 Fresamento concordante, fresamento discordante, fresamento frontal e suas peculiaridades

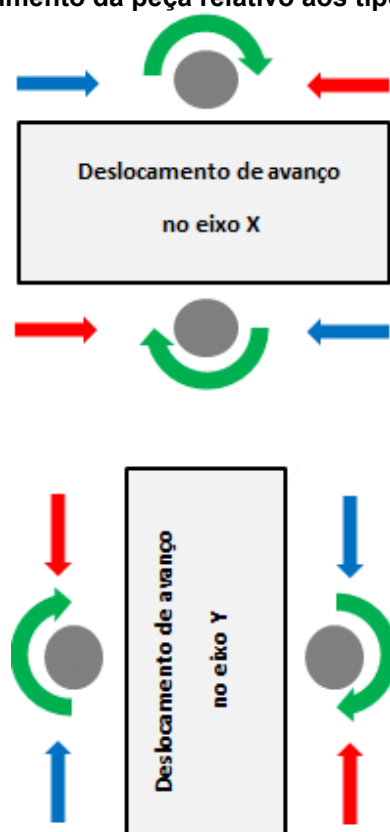
A Figura 40, foi adaptada a partir do artigo de Warfield (2018) e servirá para ilustrar o sentido de giro da ferramenta e comparar os movimentos da peça relativos ao fresamento concordante, discordante e frontal.

No fresamento periférico concordante tanto o sentido de giro da ferramenta (representado pela seta verde), quanto o sentido de avanço da peça (representado pela seta vermelha) se combinam, numa orientação aproximada, criando a tendência de a ferramenta tracionar a peça que está sendo usinada. Habitualmente é utilizada no fresamento com máquinas CNC. Neste caso, a formação do cavaco se inicia com

a maior espessura e termina com a espessura mínima, além de os cavacos serem projetados para longe da área de trabalho. Este método reduz o desgaste das ferramentas e gera uma superfície com acabamento superficial superior, se comparado ao fresamento discordante. No sistema de usinagem concordante, a forma como são fixadas as peças pode ser simplificada, uma vez que gera menos vibrações e até mesmo demanda de menos potência do equipamento.

Na operação de fresamento periférica discordante ocorre o oposto. Ainda na Figura 40, está ilustrado o sentido de giro da ferramenta, o qual é representado pela seta verde, que se opõe ao sentido de avanço da peça, agora representado pela seta azul. Essa estratégia de usinagem é comumente utilizada em operações de fresamento convencional, onde a formação do cavaco se dá inicialmente com a espessura mínima e conclui com a espessura máxima. Também são criadas forças ascendentes que tornam a usinagem instável, com maior vibração necessitando assim, de reforço na fixação. É requerida atenção especial quanto a remoção dos cavacos, uma vez que são projetados à frente da área de trabalho e podem interferir no acabamento superficial da peça.

Figura 40 - Movimento da peça relativo aos tipos de fresamento



Fonte: Adaptado de Warfield (2018)

No fresamento frontal, os movimentos relativos ao fresamento concordante e discordante somam-se. Uma vez que a ferramenta adentra a peça com engajamento discordante seguido de engajamento concordante.

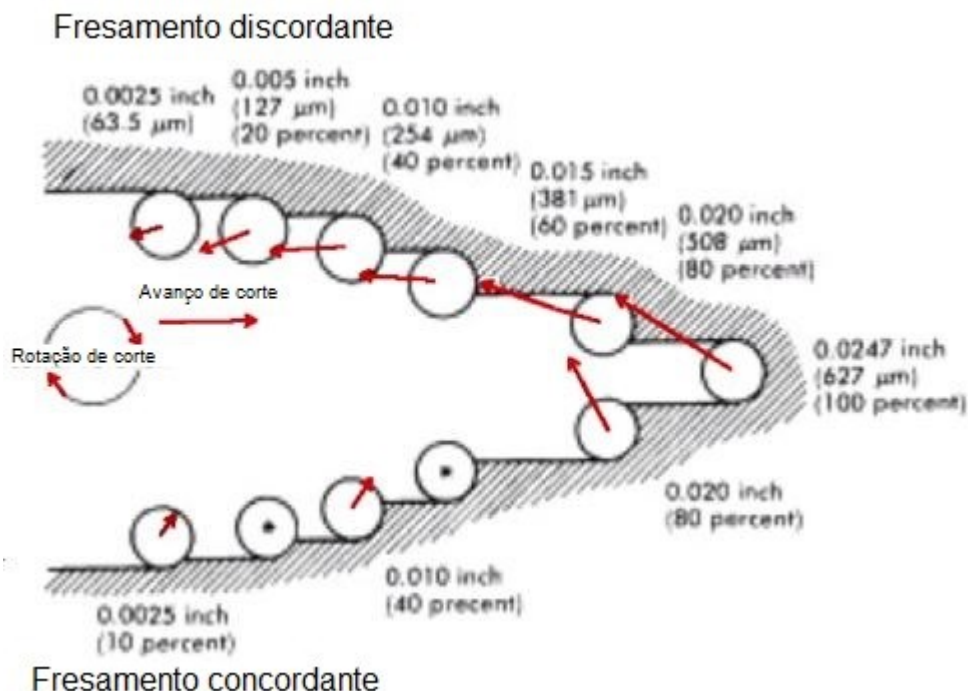
Warfield (2018) destaca ainda a orientação da ABTools, fabricante de ferramentas de corte, quanto à aplicação das ferramentas em ocasiões distintas. Caso o engajamento da ferramenta seja inferior a metade de seu diâmetro, é adequado empregar o sentido de corte concordante. No entanto, quando o engajamento for superior a 50% e inferior a 75% do diâmetro, tanto o fresamento concordante, quanto o fresamento discordante pode ser praticado. Todavia, quando o engajamento aplicado é superior a 75% do diâmetro da ferramenta é recomendado o fresamento discordante.

Outra precaução que deve haver diz respeito a deflexão da ferramenta, tendo em vista que pode acarretar em alteração dimensional do produto usinado. Como é possível observar na Figura 41, adaptada de Warfield (2018), na parte superior está representado o fresamento discordante, ao centro tem-se o fresamento frontal e na parte inferior apresenta-se o fresamento concordante. Neste exemplo é avaliada a variação dimensional da peça usinada em consequência da alteração do engajamento da ferramenta. As setas indicam a intensidade e a orientação da deflexão causada. Os valores apontam a profundidade de corte em polegadas. Enquanto que, entre parênteses, está relacionada a taxa de penetração da ferramenta.

Neste experimento foi utilizada uma fresa com diâmetro de 0,62mm (0,0247 polegadas). Profundidade axial igual a 1,016mm (0,040 polegadas). Taxa de avanço de 5,5 μm (0,00022 polegadas). E, a escala da força de 25,4mm (1 polegada) como sendo equivalente a 1PRT.

Conforme ilustrado na Figura 41, adaptada de Warfield (2018), percebe-se padrões diferentes da deflexão da ferramenta se levado em conta os diferentes movimentos de fresamento. Sempre que avaliado o fresamento discordante, verifica-se a tendência de a flexão da ferramenta ser paralela ao movimento da peça e com maior intensidade da força de corte. Ao passo que no movimento de fresamento concordante as intensidades das forças de corte são menores e apontam em direção perpendicular ao movimento da peça e, conseqüentemente, possibilita maior variação dimensional da peça usinada.

Figura 41 - Forças de flexão exercida nos diversos tipos de fresamento



Fonte: Adaptado de Warfield (2018)

2.5.5 Tolerâncias Dimensionais Relativas ao Suporte de Ferramental Utilizado

A correta seleção do conjunto de ferramentas facilita a obtenção de produtos dentro da tolerância dimensional adequada ao projeto. Um exemplo de variações dimensionais que uma ferramenta apresenta pode ser observado em um vídeo, onde o fabricante de ferramentas REGO-FIX Tool Corp (2019) faz uma comparação entre sistemas similares de fixação de ferramentas e destaca a Leitura Total do Indicador (TIR - *Total Indicator Reading*) fazendo o apontamento da diferença entre as medidas máximas e mínimas de medidas dimensionais.

As Figura 42 e 43 indicam exemplos referentes ao modelo de suporte Rego-Fix ER (sistema porta ferramentas), com medições mínima de -0,3 micrômetros e máxima de 3,2 micrômetros. Realizadas para analisar a concentricidade da ferramenta com o respectivo suporte de ferramental, totalizando uma variação dimensional de 3,5 micrômetros além de uma tabela comparativa entre diversos sistemas de fixação de ferramentas que podem ser indexados ao sistema ER40, de acordo com o que é apontado na Figura 44.

Figura 42 - Medida mínima apontada



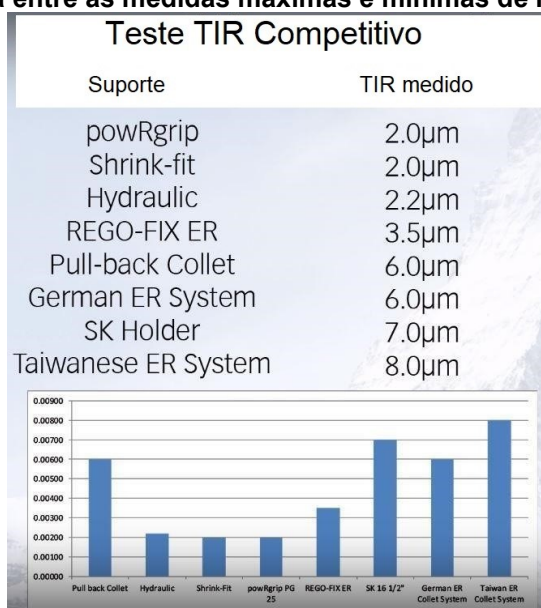
Fonte: REGO-FIX (2019)

Figura 43 - Medida máxima apontada



Fonte: REGO-FIX (2019)

Figura 44 - Diferença entre as medidas máximas e mínimas de medidas dimensionais



Fonte: Adaptado de REGO-FIX (2019)

A rigidez do sistema de fixação, visível na Figura 45, também implica no processo produtivo, uma vez que influencia nos parâmetros de usinagem executados. Essa rigidez pode ser facilmente medida com o auxílio de um calibrador de torquímetro somado a um sistema amplificador de torque. A REGO-FIX Tool Corp também disponibiliza um vídeo demonstrativo de como é verificada a rigidez da fixação das ferramentas.

Figura 45 - Teste de torque ao qual a ferramenta desliza



Fonte: REGO-FIX (2019)

Na Figura 46, há um comparativo de rigidez resultante de diferentes sistemas de fixação de ferramenta.

Figura 46 - Comparativo do torque ao qual diferentes ferramentas deslizam



Fonte: Adaptado de REGO-FIX (2019)

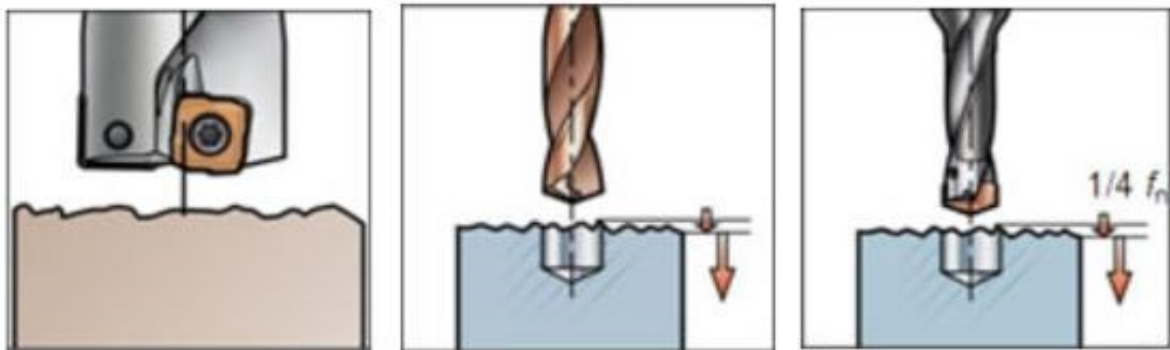
2.5.6 Sequências dos Processos de Usinagem e suas Implicações

Um fator importante para a usinagem é definir as sequências de processos de usinagem em uma peça, dependendo da sequência adotada suas implicações vinculam fatores como fixação, acabamento, tolerância dimensional e desgaste de ferramentas.

Um exemplo pode ser visto na furação, onde se requer uma atenção especial ao entrar com uma broca em superfícies irregulares, furos pré-usinados e furação cruzada.

Para furos em superfícies irregulares, segundo a SANDVIK (c2019), pode-se danificar a broca quando penetrar na superfície ou ao sair do furo. A Figura 47 mostra a superfície irregular e diferentes tipos de brocas para a operação de furação. As brocas nesta figura são: brocas com pastilhas intercambiáveis, brocas inteiriças de metal duro e brocas com ponta intercambiável. Uma solução apresentada pode ser reduzir o avanço e outra é, havendo sobremetal, entrar com uma fresadora para facear a superfície fugindo assim do problema.

Figura 47 - Exemplo de superfície irregular com diferentes tipos de brocas para furação



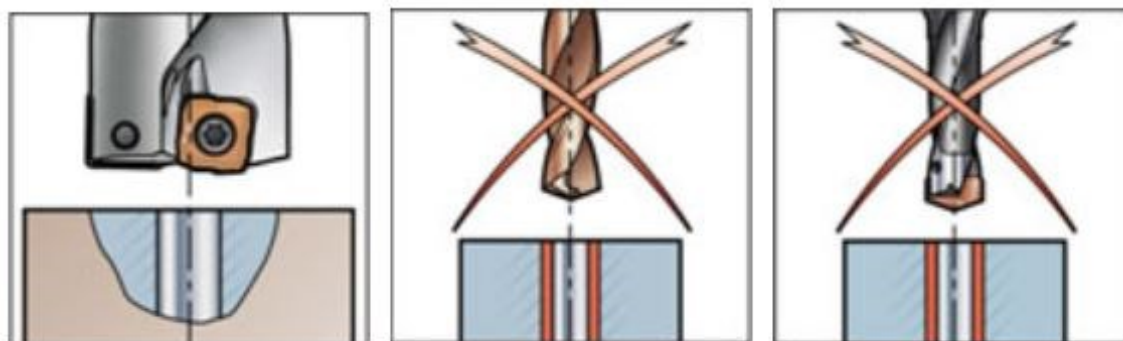
Fonte: SANDVIK (c2019)

Em furos pré-usinados, segundo a SANDVIK (c2019), recomenda-se brocas com pastilhas intercambiáveis. Porém o furo pré-usinado não deve ser maior que $D_C/4$. Para manter o equilíbrio da força de corte, é possível também usar uma broca de três canais para aumentar o pré-furo. Não se recomenda o uso de brocas inteiriças de metal duro e com ponta intercambiável, pois há risco de lascamento da aresta de corte. A Figura 48 mostra os diferentes tipos de entrada na peça.

Para furação cruzada, segundo a SANDVIK (c2019), tem-se os seguintes problemas: escoamento de cavacos, rebarbas nos cruzamentos e maior desgaste na

ferramenta. É recomendado reduzir o avanço quando a broca cruza o furo existente e, para furos com diferentes diâmetros, faz-se primeiro o de maior diâmetro, assim tende-se a reduzir as rebarbas.

Figura 48 - Exemplo de pré-furo para diferentes tipos de brocas



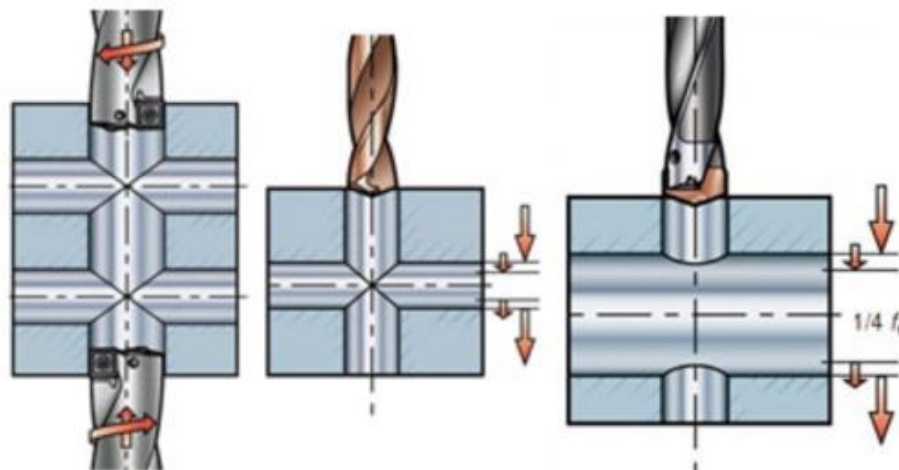
Fonte: SANDVIK (c2019)

Quanto ao tipo de brocas, as com pastilhas intercambiáveis ao cruzar um furo com diâmetro maior que $\frac{1}{4}$ do diâmetro da broca, reduza o avanço a $\frac{1}{4}$ da faixa normal. Para as inteiriças de metal duro reduzir o avanço a $\frac{1}{4}$ da faixa normal quando cruzar o furo existente. Enquanto que para as com ponta intercambiável o diâmetro mínimo no furo a ser cruzado é de $2 * D_c$ a fim de assegurar que o centro da ponta entre na peça primeiro, deve-se usar broca o mais curta possível, reduzir o avanço em $\frac{1}{4}$ durante a entrada e saída do furo cruzado. A Figura 49 mostra os diferentes tipos de entrada na peça.

Outro processo que requer atenção é o faceamento, segundo SANDVIK (c2019), deve-se evitar fresamento sobre interrupções, pois estes cortes intermitentes exigem muito das arestas de corte da ferramenta causando entradas múltiplas e saídas desfavoráveis. Uma alternativa é reduzir o avanço em 50% sobre a área da peça contendo interrupções, para manter o cavaco fino ao sair do corte. A Figura 50 mostra a entrada da ferramenta na peça.

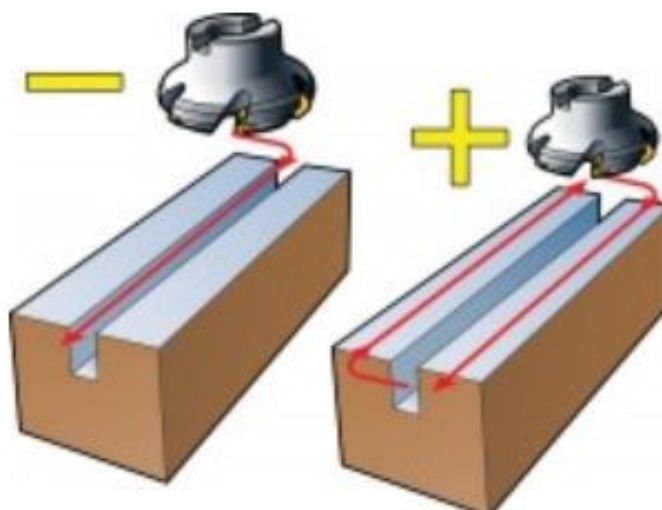
Já para fresamento deve-se programar a fresa para que tenha uma entrada suave na peça. Evitar entradas e saídas frequentes da peça, pois isso pode causar tensões desfavoráveis na aresta ou tendência a trepidação. Ao mudar de direção, inclua um percurso da ferramenta radial pequena, assim mantém a fresa em movimento e em contato constante, SANDVIK (c2019).

Figura 49 - Exemplo de furo cruzado para diferentes tipos de brocas



Fonte: SANDVIK (c2019)

Figura 50 - Exemplo de entrada da ferramenta na peça



Fonte: SANDVIK (c2019)

2.5.7 Definição do Programa de Execução do CNC

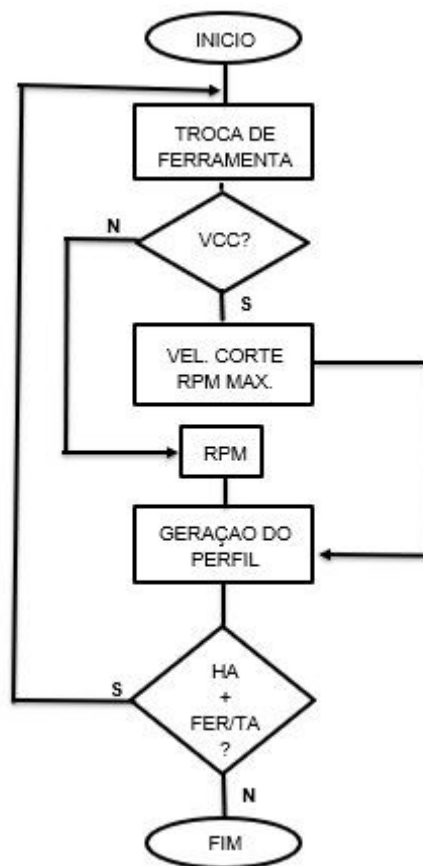
A definição do programa CNC considera o conjunto de instruções detalhadas que, formadas por caracteres e instruções, geram os blocos. Estes blocos são lidos, interpretados e executados pela máquina. Assim, ao término da execução de cada bloco a máquina segue para o próximo, isto se repete até a conclusão do programa CNC, AZEVEDO (2017).

Ciente das limitações do projeto, das propriedades de usinagem do material, das características da máquina-ferramenta, selecionadas as ferramentas e estabelecidos os parâmetros de corte, procede-se com a programação da usinagem.

A principal diferença do torneamento em relação ao fresamento e furação é quanto ao controle da velocidade de corte, uma vez que no torno é possível definir uma velocidade de corte constante ou então fixar a rotação e, conseqüentemente, a velocidade de corte passa a ser em função da rotação e do raio usinado. Estas características podem ser vistas na Figura 51 e na Figura 52, obtidas do Manual de Programação e Operação do fabricante Industrias Romi S.A.

Na Figura 51, há a demonstração de um fluxograma de programação de torno, assim na sequência serão apresentados os passos do fluxograma:

Figura 51 - Fluxograma de programação de torno



Fonte: ROMI [2010 - ?]

- Início do programa tem-se o número do programa e o bloco de segurança onde é determinado o plano de trabalho, coordenadas absoluta ou incremental é estabelecido o avanço em mm/min ou mm/rot;
- Troca de ferramenta, define a disposição da mesma na torre de modo que não haja interferência entre si e com o restante da

máquina, o zero peça e o ponto de troca da ferramenta, também é indicado o número da ferramenta e o corretor da ferramenta.

- Velocidade de Corte Constante, define a velocidade de corte em m/min, após é estabelecida a máxima rotação e liga o eixo-árvore em sentido horário ou anti-horário;
- RPM, neste caso mantém-se a rotação constante e conseqüentemente a velocidade de corte variável, liga o eixo-árvore em sentido horário ou anti-horário;
- Geração do perfil, na geração do perfil inicia-se com a aproximação da ferramenta com segurança, define-se o contorno pretendido da peça através de ciclos simples ou automático em função da capacidade do programador, após faz-se o afastamento da ferramenta até um ponto de parada;
- Precisa mais ferramenta, se sim retorna para a troca de ferramenta, se não vai para o fim do programa;
- Fim, define o zero-peça e ponto de troca de ferramenta, fim do programa ou em caso sub-rotinas reiniciar o programa;

Na Figura 52 encontra-se um fluxograma de programação de fresa e furação, também será apresentado os passos do fluxograma:

- Início do programa tem-se o número do programa e o bloco de segurança onde é determinado o plano de trabalho, coordenadas absoluta ou incremental e estabelecido o avanço em mm/min ou mm/rot;
- Troca de ferramenta, define a disposição da mesma no magazine de modo que não haja interferência com o restante da máquina, o zero peça, também é indicado o número da ferramenta e o corretor da ferramenta.
- RPM, determina-se a rotação, como a ferramenta é rotativa conseqüentemente a velocidade de corte constante, liga o eixo-árvore em sentido horário ou anti-horário;
- Geração do perfil, na geração do perfil inicia-se com a aproximação da ferramenta com segurança, define-se o contorno pretendido da

peça e avalia-se a necessidade de compensação de raio da ferramenta, movimento de corte se concordante ou discordante e profundidade de corte, também o modo de entrada da ferramenta no material, após faz-se o afastamento da ferramenta até um ponto de parada;

Figura 52 - Fluxograma de programação de fresa e furação



Fonte: ROMI (2015)

- Precisa mais ferramenta, se sim retorna para a troca de ferramenta, se não vai para o fim do programa;
- Fim, recua o eixo-árvore próximo ao ponto de troca de ferramenta, fim do programa ou em caso sub-rotinas reiniciar o programa;

2.5.8 Estratégias de Fixação da Peça

A determinação do modo como é feita a fixação da peça junto à máquina para efetuar a usinagem, varia em função dos acessórios de fixação disponíveis, os quais devem estar em harmonia com as estratégias de usinagem pretendidas. Muitas

vezes é necessário agregar vários modelos distintos de elementos fixadores para concretizar a fixação da peça, conforme Figura 23 e Figura 24, pois a forma de fixação pode gerar interferência no processo de usinagem, como exemplo, usinar os elementos de fixação ou colidir e quebrar a ferramenta.

As operações de torneamento servem para exemplificar as diferentes estratégias de fixação da peça, pois, rotineiramente, são utilizadas placas de três ou quatro castanhas para sujeitar a peça para a operação de usinagem. Para peças com geometria complexa as castanhas podem ser conformadas para acomodar a geometria do produto, elaborando assim dispositivos dedicados e adaptados junto à placa do torno, como observado na Figura 53.

Figura 53 - Exemplo de castanhas especiais para torneamento



Fonte: Valente Castanhas

Os centros de usinagem e fresadoras que possuem diversos eixos de acionamento apresentam maior complexidade no modo de fixação. Sendo em alguns casos requerida a aplicação de sistemas modulares para a fixação direta da peça com a utilização de bases, extensores, adaptadores e estabilizadores com a intenção de aumentar a eficiência no processo de usinagem, permitindo acessibilidade da ferramenta aos 5 lados da peça, reduzindo a interferência devida ao modo de fixação.

A Figura 54 traz um exemplo no qual a peça a ser usinada deve estar suspensa para que não ocorra interferência do modo de fixação com a usinagem, evitando assim colisões entre a ferramenta e a mesa da máquina ferramenta.

Figura 54 - Sistema modular de fixação manual



Fonte: CIMM (2019)

2.6 ANÁLISE E CONDIÇÕES ECONÔMICAS

Neste item será discorrido sobre condições econômicas de usinagem e também sobre análise de tomada de decisão utilizando o método do MVP (*Minimum Viable Product* no português Produto Mínimo Viável).

2.6.1 Análise e Condições Econômicas de Usinagem

Ferraresi (1977) as condições econômicas da usinagem são cada vez mais analisadas dentro da indústria com o intuito de reduzir os custos de produção e tornar a empresa competitiva. Os primeiros estudos voltados a esta questão foram no início do século XX, por Taylor nos E.U.A. e Schlesinger na Alemanha. Já Leyensetter (1933) *apud* Ferraresi (1977, p. 646), acredita que “a velocidade econômica de corte é aquela na qual é usinado o máximo volume de cavaco, num determinado tempo total de usinagem”. Porém atualmente para Ferraresi (1977, p. 646), “define-se a velocidade econômica de corte como aquela na qual o custo de fabricação em uma indústria é mínimo”, nesse custo mínimo usa-se as despesas diretas e indiretas.

Para o estudo foi admitido que a escolha do ferramental é adequada, um bom sistema de fixação e uma boa sequência de usinagem.

2.6.1.1 Ciclo e Tempos de Usinagem

Para um ciclo de usinagem de uma peça que pertence a um lote de Z peças, segundo Ferraresi (1977), constitui dos seguintes fatores:

- a) Colocação e fixação da peça em estado bruto ou semiacabada na máquina-ferramenta;
- b) Aproximação ou posicionamento da ferramenta para o início do corte;
- c) Corte propriamente dito;
- d) Afastamento da ferramenta;
- e) Inspeção (se necessária) e retirada da peça usinada;

Além destas fases, tornam parte indireta no ciclo de usinagem as seguintes:

- f) Preparo da máquina-ferramenta para a execução de um lote com Z peças, que só ocorre no início da mesma.
- g) Remoção da ferramenta do seu suporte, para afiação ou substituição;
- h) Afiação da ferramenta;
- i) Recolocação e ajustagem da ferramenta no seu suporte.

As fases b , c , d , g , h e i podem ser subdivididas em fases parciais, quando se tratar de máquina operatriz com várias ferramentas. Para a redução de tempo da fase f (preparo de máquina), pode ser feita por meio de folhas de métodos (folha de processo), dispositivos de fixação dedicados, máquina CNC. A redução do custo correspondente às fases b , d e e , podem ser obtidas por meio de dispositivos especiais, controles de fácil manejo, aproximação rápida da ferramenta, mudança rápida de rotações e avanços. A redução de custo das fases a e e pode ser conseguida através de dispositivos de colocação, fixação e retirada da peça, FERRARESI (1977).

Assim, Ferraresi (1977) destaca que para facilitar o estudo analítico, será admitido inicialmente o caso de máquina operatriz com uma única ferramenta de corte. Os tempos decorrentes entre as fases de operação a a i , são convencionadas da forma:

- t_t - Tempo total de confecção por peça;
- t_c - Tempo de corte propriamente dito, fase c ;
- t_s - Tempo secundário de usinagem, fases a e e ;

t_a - Tempo de aproximação e afastamento da ferramenta, fases b e d ;

t_p - Tempo de preparo da máquina, fase f ;

t_{ft} - Tempo de troca da ferramenta, fases g e i ;

t_{fa} - Tempo de afiação da ferramenta, fase h ;

Assim pode-se montar a equação do tempo total de confecção por peça, equação 21, para um lote de Z peças, será:

$$t_t = t_c + t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} + \frac{n_t}{Z} * [t_{ft} + t_{fa}] \quad (21)$$

Onde:

n_t - é o número de trocas ou afiação da ferramenta.

Como o propósito deste trabalho é estudo e modo de fixação de peças, as fases de estudo para minimização de custo são: a , b , d , e e f , pois tem seu propósito diretamente ligado ao dispositivo de fixação adotado para confecção das peças, quanto mais simples o sistema de fixação, menor o tempo para executar as fases do processo. Quanto a equação 21, as variáveis de tempo que competem ao estudo são t_s , t_a e t_p . Assim quanto menor o tempo para o operador realizar o processo de preparo da máquina, deslocamentos da ferramenta e troca da peça, menor será seu custo, baixando assim o custo total da peça.

Conforme Ferraresi (1977), a equação 21 pode ser simplificada de forma a segregar os tempos produtivos e de ajustes (improdutivos) de produção, equação 22.

$$t_t = t_c + \left[t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} \right] + \left(\frac{t_c}{T} - \frac{1}{Z} \right) * [t_{ft} + t_{fa}] \quad (22)$$

Onde:

T - Vida útil da ferramenta.

Assim a equação 22, pode ser reescrita da seguinte conforme equação 23:

$$t_t = t_c + t_1 + t_2 \quad (23)$$

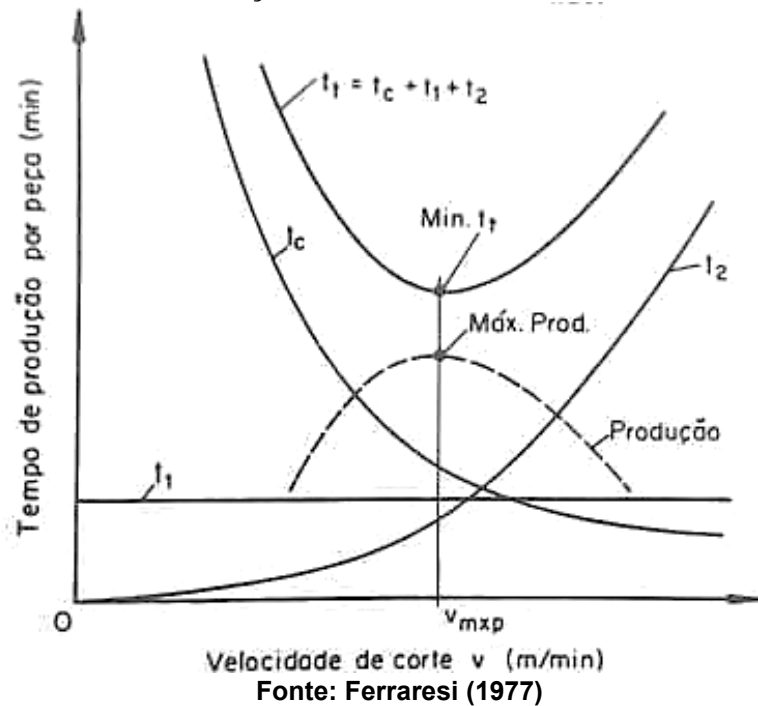
Onde:

t_1 - Corresponde às fases t_s , t_a e t_p ;

t_2 - Corresponde ao processo de troca e afiação de ferramentas.

Uma forma mais simples para visualizar e interpretar estas variáveis que influenciam diretamente no tempo total de usinagem é expressado na Figura 55, onde o tempo de produção por peça é estabelecido em função da velocidade de corte, percebe-se que o t_1 é constante no decorrer do processo.

Figura 55 - Representação das diferentes parcelas do tempo total de fabricação por peça, em função da velocidade de corte

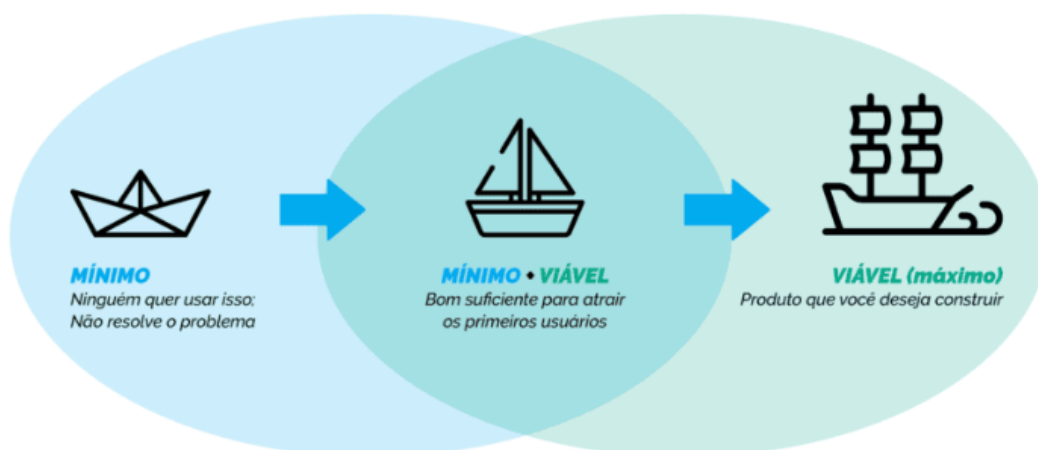


2.6.2 Produto Mínimo Viável

Conforme Dinamize (2020), MVP (*Minimum Viable Product*) ou em português Produto Mínimo Viável trata-se de uma versão simplificada de um protótipo de uma ideia gastando o mínimo de recursos necessários e disponibilizando a um grupo de usuários, assim a partir deste protótipo levantar *feedbacks* para possíveis melhorias e só após isso realmente lançar o produto no mercado em escala comercial.

A Figura 56 mostra o conceito do MVP, onde o mínimo no primeiro barquinho ninguém se submeter a utilizar pois não resolve o problema. Já no segundo barquinho é o mínimo viável onde o problema é resolvido de forma enxuta atendendo os requisitos do usuário. E no terceiro barquinho o problema é resolvido com o máximo de desempenho é onde se quer chegar com a solução do problema, neste caso possivelmente já se tenha sido feito um protótipo mínimo viável e levantado *feedbacks* dos usuários para desenvolver a versão final do produto.

Figura 56 - Explicação do MVP



Fonte: Pereira (2019)

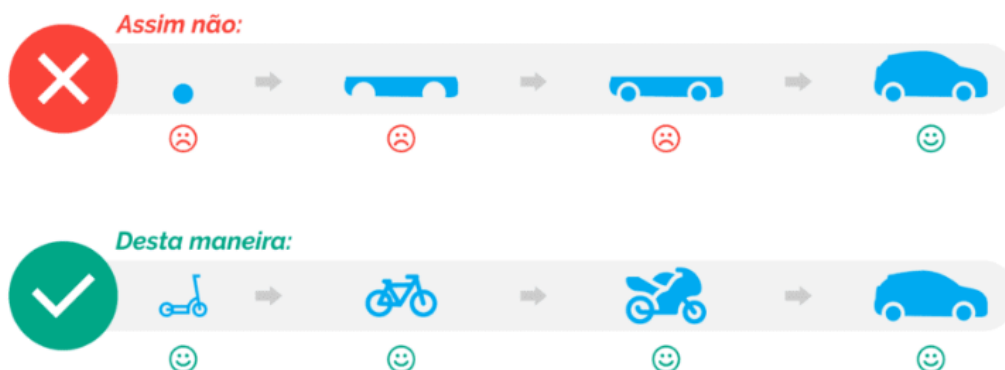
Pereira (2019) afirma que para a implantação de um excelente MVP, deve-se seguir alguns passos essenciais, que são:

1. Identifique seus usuários;
2. Ofereça uma solução ao usuário;
3. Garanta o *feedback*;
4. Pense como um empreendedor;
5. Lance o produto final – ou não.

Na Figura 57 pode-se ver como construir um MVP de maneira errada e também como fazer de maneira certa.

Figura 57 - Construindo um MVP

COMO CONSTRUIR UM PRODUTO MÍNIMO VIÁVEL

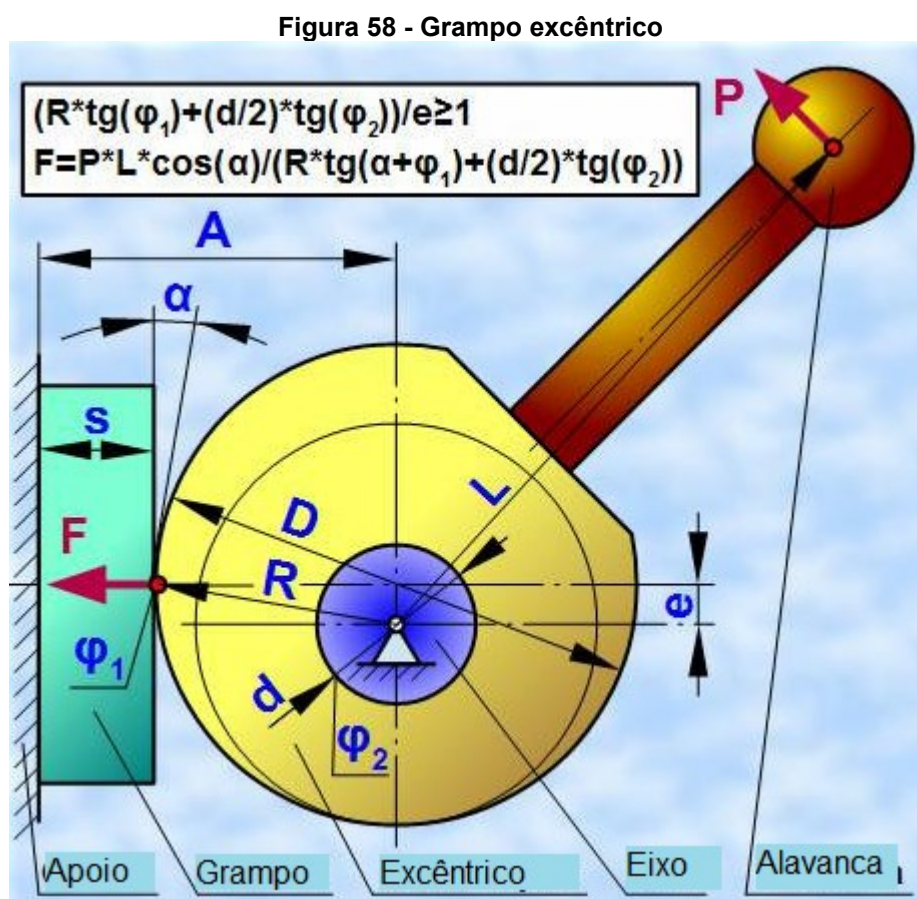


Fonte: Pereira (2019)

2.7 DIMENSIONAMENTO DE GRAMPO EXCÊNTRICO

Para o dimensionamento do grampo excêntrico, tem-se a norma GOST 12191-66, onde estão preestabelecidas as principais dimensões de diversos tamanhos de grampos para diferentes aplicações. Também menciona o tipo de material e a dureza superficial que se deve atender.

A Figura 58 ilustra o grampo excêntrico, com as forças, ângulos e medidas, para as forças envolvidas e condição de auto-travamento, foi utilizado as equações a seguir, conforme Vorobyev (2016).



Cálculo do ângulo φ_1 , eq. 21:

$$\varphi_1 = \tan^{-1} f_1 \quad (24)$$

Onde:

f_1 – Atrito entre grampo e excêntrico;

Cálculo do ângulo φ_2 , eq. 22:

$$\varphi_2 = \tan^{-1} f_2 \quad (25)$$

Onde:

f_2 – Atrito entre eixo e excêntrico;

Cálculo do ângulo α , eq. 23:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{2 * e}{D} \right) \quad (26)$$

Onde:

e - Excentricidade;

D - Diâmetro do excêntrico;

Vetor do raio R , eq. 24:

$$R = \frac{D}{2 * \cos \alpha} \quad (27)$$

Distância do eixo ao suporte A , eq. 25:

$$A = s + R * \cos \alpha \quad (28)$$

Onde:

d - Diâmetro do eixo;

Condição para auto-travamento, eq. 26:

$$e \leq R * f_1 + \frac{d}{2} * f_2 \quad (29)$$

Onde:

d - Espessura do grampo;

Força de aperto F , eq. 27:

$$F = \frac{P * L * \cos \alpha}{R * \tan(\alpha + \varphi_1)} + \frac{d}{2} * \tan \varphi_2 \quad (30)$$

Onde:

P - Força de pressão;

L - Comprimento da alavanca;

Coeficiente de transferência de força k , eq. 28:

$$k = \frac{F}{P} \quad (31)$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo, foi estabelecida uma peça modelo com formas geométricas complexas que será denominada corpo de prova. Levando em conta que essas peças necessitam ser manufaturadas, também será indicada a máquina-ferramenta compatível ao processo de usinagem, bem como demais ferramentas utilizadas.

As operações de usinagem que necessitam ser realizadas no corpo de prova são denominadas em operação 10 e operação 20. A operação 10 é um fresamento para faceamento da superfície superior da peça, em seguida será realizada uma interpolação circular que resultará em um furo de 40 mm de diâmetros e 95 mm de profundidade. Já a operação 20 se caracteriza por um furo passante na lateral do corpo de prova com diâmetro de 11,5 mm. O anexo A, apresenta o desenho técnico do corpo de prova. Vale destacar que o sistema proposto visa realizar as duas operações de usinagem em sequência, no mesmo ciclo de trabalho.

A tomada de decisão se embasa nos métodos sugeridos por Rosenfeld, serão esclarecidas as funções globais e após desenvolvida uma matriz morfológica para as soluções necessárias.

3.1 MATERIAIS

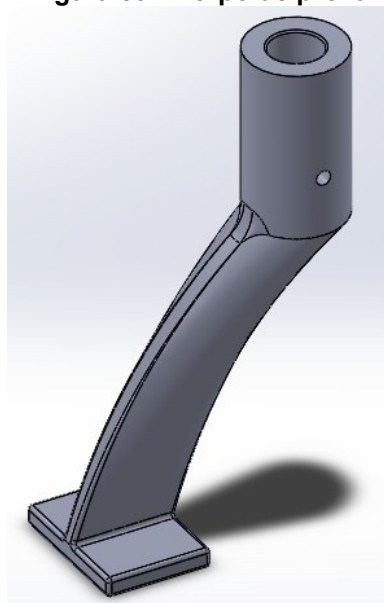
Para a proposta deste dispositivo será utilizado o programa CAD *solidworks* versão 2015 para esboçar os modelos e sugere-se os seguintes recursos para a confecção:

- Corpo de prova;
- Máquina CNC;
- Dispositivo de fixação (modelo);
- Ferramentas para construção do dispositivo;
- Ferramentas para usinagem;
- Instrumentos de medição.

3.1.1 Corpo de Prova

Na Figura 59 apresenta-se o corpo de prova a ser usinado. O material sugerido é ferro fundido nodular D5506 e suas propriedades podem ser visualizadas na Tabela 1.

Figura 59 - Corpo de prova



Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do ferro fundido nodular C5506

Especificação N°	Classe	Propriedades Mecânicas			
		Dureza Brinell	Resistência à tração (MPa)	Limite escoamento (MPa)	Alongamento em 50mm (%)
SAE J434	D 5506	187-255	550	375	6

Fonte: Infomet (2018)

3.1.2 Máquina CNC

A máquina compatível para o ensaio, como exemplo a VEKER - modelo CVK1000D com comando *Siemens*, Figura 60, com as seguintes especificações:

- Curso de deslocamento em X: 1000 mm;
- Curso de deslocamento em Y: 500 mm;
- Curso de deslocamento em Z: 500 mm;
- Dimensões de mesa: 1200 X 500 mm;
- Peso admissível sobre a mesa: 700kg;

- Magazine para: 20 ferramentas.

Figura 60 - Máquina CNC VEKER - modelo CVK1000D



Fonte: Autoria própria (2019)

3.1.3 Dispositivo de Fixação

Para a confecção do dispositivo de fixação serão empregados os seguintes materiais:

- Esquadro;
- *Blank*;
- Parafusos;
- Grampos.

3.1.3.1 Esquadro

É um elemento para fixação de peças ou acessórios, tem por finalidade a fixação no plano vertical, uma vez que a mesa da máquina só permite uma fixação no plano horizontal.

3.1.3.2 Blank

O *blank* disponível, em material de ferro fundido cinzento, tem dimensões compatíveis à fixação no esquadro, o mesmo deve ser usinado no formato do corpo de prova para melhor fixação e acomodação da peça.

3.1.3.3 Parafusos

Os parafusos disponíveis são de diversos tamanhos, com rosca métrica e serão empregados na fixação do esquadro, do *blank* e dos acessórios.

3.1.3.4 Grampo Convencional ou Pneumático

Os grampos disponíveis a serem empregados dependerão do modo de acionamento: que pode ser mecânico (grampos de aperto por parafusos ou acionamento por alavanca) e pneumático.

3.1.5 Ferramentas para Usinagem

Este tópico pode ser dividido em duas partes, as ferramentas para usinagem do *blank* e as ferramentas para a usinagem do corpo de prova.

Para as ferramentas para usinagem do *blank* recomenda-se: cabeçote de fresa para faceamento; fresa topo toroidal para fazer os rebaixos no formato aproximado do corpo de prova; fresa topo esférica para acabamento; brocas e macho máquina.

Com relação às ferramentas para a usinagem do corpo de prova recomenda-se: cabeçote de fresa para faceamento, broca e macho máquina.

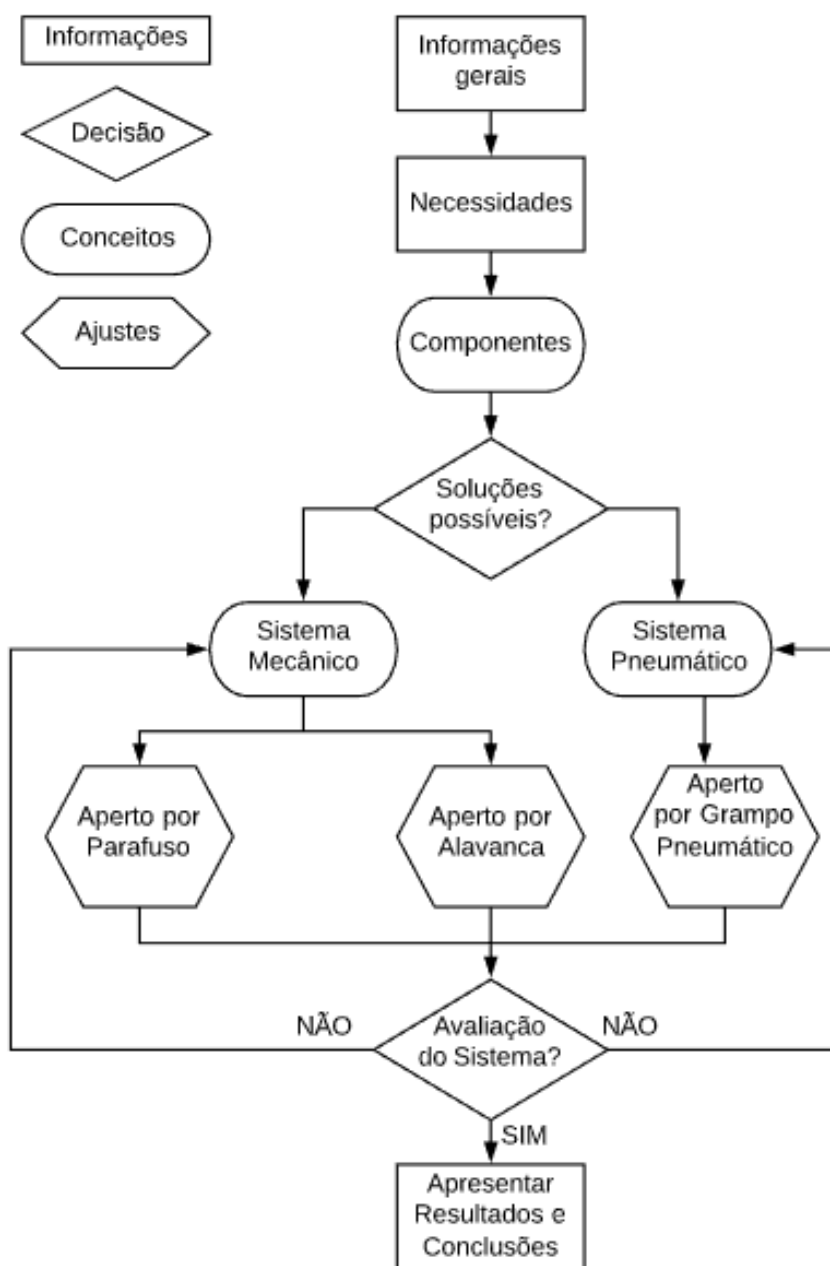
3.1.6 Instrumentos de Medição

Os instrumentos de medição que serão empregados no controle de qualidade dos processos são: trena, paquímetro, micrômetro, súbito comparador de diâmetro interno e relógio apalpador.

3.2 MÉTODOS

Para os métodos de concepção do dispositivo foi elaborado um fluxograma, conforme Figura 61. Para a criação de soluções não há restrições, porém deve-se seguir as limitações do produto Rosenfeld et al. (2006).

Figura 61 - Fluxograma do desenvolvimento



Fonte: Autoria própria (2019)

3.2.1 Desdobramento das Fases Propostas

As etapas propostas para o desenvolvimento do projeto do dispositivo são compostas dos seguintes elementos:

a) **Informações gerais**

Levantamento de todos os processos envolvidos, levando em consideração suas limitações e características.

b) **Necessidades**

A necessidade de fixação com rigidez e estabilidade faz com que se agregue mais de um conjunto de sistemas de fixação, porém necessita-se que seja de fácil manipulação pelo operador.

c) Componentes

Alguns componentes podem ser empregados de modo a auxiliar o posicionamento da peça, como no caso do esquadro e do *blank*.

d) Soluções possíveis

No caso específico de aperto e sujeição da peça, diferentes tipos de soluções podem ser empregados. Sendo aplicável grampos funcionais, pinos, cames, cunhas, rasgos rabo-de-andorinha e semelhantes.

e) Sistemas

Pode-se optar por sistema mecânico, sistema pneumático ou hidráulico.

f) Método em função do sistema

O sistema mecânico pode ser derivado em acionamentos por alavanca ou por aperto de parafusos, enquanto que, no sistema pneumático/hidráulico o acionamento é através de válvula e o aperto se dá por um atuador.

g) Avaliação do sistema

O intuito desta fase é assegurar-se que o conjunto seja seguro, rígido e estável, se não for adequado faz-se ajustes ou rejeita-se (desqualifica) o sistema.

h) Apresentar resultados e conclusões

Avalia-se os resultados obtidos e pondera-se qual a solução mais adequada.

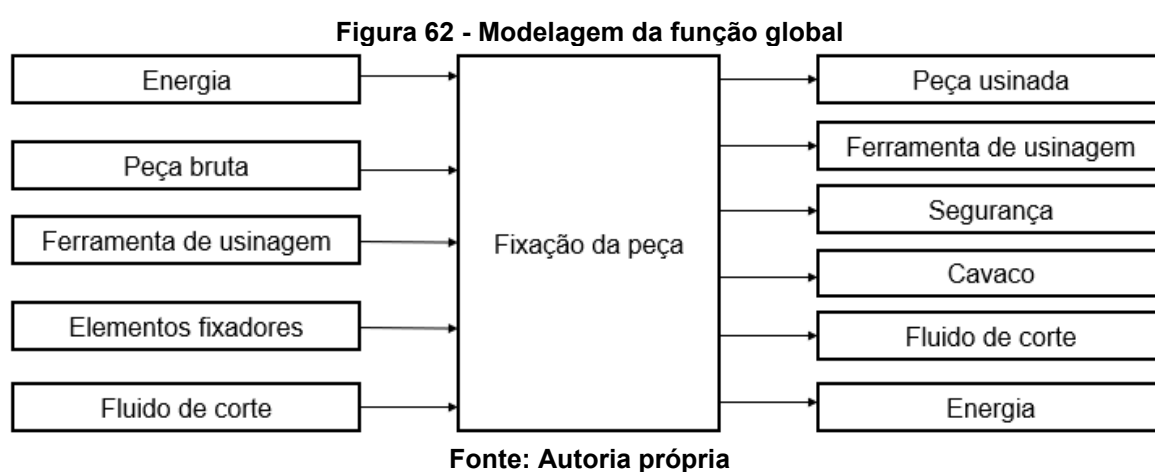
3.2.2 Desenvolvimento das Alternativas para o Projeto do Dispositivo de Fixação

Para o desenvolvimento das alternativas de solução utilizou-se como referencial o trabalho realizado por Rosenfeld et al (2006) onde consta.

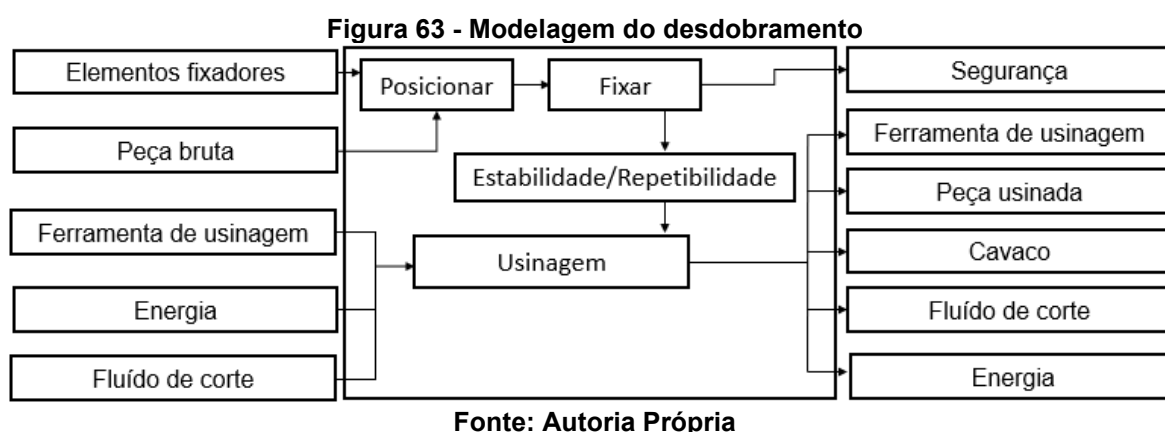
Com as alternativas de princípios de solução para as várias funções que compõem a estrutura de funções desenvolvida e selecionada para o sistema, o próximo passo em direção à elaboração de modelos de concepção é a combinação dos princípios de solução individuais para formar os princípios de solução totais para o produto. (Rosenfeld et al, p. 254, 2006)

3.2.2.1 Modelagem funcional do produto

A modelagem funcional visa identificar e analisar a função global e representar o produto desmembrando em funções principais, que sejam relacionadas a entradas e saídas desejadas, esta parte pode ser dividida em modelagem funcional e modelagem dos desdobramentos, Rosenfeld et al (2006). A função global é fixação da peça, a modelagem funcional para dispositivo de fixação está representada na Figura 62.



A modelagem dos desdobramentos pode ser vista na Figura 63, onde se estabelece parâmetros de entrada para a fixação da peça.



3.2.2.2 Matriz Morfológica

Conforme Rosenfeld et al (2006), a matriz morfológica é de importante auxílio para as tomadas de decisões, pois a mesma traz a combinação individual de

diversos princípios de solução. Ela também dispõe as funções que compõem a estrutura funcional escolhida para o produto.

Para uma matriz morfológica de qualidade deve-se elencar o maior número possível de soluções para determinado problema, assim possibilita a captura e visualização das funcionalidades necessárias do produto e explora meios de combinação para atender o resultado esperado

A partir das possíveis soluções elencadas, utilizou-se o método de escolha de solução elaborando uma matriz morfológica, onde é possível ver as soluções para etapa e assim escolher a que melhor se enquadra. Estas soluções têm restrições da compatibilidade física e geométrica entre os princípios de soluções, este método de solução é descrito por Rosenfeld et al (2006). O anexo B, mostra a matriz morfológica e suas possíveis soluções para a operação 10. O anexo C, mostra a matriz morfológica para a operação 20, levantando assim os princípios de soluções.

Para a concepção das soluções deve-se levar em consideração a compatibilidade do conjunto peça e acessórios com a máquina disponível, a produtividade almejada, a repetibilidade do processo e a segurança. Sendo elencadas duas possibilidades de soluções.

Para a primeira solução da operação 10, define-se o uso dos seguintes elementos: posicionamento vertical através de esquadro, acomodação da peça por meio de bloco em U e método de fixação por meio de sistema de came. O anexo D, ilustra essa solução.

Como segunda solução da operação 10 é estabelecido o uso dos seguintes elementos: posicionamento vertical através de esquadro, acomodação da peça por meio de bloco em V e método de fixação por aperto pneumático. A solução é ilustrada no anexo E.

Para a proposta de concepção do projeto para operação 10, optou-se pela primeira solução proposta, levando em consideração a simplicidade, facilidade de manuseio e recursos disponíveis para a obtenção do resultado pretendido.

A primeira opção utiliza um esquadro padrão, muito comum em oficinas de usinagem, devido a sua robustez irá garantir verticalidade e repetibilidade sendo compatível com a máquina disponível. É aconselhada a realização de uma adaptação para a inserção de uma chaveta em sua base, com dimensões semelhantes às das ranhuras da mesa da máquina, com a função de garantir o paralelismo e agilizar os ajustes iniciais.

Outro ponto positivo é a acomodação da peça, como o bloco é em formato de U, mesmo que haja variação dimensional peça bruta, este não impactará em prejuízo para a concentricidade da usinagem. Orienta-se a realização de um orifício circular com a funcionalidade de agilizar o processo de referenciamento do zero peça.

Para a fixação da peça optou-se pelo método came, por ser robusto, rápido e garantir ótima repetibilidade do processo.

Para a concepção das soluções deve-se analisar a compatibilidade do conjunto peça e acessórios com a máquina disponível, a produtividade almejada, a repetibilidade do processo e a segurança. Sendo assim foram elencadas duas possibilidades de soluções.

Para a primeira solução da operação 20, define-se o uso dos seguintes elementos: posicionamento na horizontal por meio de calço, acomodação da peça com uso de bloco em V e método de fixação através de atuador pneumático. O anexo F, mostra esta solução

Como segunda solução da operação 20, estabelece o uso dos seguintes elementos: para posicionamento na horizontal utiliza-se o esquadro, acomodação da peça em pino guia e método de fixação por alavanca de aperto rápido. O anexo G, mostra este princípio de solução.

Para a proposta de concepção do projeto da operação 20 sugere-se a segunda solução, levando em consideração a simplicidade e facilidade de manuseio. A segunda opção utiliza um esquadro padrão, devido a sua robustez e garantia de repetibilidade ao processo sendo compatível com a máquina indicada. É aconselhada a realização de uma adaptação para a inserção de uma chaveta em sua base, com dimensões semelhantes ao espaçamento das ranhuras da mesa da máquina, com a função de garantir o paralelismo e agilizar os ajustes iniciais. Orienta-se a realização de um orifício circular com a funcionalidade de agilizar o processo de referenciamento do zero peça.

Outro ponto positivo para a acomodação da peça, o formato de pino guia garantirá a concentricidade e perpendicularidade ao furo além de fazer um sistema de inspeção dimensional tipo *Poka Yoke* da operação 10.

Para a fixação da peça optou-se pela alavanca de aperto rápido, por ser robusto, rápido e garantir ótima agilidade na fixação.

3.2.3 Esboço do Modelo

Conforme Shingo (2000, p. 155), “grampos funcionais devem ser usados. As fixações feitas com sistemas de rosquear deveriam ser substituídas por rasgos rabo-de-andorinha, pinos, cames, cunhas e semelhantes. Onde for inevitável o uso de parafusos, eles não devem ser girados mais de uma volta”.

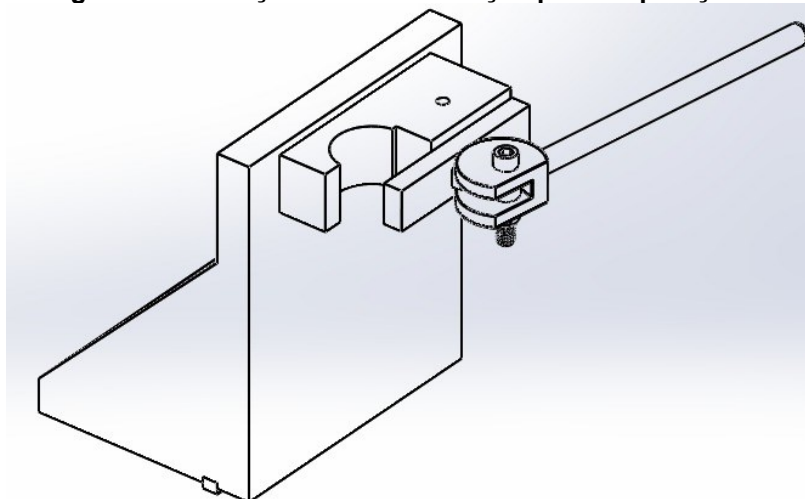
Shingo (2000) complementa que, gabaritos intermediários devem ser usados e que movimentos devem ser interligados para facilitar os procedimentos de trocas de peças.

Outro ponto a ser levando em consideração para as tomadas de decisões é descrito por Correr (2020):

A seleção pelo estudo de campo ocorre por ter como objetivo uma pesquisa com maior aprofundamento nas questões aplicadas, sendo necessário que o pesquisador seja participante no ambiente ou com objeto pesquisado, instituindo-se por método observatório e interrogativo, (Correr, 2020).

Com as propostas de soluções apresentadas no item anterior, foi possível desenvolver os esboços para o desenvolvimento dos sistemas de fixação. Propõem-se confeccionar parte dos itens além de utilizar itens já disponíveis, levando em consideração a redução de custos com a aquisição dos acessórios. A Figura 64 mostra o esboço do sistema de fixação para a operação 10 e a Tabela 2 mostra os materiais para confecção do dispositivo. Ressalta-se a existência de um orifício de referência no berço em U, para ajuste da origem no *setup* inicial.

Figura 64 - Esboço sistema de fixação para a operação 10



Fonte: Autoria própria (2020)

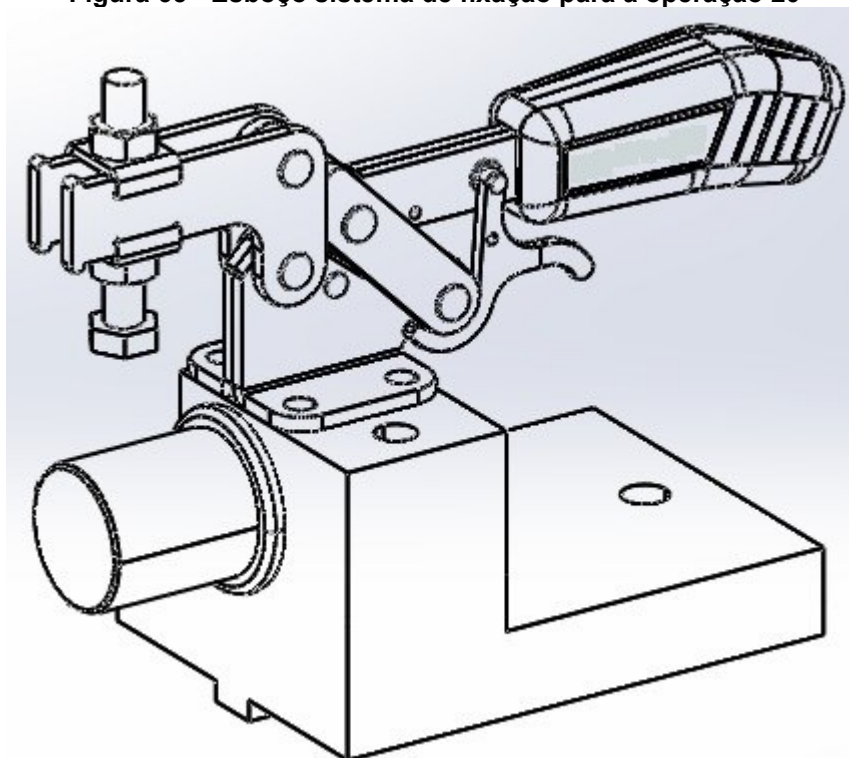
Tabela 2 - Especificações de materiais e dimensões

Nº	Denominação	Quantidade	Material e denominação
1	Mecanismo Came	01	Aço 4340
1.1	Excêntrico duplo	01	Aço 4340, $\varnothing 80 \times 42$ mm
1.2	Olhal conector	01	Aço 4340, $40 \times 28 \times 18$ mm
1.3	Alavanca	01	Aço 4340, $\varnothing 80 \times 350$ mm
1.4	Parafuso	01	M12 x 80 mm, classe 12.8
1.5	Porca travante	01	M12
1.6	Barra roscada	01	M12
2	Grampo	01	Aço 4340, $200 \times 42 \times 42$ mm
3	Bloco U	01	Ferro fundido cinzento, $212 \times 90 \times 60$ mm

Fonte: Autoria própria (2020)

A Figura 65, mostra o sistema de fixação para a operação 20. A Tabela 3 mostra os materiais para a proposta de confecção do dispositivo. Ressalta-se a existência de um orifício de referência no berço em U, para ajuste da origem no *setup* inicial.

Figura 65 - Esboço sistema de fixação para a operação 20



Fonte: Autoria própria (2020)

Tabela 3 - Especificações de materiais e dimensões

Nº	Denominação	Quantidade	Material e denominação
1	Base	01	Ferro fundido cinzento, $150 \times 110 \times 100$ mm
2	Pino guia	01	Aço 4320, $\varnothing 50 \times 100$ mm
3	Grampo vertical	01	KF 531 DI TR

Fonte: Autoria própria (2020)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MECANISMO PROPOSTO

A Figura 66 ilustra a disposição do mecanismo proposto para a solução do problema. Nos anexos B e C, encontram-se os desenhos técnicos do sistema proposto. Vale destacar que o sistema proposto visa realizar as duas operações de usinagem em sequência, no mesmo ciclo de trabalho.

Figura 66 - Modelo de dispositivo sugerido



Fonte: Autoria própria (2020)

O sistema referente a operação 10 está situado a direita da mesa da máquina para prevenir colisões das ferramentas armazenadas no magazine com o dispositivo e a peça a ser usinada. Enquanto que, o sistema referente a operação 20 pode ficar à esquerda, pois devido à altura não oferece riscos ao deslocamento livre.

Para o sistema da operação 10 é proposta a confecção do came excêntrico devido a sua menor complexidade e conveniência, tendo em vista que um mecanismo similar é encontrado para venda com um custo de aquisição elevado. A operação 20 divide-se em confeccionar a base e comprar o sistema de alavanca de aperto rápido.

4.1.1 Dimensionamento do Grampo Excêntrico

Para o cálculo da força exercida e condição de auto-travamento fez-se o uso de planilha eletrônica baseado nas equações da seção 2.7, a Tabela 4, mostra os resultados.

Tabela 4 - Cálculo da força e condição de auto-travamento

Cálculo excêntrico do grampo				
Condições iniciais		simbolo	valores	unidade
1	Espessura do grampo	s=	20,0	mm
2	Força de Prensão	P=	250	N
3	Comprimento da alavanca	L=	320	mm
4	Diametro do excêntrico	D=	80,0	mm
5	Excentricidade	e=	5,0	mm
6	Diametro do eixo	d=	14,0	mm
7	Conjunto de fricção "grampo-excentrico"	f_1 =	0,15	-
8	Conjunto de fricção "eixo-excentrico"	f_2 =	0,12	-
Resultado dos Cálculos		simbolo	valores	unidade
9	Ângulo de atrito "grampo-excentrico"	φ_1 =	8,530766	°
10	Ângulo de atrito "eixo-excentrico"	φ_2 =	6,842773	°
11	Ângulo máximo de uma cunha circular	α =	7,125016	°
12	Vetor do raio do ponto de contato	R=	40,311	mm
13	Distância do eixo excentrico ao suporte	A=	60,0	mm
14	Condição de travamento automatico	Verdadeiro		
15	Força de aperto	F=	6.540	N
16	Coeficiente de tranferencia de potencia	k=	26,2	-

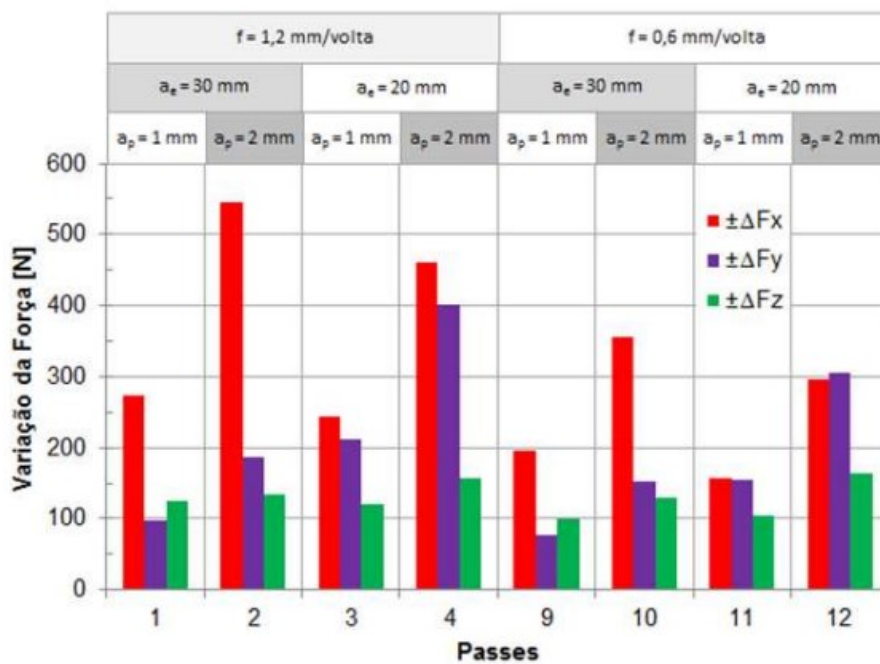
Fonte: Autoria própria 2020

4.2 DISCUSSÕES

4.2.1 Discussões Sobre a Operação 10

Na Figura 67, Hübner (2013) mostra as componentes ortogonais da força de corte do fresamento discordante. A Figura 68 mostra no fresamento concordante, onde também é variado o f , a_p e a_e . Na Figura 69, Araújo (2014) apresenta as forças com uma velocidade de corte constante e variando apenas o avanço por dente f_z .

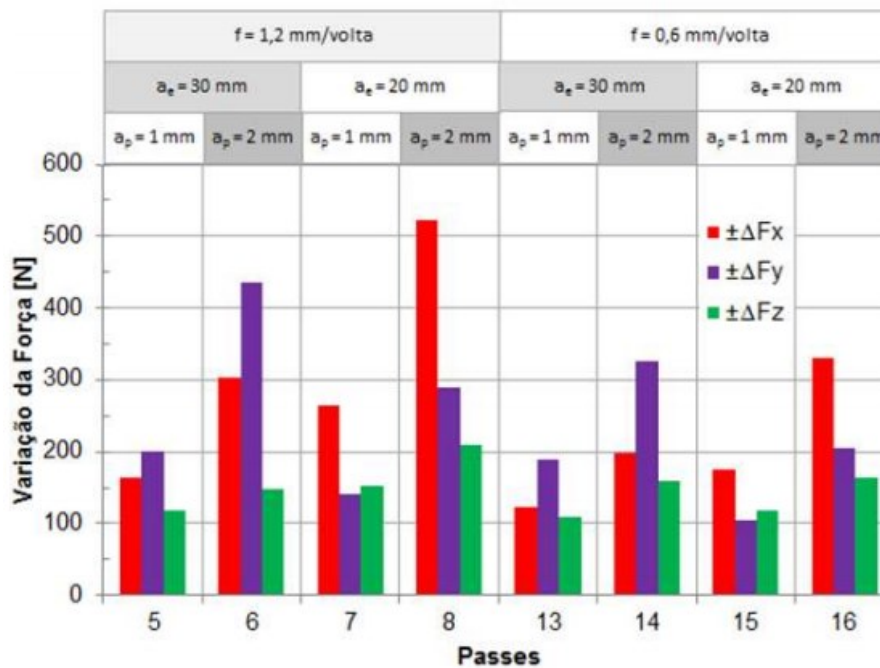
Figura 67 - Parcela dinâmica de F_x , F_y e F_z para o corte discordante
Corte Discordante



(a)

Fonte: Hübner (2013)

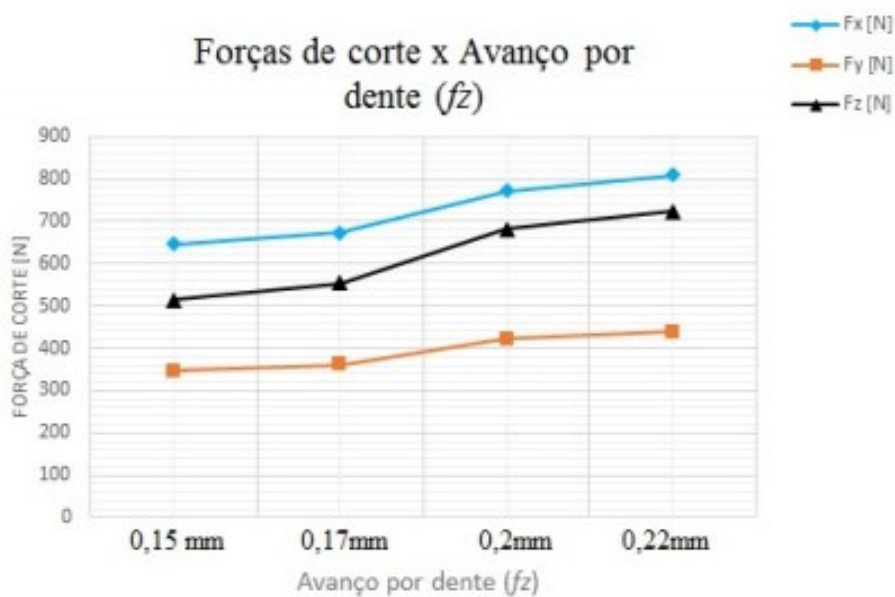
Figura 68 - Parcela dinâmica de F_x , F_y e F_z para o corte concordante
Corte Concordante



(b)

Fonte: Hübner (2013)

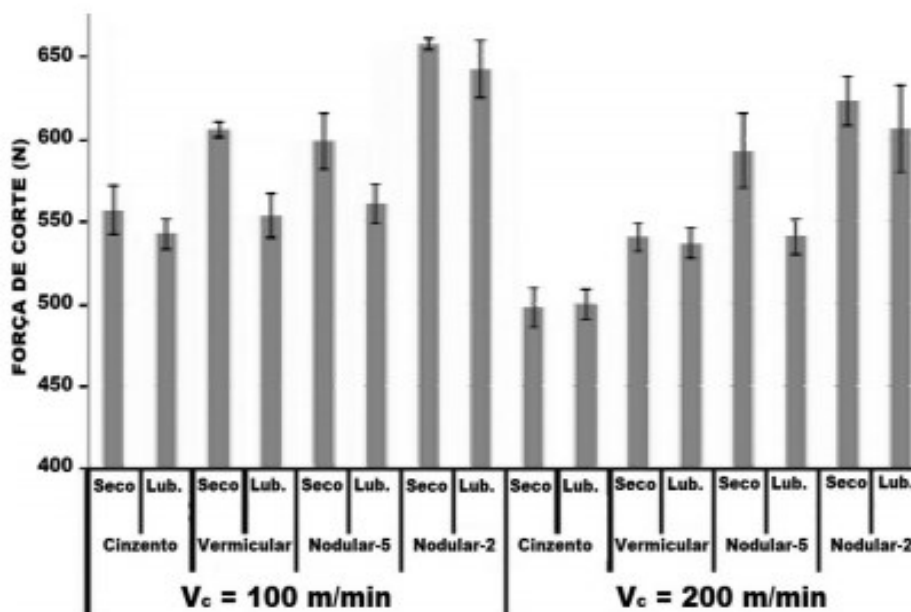
Figura 69 - Forças de corte x Avanço por dente



Fonte: Araújo (2014)

Na Figura 70, Nayyar (2012) mostra as forças de corte no faceamento com diferentes tipos de ferro fundido. Com faceamento a seco e lubrificado e variando a velocidade de corte.

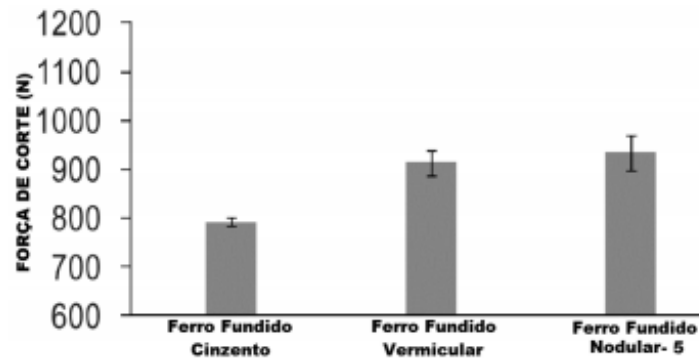
Figura 70 - Forças de corte no faceamento



Fonte: Adaptado de Nayyar (2012)

Na Figura 71, Nayyar (2012) mostra as forças de corte de diferentes ferros fundidos para o mandrilhamento.

Figura 71 - Forças de corte no mandrilhamento

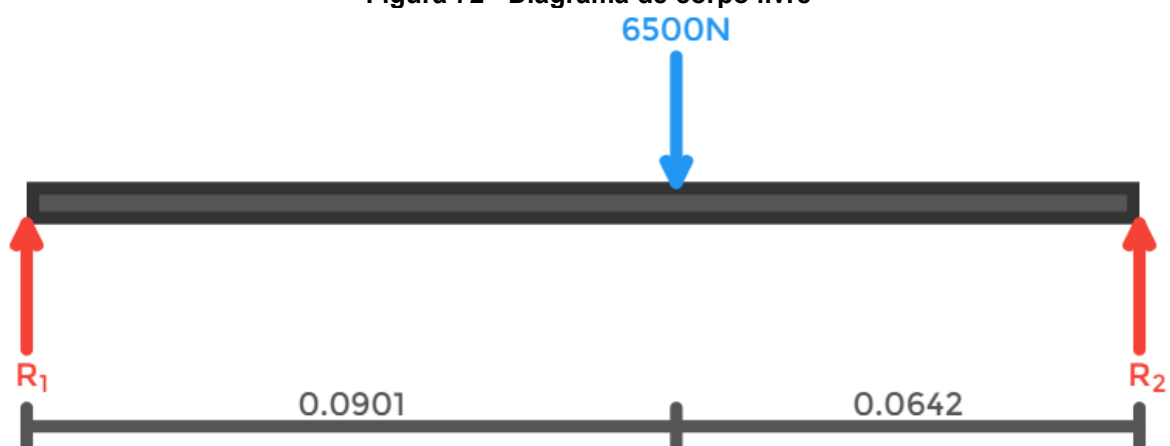


Fonte: Adaptado de Nayyar (2012)

Com base nos dados obtidos através de levantamentos bibliográficos será considerado a força de corte de usinagem para o ferro fundido cinzento $F_u = 800N$, como a força do grampo excêntrico para a operação 10 está na ordem $F_e = 6500N$. Fazendo uso da Tabela 4, para comprovar que a força requerida é o suficiente para manter a peça fixa, fez-se um diagrama de corpo livre conforme representado na Figura 72.

A peça que será utilizada para fazer o diagrama de corpo livre é o grampo, pois o mesmo estará comprimindo o corpo de prova em uma das extremidades. Ao centro aplica-se a força exercida pelo excêntrico e na outra extremidade estará apoiada no bloco em U.

Figura 72 - Diagrama de corpo livre



Fonte: Autoria própria (2020)

Utilizando os conceitos de estática, fez-se um somatório de força no eixo y e um somatório de momento em R_1 .

Somatório de força no eixo y:

$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 + R_2 - 6500 = 0$$

Somatório de momento em R_1 :

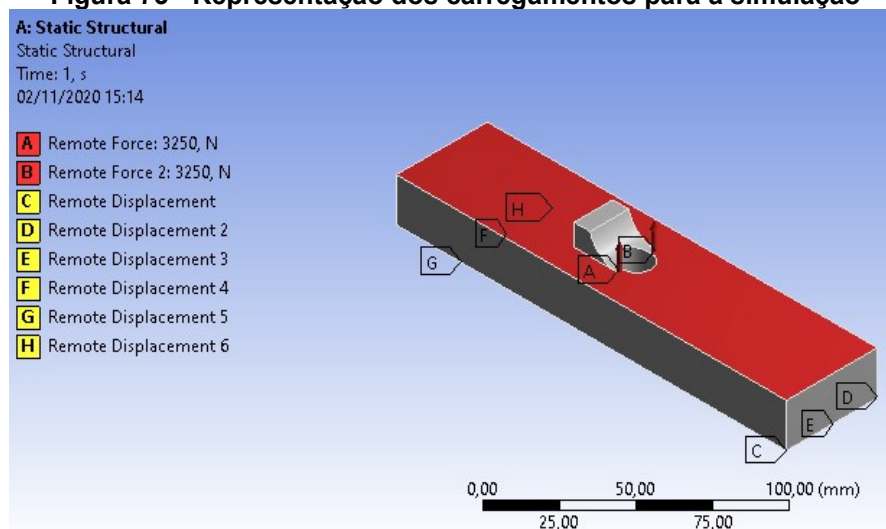
$$\sum M_{R_1} = 0$$

$$R_2 * (0,0901 + 0,0642) - 6500 * 0,0901 = 0$$

Resolvendo os sistemas de equações desenvolvidos tem-se que as reações são: $R_1 = 2705,24N$ e $R_2 = 3794,76N$, como a peça será posicionada onde a força R_2 está localizada, tem-se que $R_2 \gg F_u$ então o sistema será capaz de fixar a peça quando fizer a operação de usinagem.

Deverá ser realizada análise no grampo para garantir que ele não irá falhar com a aplicação das forças, para isso utiliza-se o programa *Ansys*, não se realizou um estudo sobre a malha. A Figura 73 mostra o carregamento para a simulação. A partir da simulação obteve-se os valores das tensões (Von-Mises) Figura 74 e de deformação Figura 75.

Figura 73 - Representação dos carregamentos para a simulação

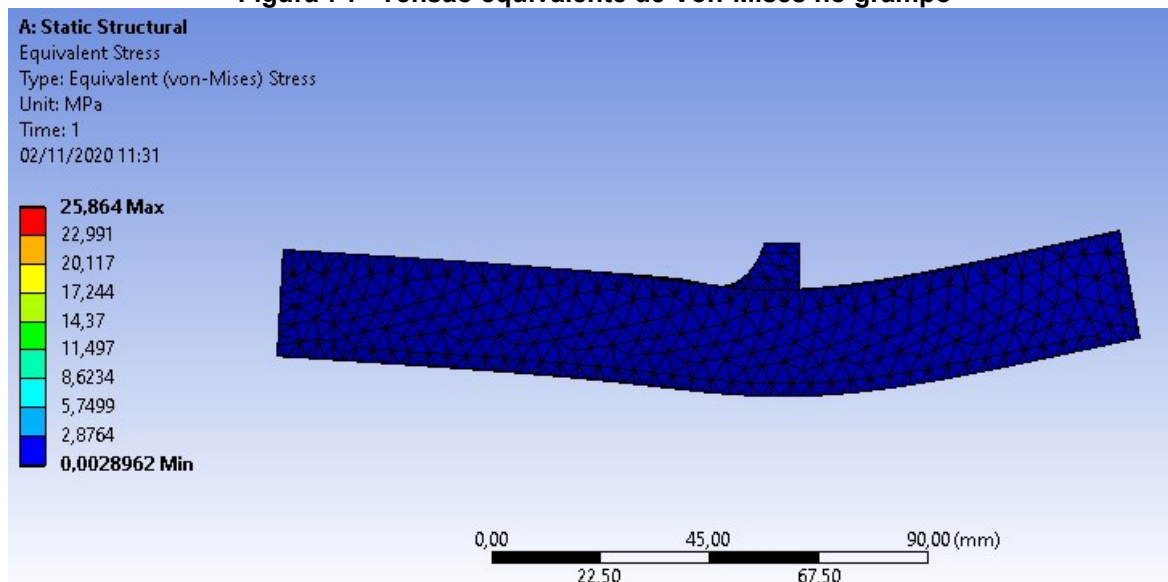


Fonte: Autoria própria (2020)

Como a tensão de escoamento para o aço 4340 escolhido para o material da peça é $\sigma_{esc} = 470MPa$, e a máxima tensão de Von-Mises foi $\sigma_{teste} = 25,86MPa$,

então a peça suportará os esforços, pois a tensão de teste foi muito menor que a tensão de escoamento, conforme Norton (2013).

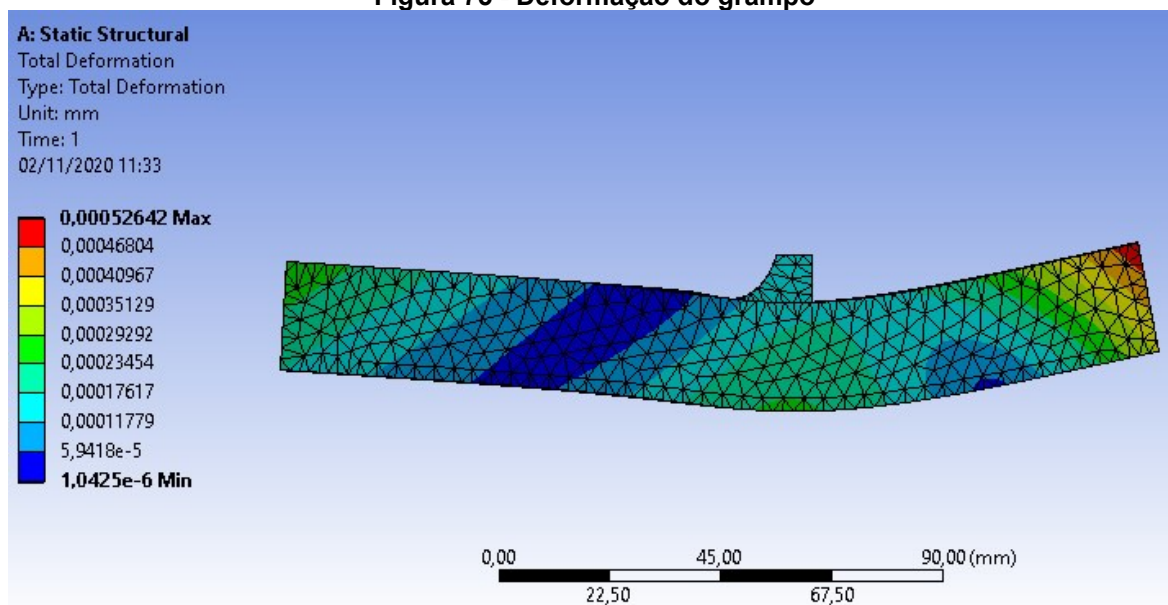
Figura 74 - Tensão equivalente de Von-Mises no grampo



Fonte: A autoria própria (2020)

A peça sofreu uma deformação máxima $\delta_{max} = 5,26 \times 10^{-4} mm$ conforme apresentado na Figura 75, o que pode ser considerada desprezível.

Figura 75 - Deformação do grampo

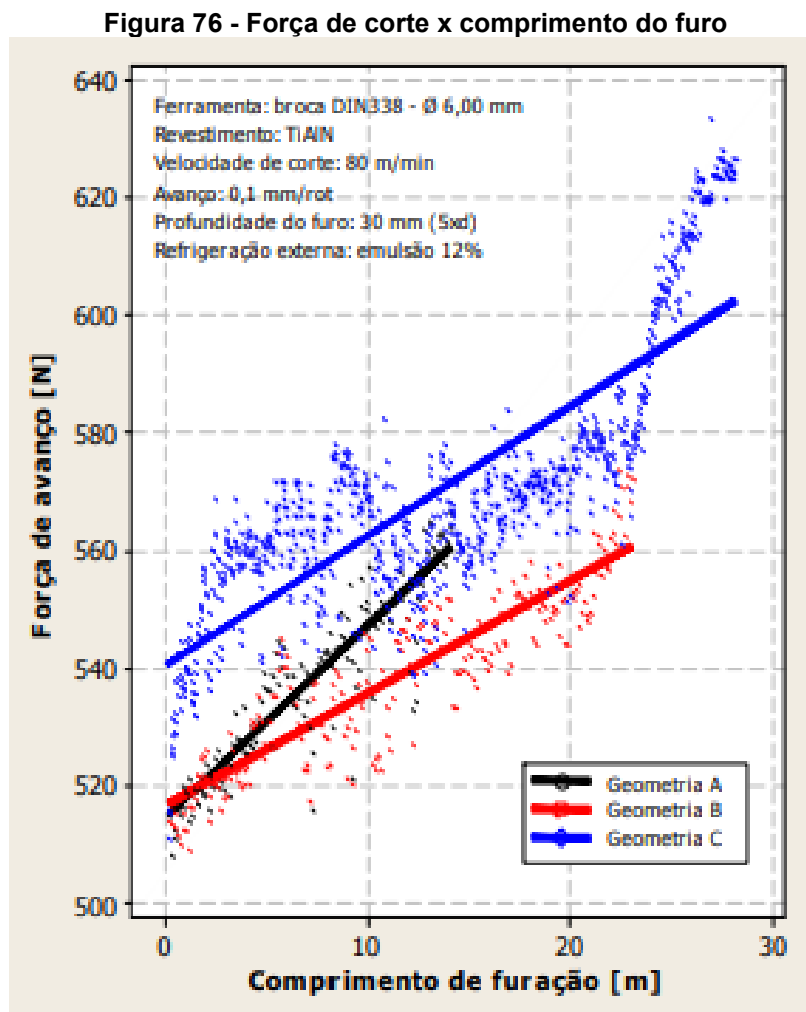


Fonte: A autoria própria (2020)

Outro componente do dispositivo a ser levado em consideração para análise é a barra roscada, pois é a mesma que suportará toda a força que o grampo excêntrico vai fazer. A barra roscada selecionada foi a M12 x 1,75 de grau 12.9. De acordo com Garcia (2013), a geração de força deste parafuso, considerando o limite de resistência a tração, área resistiva, o rendimento e limite de escoamento, tem-se que o parafuso selecionado resiste a uma força $F_p = 80,7 \pm 10,3kN$, como a força requerida para o parafuso é a força que o excêntrico irá fazer então $F_p \gg 6,5kN$, com isso o parafuso suportará o esforço.

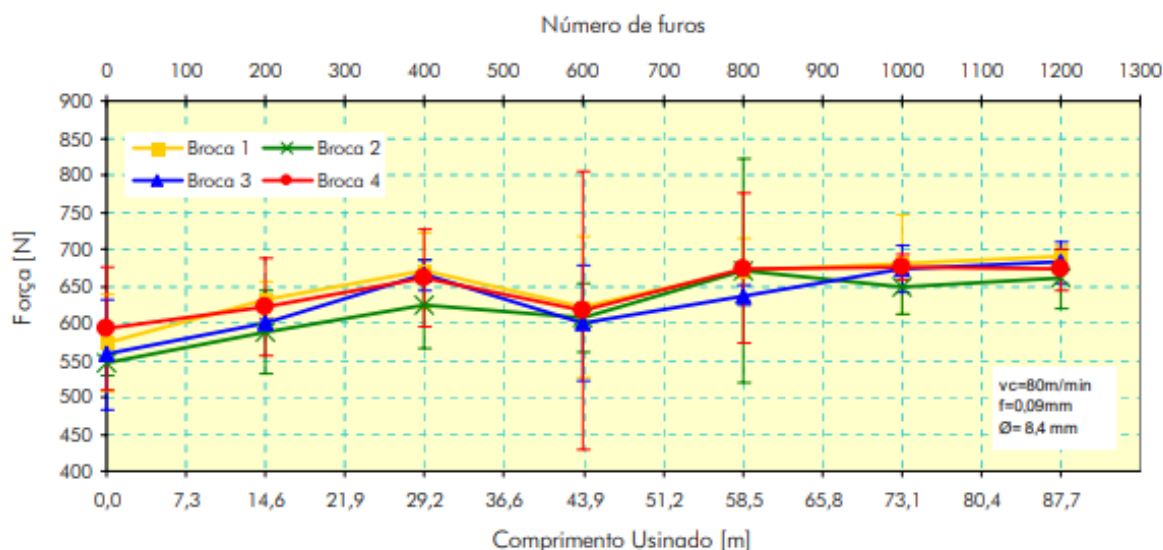
4.2.2 Discussões Sobre a Operação 20

As Figura 76 e 77 mostram as forças de corte obtidas experimentalmente em processos de furação.



Fonte: Oliveira (2008)

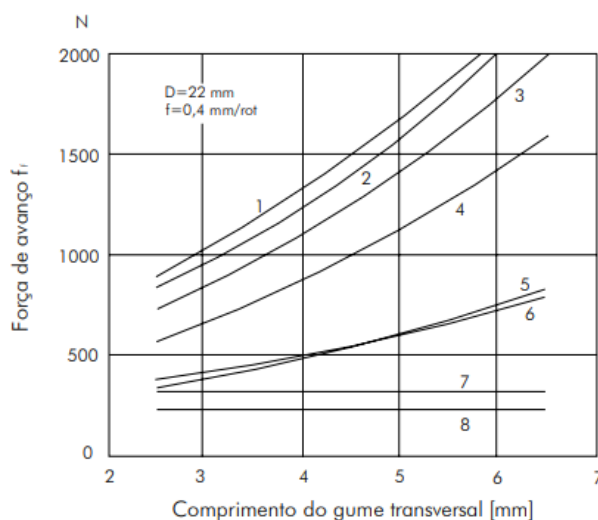
Figura 77 - Força de corte x comprimento do furo x quantidade de furo



Fonte: Castillo (2005)

Para a operação 20, levou-se em consideração a força de usinagem em ferro fundido cinzento $F_u = 800N$ baseada nos levantamentos bibliográficos. Ao analisar o dispositivo e a maneira como a ferramenta de usinagem entrará na peça, é importante levar em consideração que a principal força exercida é a força de avanço no eixo z, conforme a Figura 78, pode-se considerar a força de avanço $f_t = 800N$.

Figura 78 - Influência do comprimento do gume transversal na força de avanço

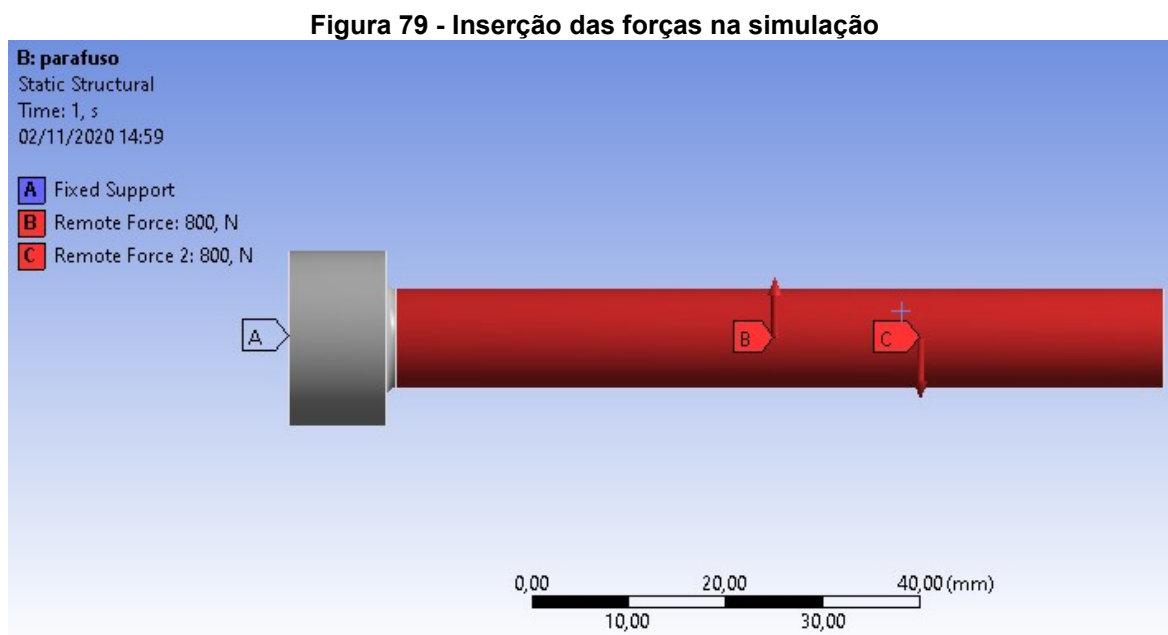


1, aço ferramenta; 2, aço HB 196; 3, aço HB 156; 4, aço para automáticos; 5, ferro fundido maleável;
6, ferro fundido cinzento; 7, ligas leves; 8, latão.

Fonte: Castillo (2005)

A partir da constatação da força de usinagem e da força de avanço, considera-se que o parafuso é a peça crítica para o sistema de fixação, por ser o

elemento de ligação entre o pino guia e o esquadro. É necessário que suporte as forças exercidas na usinagem. O mesmo pode ser observado na vista expandida no anexo C, com as especificações: parafuso Allen M12x1,75 G12,9, com uma tensão de escoamento $\sigma_{esc} \cong 1000MPa$. Através de uma simulação com o programa *Ansys*, ilustrada na Figura 79, observa-se como foram aplicadas as forças para a simulação, onde adotou-se a força de avanço como a força aplicada no parafuso.

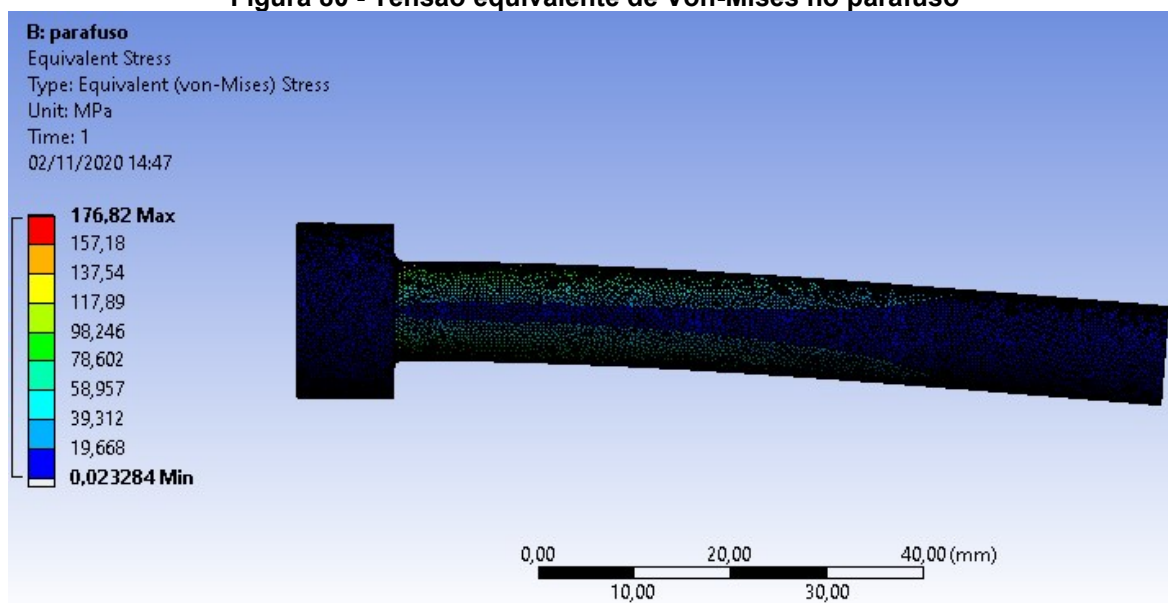


Fonte: Autoria própria (2020)

Na Figura 80 pode-se ver que a máxima tensão de Von-Mises na simulação foi $\sigma_{teste} = 176,82MPa$. Assim considera-se que o parafuso resistirá aos esforços, pois a tensão de teste foi muito menor que a tensão de escoamento.

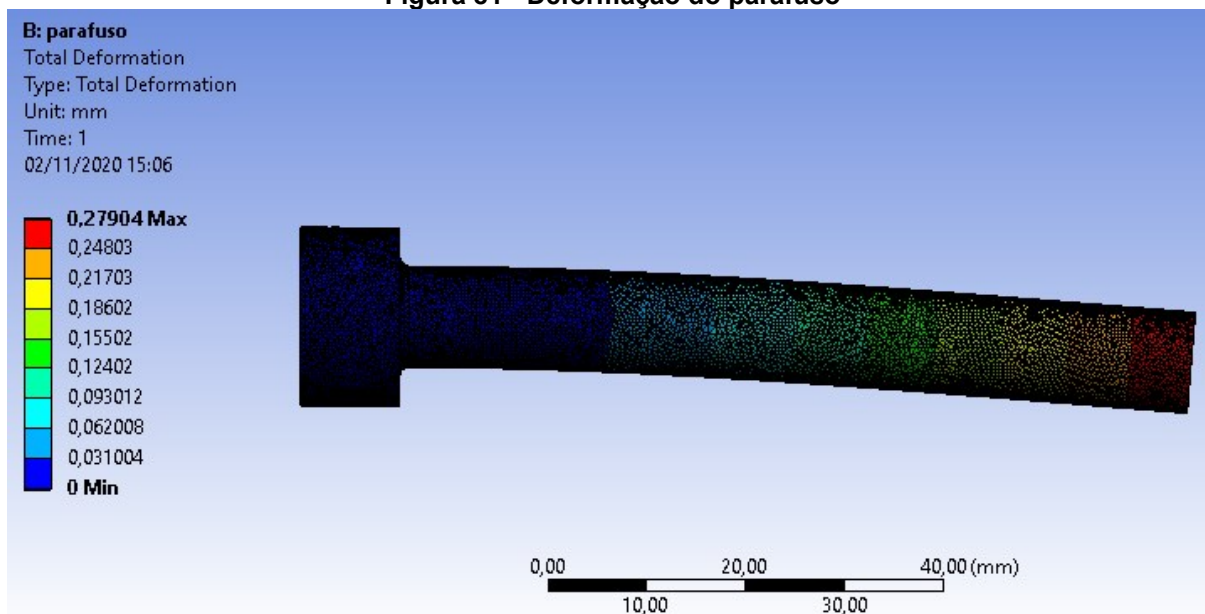
Na Figura 81 tem-se a deformação máxima do parafuso $\delta_{max} = 0,279mm$, que pode ser considerada desprezível.

Figura 80 - Tensão equivalente de Von-Mises no parafuso



Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 81 - Deformação do parafuso



Fonte: Autoria própria (2020)

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho trouxe como principal objetivo a proposta de desenvolvimento de um dispositivo para fixação de peças com geometria complexa. Assim, foram considerados fatores como: a redução do tempo de ciclo de produção e a saúde laboral dos operadores. Para a elaboração da solução proposta, a revisão bibliográfica e os estudos de campo guiaram a busca pelo conhecimento relativo ao assunto abordado.

No decorrer de seu desenvolvimento percebeu-se que grampos funcionais devem ser usados como forma de substituição aos sistemas de rosquear, sendo que os mesmos devem ser adotados apenas quando for imprescindível sua utilização. Desta forma optou-se pelo uso do grampo excêntrico para facilitar a troca de peças na Operação 10. E a alavanca de aperto rápido foi a escolha para a Operação 20.

Com relação a Operação 10, na qual propõe-se a utilização do grampo excêntrico, foram calculadas as condições necessárias para garantir o auto travamento e um elevado coeficiente de transferência de potência. De acordo com os resultados obtidos há motivação para sua confecção, pois é uma alternativa com bom custo benefício.

Enquanto que na Operação 20 foi proposta a aquisição de uma alavanca de aperto rápido, a qual ofertaria maior agilidade na troca de peças. Ainda na Operação 20 é sugerida a utilização de um pino guia. Este servirá para a fixação da peça no esquadro e, também, como controle de qualidade conforme o sistema *Poka Yoke*.

Para complementar há a proposição de melhorias: a inserção de um orifício para referenciar o zero peça e a utilização de saliências para encaixe nas ranhuras da mesa da máquina, garantindo assim o paralelismo do sistema de fixação. O emprego do conjunto das medidas apresentadas no trabalho tende a diminuir os tempos de ajustes iniciais da máquina, promovendo maior qualidade e produtividade ao processo.

Ao analisar o sistema de fixação para peças com geometrias complexas e o contexto ao qual é aplicado acredita-se na possibilidade de melhoria de performance e produtividade. Ressalta-se que o presente trabalho é teórico e existe a necessidade de testes para assegurar sua funcionalidade. Desta forma, sugere-se a confecção do sistema de fixação para a execução de análise minuciosa com o objetivo de atestar sua conformidade.

O processo de pesquisa e escrita do presente trabalho proporcionou a construção do conhecimento acerca do assunto abordado e ampliou a compreensão dos processos de usinagem. Ressalta-se que há a possibilidade de continuidade do estudo aqui proposto e, quiçá, implementação do mesmo.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para sugestões de trabalhos futuros, várias abordagens são aplicáveis como sucessão deste trabalho:

- Fazer uma análise de custo/benefício para o dispositivo proposto;
- Confeccionar, medir o tempo de ciclo e analisar qual o método mais adequado para empresa;
- Realizar uma análise da vibração na usinagem e relacionar com o acabamento superficial da peça;
- Realizar ensaios de Charpy, e verificar quando o dispositivo irá falhar;
- Analisar a repetibilidade paralelismo em função do uso de chaveta e a exatidão do referenciamento com uso de orifícios de referenciamento zero peça.

REFERÊNCIAS

ANDREAS MAIER GMBH & CO. KG (AMF) (Fellbach - Germany). **Elementos de fixação hidráulicos**: Catalogo 2017/2018. Fellbach - Alemanha: [s. n.], 2017. 320 p. Disponível em: <https://www.amf.de/files/amf-assets/news/downloads/catalogues/Catalogo-AMF-Elementos-de-fixacao-hidraulicos.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

ANDREAS MAIER GMBH & CO. KG (AMF) (Fellbach - Germany). **Magnetic clamping systems**: Catalogue 2015/2016. Fellbach - Alemanha: [s. n.], 2016. 20 p. Disponível em: <https://www.amf.de/files/amf-assets/news/downloads/catalogues/Catalogue-AMF-Magnetic-Clamping-Systems.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

ANDREAS MAIER GMBH & CO. KG (AMF) (Alemanha). **Elementos de fixação mecânicos**. Fellbach - Germany: [s. n.], 2019. 156 p. Disponível em: <https://www.amf.de/files/amf-assets/news/downloads/catalogues/Catalogo-AMF-Elementos-de-fixacao-mecanicos.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

ANDREAS MAIER GMBH & CO. KG (AMF) (Alemanha). **ZERO-POINT SYSTEMS**. Fellbach - Germany: [s. n.], 2017. 172 p. Disponível em: <https://www.amf.de/files/amf-assets/news/downloads/catalogues/Catalogo-AMF-Zero-Point-Systems-pt.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

ARAÚJO, Everton Ruggeri Silva. **ESTUDO DE ESTABILIDADE DO FRESAMENTO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO CONSIDERANDO O EFEITO DE AMORTECIMENTO NO PROCESSO**. Orientador: Joel Martins Crichigno Filho. 2014. 87 f. Dissertação (Mestre) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville - Santa Catarina, 2014.

AZEVEDO, Américo Luiz de. **Fundamentos do CNC para Usinagem**. 1. ed. São José dos Campos - SP: JAC Gráfica e Editora, 2017. 176 p. ISBN 9788585262884.

BRASILALEMANHA NEWS (Brasil). **SCHUNK apresenta tecnologia de sistema de fixação para produção inteligente**. [S. l.], 31 out. 2018. Disponível em: SCHUNK apresenta tecnologia de sistema de fixação para produção inteligente. Acesso em: 14 nov. 2019.

BTFIXO (Caxias do Sul - RS). **Catalogo BTfixo 2019**. Caxias do Sul - RS: [s. n.], 2019. 163 p. Disponível em: http://www.btfixo.com.br/www/catalogo_completo_2019.pdf. Acesso em: 7 set. 2019.

CALLISTER JR., William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Tradução: Sergio Murilo Stamile Soares. 8. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 817 p. ISBN 978-85-216-2124-9.

CASSANIGA, Fernando Aparecido. **Dispositivos de fixação de peças para máquinas CNC**. Sorocaba - SP: CNC Tecnologia, 1 fev. 2009. Disponível em: <http://www.usinagem-brasil.com.br/43-dispositivos-de-fixacao-de-pecas-para-maquinas-cnc/pa-5/>. Acesso em: 23 ago. 2019.

CASTILLO, Willian Jefferson González. **FURAÇÃO PROFUNDA DE FERRO FUNDIDO CINZENTO GG25 COM BROCAS DE METAL-DURO COM CANAIS RETOS**. Orientador: Rolf Bertrand Schroeter. 2005. 134 f. Dissertação (Mestre) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Florianópolis - Santa Catarina, 2005.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7. ed. rev. e aum. São Paulo: Estudo JI de Artes Gráficas S/C LTDA, 2008. 599 p. v. UNICO.

CIMM - CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA (Brasil). **Introdução à usinagem**. [S. l.], [2010]. Disponível em: https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3347#.XY4veEZKjIV. Acesso em: 27 set. 2019.

CIMM - CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA (Brasil). **Materiais para Ferramentas de Corte**. Brasil, [2010]. Disponível em: https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4805-materiais-para-ferramentas-de-corte#.XY4G7UZKjIW. Acesso em: 23 ago. 2019.

CIMM - CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICO (Brasil). **SCHUNK lança produto para alta eficiência na usinagem**: O sistema modular de fixação manual com grande variedade de aplicações, SCHUNK VERO-S WDM-5X, série permite a fixação de peças altas que garante acesso da máquina à peça. [S. l.], 27 out. 2019. Disponível em: https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/18963-schunk-lanca-produto-para-alta-eficiencia-na-usinagem. Acesso em: 31 out. 2019.

CORRER, Ivan. **A pré-ajustagem de ferramentas e seus impactos na produção**. Ferramental, 17 set. 2020. Disponível em: <https://www.revistaferramental.com.br/?cod=artigo/pre-ajustagem-de-ferramentas-e-seus-impactos-na-producao/>. Acesso em: 4 out. 2020.

Conselho Euroasiático de Normalizações, Metrologia e Certificações (EASC). **GOST 12191-66: Dispositivos de retenção. Cames excêntricos bifurcados. Projeto.** Projetada por Ministério da Indústria de Máquinas e Ferramentas da URSS, Rússia 01/07/1967.

DINAMIZE. **Como criar um MVP: tudo o que você precisa saber sobre o Produto Mínimo Viável.** Blog Dinamize, 8 jul. 2020. Disponível em: <https://www.dinamize.com.br/blog/mvp-produto-minimo-viavel/>. Acesso em: 4 out. 2020.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. Tecnologia da Usinagem dos Materiais. 6. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2008. 262 p.

EZSET (Alemanha). **EZset Tool Presetting Devices.** Alemanha: Ezset, 2018. Disponível em: https://www.ezset.info/uploads/media/EZset_Brochure_BREZSET_02_EN_07.pdf. Acesso em: 12 set. 2020.

FEIMEC - MANUFATURA Avançada: a indústria 4.0 no Brasil. Produção: Abimaq. Intérprete: Ari Costa. São Paulo Expo Center: Informa Exhibitions, 2016. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?time_continue=170&v=EqDI35yxszg. Acesso em: 14 set. 2019.

FEIMEC - **MANUFATURA Avançada: demonstração final na FEIMEC.** Produção: FEIMEC - Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos. Intérprete: Ari Costa. [S. l.]: FEIMEC, 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=NF0MwKRidPg>. Acesso em: 14 set. 2019.

FEIMEC ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS (São Paulo). Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos. **FEIMEC 2018 terá Demonstrador de Manufatura Avançada coordenado pela Abimaq.** São Paulo, março 2018. Disponível em: <https://www.feimec.com.br/pt/imprensa/noticias/noticia-11052017-131111111.html>. Acesso em: 14 set. 2019.

FERRARI, Alfredo. **Manufatura Avançada com máquinas-ferramenta multitarefa.** A Voz da Indústria: [s. n.], 12 ago. 2016. Disponível em: <https://avozdaindustria.com.br/manufatura-avancada-com-maquinas-ferramenta-multitarefa/>. Acesso em: 30 ago. 2019.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais.** São Paulo - SP: Editora Edgard Blucher LTDA., 1977. 927 p. v. 1.

GARCIA, Roberto. **A que se propõem os Elementos de Fixação?** Revista do parafuso, [s. l.], ed. 41, 19 set. 2013. Disponível em: <http://www.revistadoparafuso.com.br/v1/modelo/noticia.php?id=653>. Acesso em: 1 nov. 2020.

HEINRICH KIPP WERK KG (Alemanha). **Catalogue CLAMPING TECHNOLOGY 2018**. Heubergstraße 2 - Germany: [s. n.], 2018. 464 p. Disponível em: https://www.kipp.com.br/xs_db/DOKUMENT_DB/www/KIPP/WERKSTUECK_SPANNSYSTEME/Kataloge/2018_Edition/Spanntechnik_2018_EN.pdf. Acesso em: 7 set. 2019.

HÜBNER, Henrique Butzlaff. **AVALIAÇÃO DAS FORÇAS DE USINAGEM E DA RUGOSIDADE GERADAS NO FRESAMENTO FRONTAL ASSIMÉTRICO DO FERRO FUNDIDO DIN GGG50**. Orientador: André João de Souza. 2013. 25 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2013.

INFOMET. FERROS Fundidos Dúcteis ou Nodulares: **Especificações e propriedades do ferro fundido nodular**. Aços & Ligas, [s. l.], [2018]. Disponível em: <https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=164>. Acesso em: 26 out. 2019.

KIFIX INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA (Caxias do Sul | RS). **Kifix grampos de fixação**: catalogo produtos 2018. Caxias do Sul | RS: [s. n.], 2018. 36 p. Disponível em: <https://www.kifix.com.br/catalogo/catalogo.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2019.

MACHADO, Álisson Rocha; ABRÃO, Alexandre Mendes; COELHO, Reginaldo Teixeira; SILVA, Márcio Bacci da. **Teoria da usinagem dos materiais**. RUFFINO, Rosalvo Tiago, revisor técnico. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 2009. 371 p. ISBN 978-85-212-0452-7.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS (Brasil). Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI). **INDÚSTRIA 4.0**. Brasil, [2019]. Disponível em: <http://www.industria40.gov.br/>. Acesso em: 27 set. 2019.

NAYYAR, V.; KAMINSKI, J.; KINNANDER, A.; NYBORG, L. **An Experimental Investigation of Machinability of Graphitic Cast Iron Grades; Flake, Compacted and Spheroidal Graphite Iron in Continuous Machining Operations**. Procedia CIRP, v. 1, 2012.

NORTON, A.; ROBERT, L.; PAT, N. **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, Valter Vander de. **INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE BROCAS NA FURAÇÃO DO FERRO FUNDIDO VERMICULAR**. Orientador: Paulo André de Camargo Beltrão. 2008. 176 f. Dissertação (Mestre) - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Curitiba - Paraná, 2008.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE PADRONIZAÇÃO. **ISSO 841 – Sistemas de automação industrial e integração – Controle numérico de máquinas – Sistema e coordenadas e nomenclatura de movimento**. Suíça 15/10/2001.

Padrão Nacional Alemão. **DIN 66217 – Eixo e nomenclatura de movimento para máquinas controladas numericamente**. Alemanha 12/01/1975.

PEREIRA, Carlos Alberto. **Processos Programáveis**. São Paulo - SP: SENAI-SP, 2007. 383 p.

PEREIRA, D. **Produto Mínimo Viável (MVP): O que é e para que serve?** O ANALISTA DE MODELO DE NEGÓCIOS, 20 maio 2019. Disponível em: <https://analistamodelosdenegocios.com.br/produto-minimo-viavel-mvp/>. Acesso em: 4 out. 2020.

PORTO, Arthur José Vieira. **Usinagem de Ultraprecisão**. São Carlos - SP: Rima, 2004. 293 p.

REGO-FIX - **COMPETITIVE TIR Testing**. Produção: Rego-Fix USA. Indianápolis IN EUA: [s. n.], 2019. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=iPygs_BGcRs. Acesso em: 16 set. 2019.

REGO-FIX - **COMPETITIVE Torque Testing**. Produção: Rego-Fix USA. Indianápolis IN EUA: [s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ixxTpRTkfjI>. Acesso em: 16 set. 2019.

RODRIGUES, Marcelo Acacio de Luca. **Clássicos da Usinagem - A arte de cortar metais - F.W.Taylor (4)**. [S. l.: s. n.], 25 jul. 2019. Disponível em: <http://www.usinagem-brasil.com.br/14347-classicos-da-usinagem-a-arte-de-cortar-metais-fwtaylor-4/pa-1/>. Acesso em: 31 ago. 2019.

RODRIGUES, Marcelo Acacio de Luca. **Clássicos da Usinagem - A arte de cortar metais - F.W.Taylor (1)**. [S. l.: s. n.], 25 jul. 2019. Disponível em: <http://www.usinagem-brasil.com.br/14275-classicos-da-usinagem-a-arte-de-cortar-metais-fwtaylor-1/pa-1/>. Acesso em: 31 ago. 2019.

ROMI - INDÚSTRIAS ROMI S/A (Brasil). **Manual de Programação e Operação: LINHA ROMI GL**. SP: [s. n.], [2010-?]. 148 p.

ROMI - INDÚSTRIAS ROMI S/A (Brasil). **Manual de Programação e Operação: ROMI LINHA D - CNC SIEMENS 828D**. SP: [s. n.], 2015. 278 p.

ROSENFELD, Henrique et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. 1ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2006. 542 p. ISBN 978-85-02-05446-2.

SANDVIK - SANDVIK COROMANT (Brasil). **Materiais de ferramentas de corte**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/materials/pages/cutting-tool-materials.aspx>. Acesso em: 28 set. 2019.

SANDVIK - SANDVIK COROMANT (Brasil). **Fórmulas e definições gerais de torneamento**. [S. l.], [2019]. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/general-turning.aspx>. Acesso em: 28 set. 2019.

SANDVIK - SANDVIK COROMANT (Brasil). **Fórmulas e definições de fresamento**. [S. l.], [2019]. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx>. Acesso em: 28 set. 2019.

SANDVIK - SANDVIK COROMANT (Brasil). **Fórmulas de furação e definições**. [S. l.], [2019]. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/drilling.aspx>. Acesso em: 28 set. 2019.

SANDVIK - SANDVIK COROMANT (Brasil). **Furação de uma superfície irregular**. [S. l.], [2019]. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/drilling/pages/irregular-surface-drilling.aspx?Country=br>. Acesso em: 19 out. 2019.

SANDVIK - SANDVIK COROMANT (Brasil). **Faceamento**. [S. l.], [2019]. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/pages/face-milling.aspx>. Acesso em: 19 out. 2019.

SINUTRAIN. **Manual de fresamento e torneamento para iniciantes SINUMERIK 810D / 840D / 840Di**. 2ª. ed. rev. Erlangen/Wuppertal, Alemanha: [s. n.], 10 2003.

SHINGO, Shigeo. **Sistema de troca rápida de ferramenta: uma revolução nos sistemas produtivos**. Tradução: Eduardo SCHAAN, Cristina SCHUMACHER. Porto Alegre: Bookman, 2000. ISBN 9788573075281.

SCHUNK GMBH & CO. KG (Alemanha). **Blocos de força de aperto pneumáticos**. [S. l.], 2018. Disponível em: https://schunk.com/br_en/clamping-technology/category/clamping-technology/machining-center/pneumatic-clamping-systems/pneumatic-clamping-force-blocks/. Acesso em: 14 nov. 2019.

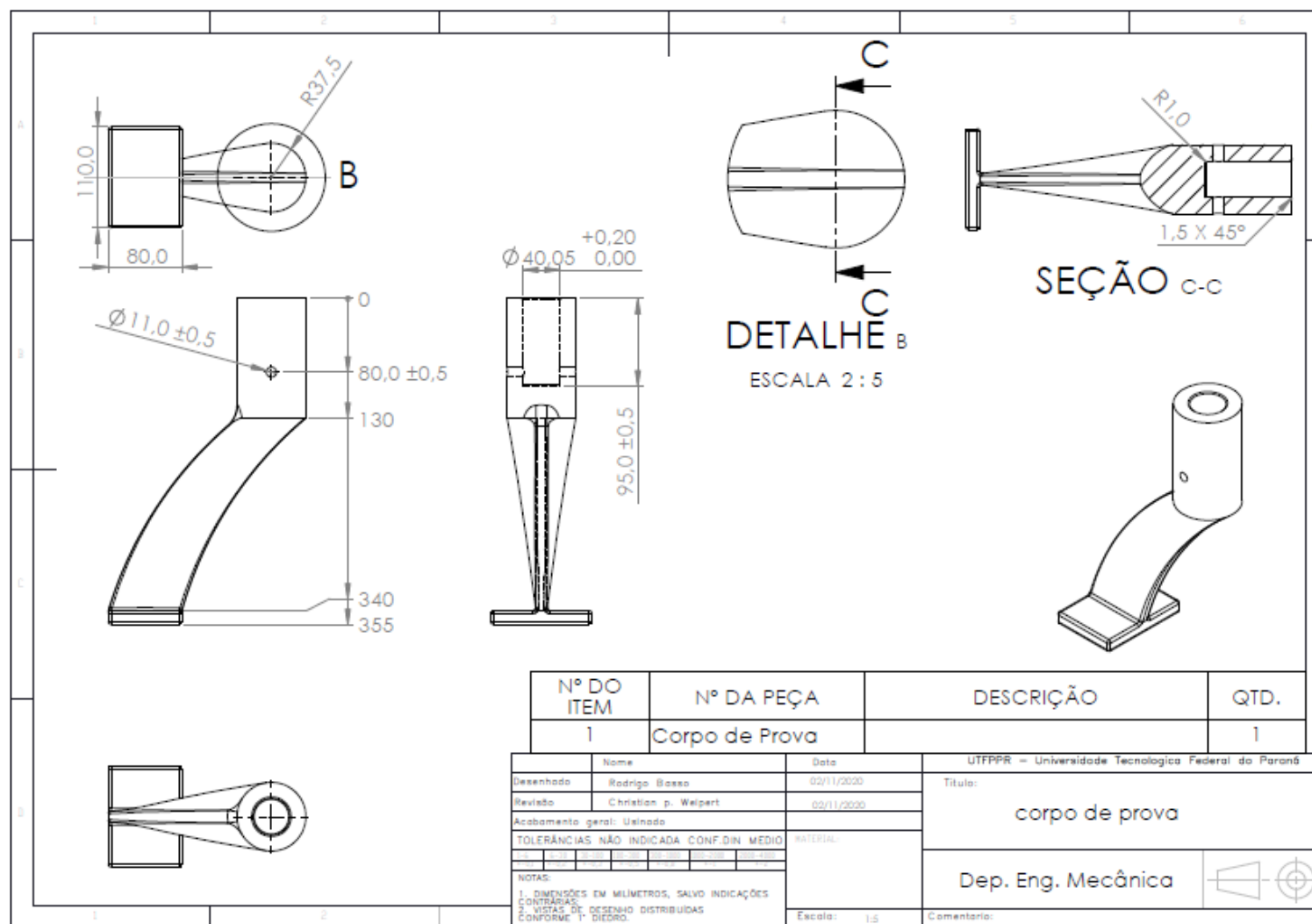
VALENTE CASTANHAS (Brasil). **Dispositivos para Usinagem e Castanhas Especiais**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.valentecastanhas.com.br/>. Acesso em: 26 out. 2019.

VOROBIEV, Alexander. **Clipe Excêntrico**. Rússia, 29 maio 2016. Disponível em: <http://al-vo.ru/mekhanika/ehkscentrikovyj-zazhim.html>. Acesso em: 1 out. 2020.

WARFIELD, Bob. **Climb Milling versus Conventional Milling**. CNC Cookbook, [2018?]. Disponível em: <https://www.cnccookbook.com/climb-milling-versus-conventional-milling/>. Acesso em: 19 set. 2020.

WORLDTOOLS. **Centralizador Eletrônico: CENTRALIZADOR COM INFRA-VERMELHO E BEEPER HASTE Ø 20MM - VPS-20BM MAWBRA**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.worldtools.com.br/produto/centralizador-com-infravermelho-e-beeper-haste-o-20mm-vps-20bm-mawbra-99451>. Acesso em: 12 set. 2020.


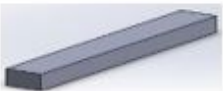









ANEXO A - CORPO DE PROVA












ANEXO B - MATRIZ MORFOLÓGICA DA OPERAÇÃO 10

Funções	Princípios de soluções					
Posicional na vertical	 Esquadro	 Torre de fixação por parafuso	 Torre de fixação por ranhuras T			
Acomodação da peça	 Bloco em V	 Bloco em U	 Bloco magnético	 Morsa autocentrante	 Morsa dupla autocentrante	 Placa autocentrante
Método de fixação da peça	 Aperto por parafuso	 Alavanca de aperto rápido	 Método de came	 Aperto hidráulico	 Aperto pneumático	




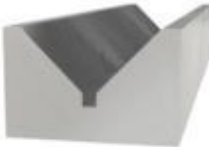










ANEXO C - MATRIZ MORFOLÓGICA DA OPERAÇÃO 20

Funções	Princípios de soluções					
Posicional na horizontal	 <p>Esquadro</p>	 <p>Calço</p>				
Acomodação da peça	 <p>Bloco em V</p>	 <p>Bloco em U</p>	 <p>Bloco magnético</p>	 <p>Morsa auto centrante</p>	 <p>Calço regulavel</p>	 <p>Pino guia</p>
Método de fixação da peça	 <p>Aperto por parafuso</p>	 <p>Alavanca de aperto rápido</p>	 <p>Método de came</p>	 <p>Aperto hidráulico</p>	 <p>Aperto pneumático</p>	 <p>Mandril de fixação lateral</p>


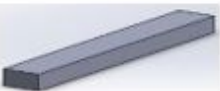












ANEXO D - MATRIZ MORFOLÓGICA DA OPERAÇÃO 10, PRIMEIRO PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO

Funções	Princípios de soluções					
<p>Posicional na vertical</p>	 <p>Esquadro</p>	 <p>Torre de fixação por parafuso</p>	 <p>Torre de fixação por ranhuras T</p>			
<p>Acomodação da peça</p>	 <p>Bloco em V</p>	 <p>Bloco em U</p>	 <p>Bloco magnético</p>	 <p>Morsa autocentrante</p>	 <p>Morsa dupla autocentrante</p>	 <p>Placa autocentrante</p>
<p>Método de fixação da peça</p>	 <p>Aperto por parafuso</p>	 <p>Alavanca de aperto rápido</p>	 <p>Método de came</p>	 <p>Aperto hidráulico</p>	 <p>Aperto pneumático</p>	















ANEXO E - MATRIZ MORFOLÓGICA DA OPERAÇÃO 10, SEGUNDO PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO

Funções	Princípios de soluções					
<p>Posicional na vertical</p>	 <p>Esquadro</p>	 <p>Torre de fixação por parafuso</p>	 <p>Torre de fixação por ranhuras T</p>			
<p>Acomodação da peça</p>	 <p>Bloco em V</p>	 <p>Bloco em U</p>	 <p>Bloco magnético</p>	 <p>Morsa autocentrante</p>	 <p>Morsa dupla autocentrante</p>	 <p>Placa autocentrante</p>
<p>Método de fixação da peça</p>	 <p>Aperto por parafuso</p>	 <p>Alavanca de aperto rápido</p>	 <p>Método de came</p>	 <p>Aperto hidráulico</p>	 <p>Aperto pneumático</p>	

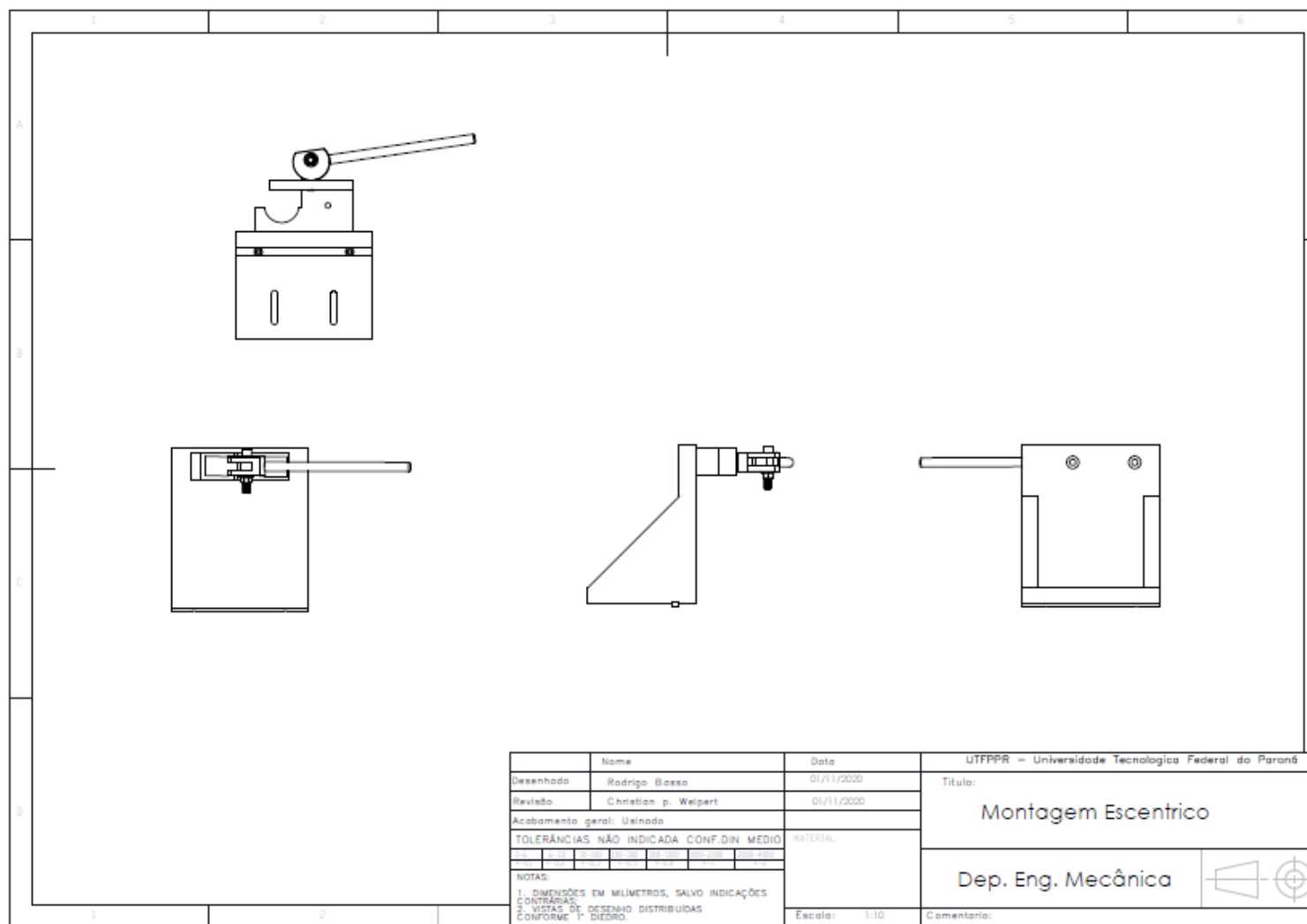
ANEXO F - MATRIZ MORFOLÓGICA DA OPERAÇÃO 20, PRIMEIRO PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO

Funções	Princípios de soluções					
Posicional na horizontal	 Esquadro	 Calço				
Acomodação da peça	 Bloco em V	 Bloco em U	 Bloco magnético	 Morsa auto centrante	 Calço regulavel	 Pino guia
Método de fixação da peça	 Aperto por parafuso	 Alavanca de aperto rápido	 Método de came	 Aperto hidráulico	 Aperto pneumático	 Mandril de fixação lateral

ANEXO G - MATRIZ MORFOLÓGICA DA OPERAÇÃO 20, SEGUNDO PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO

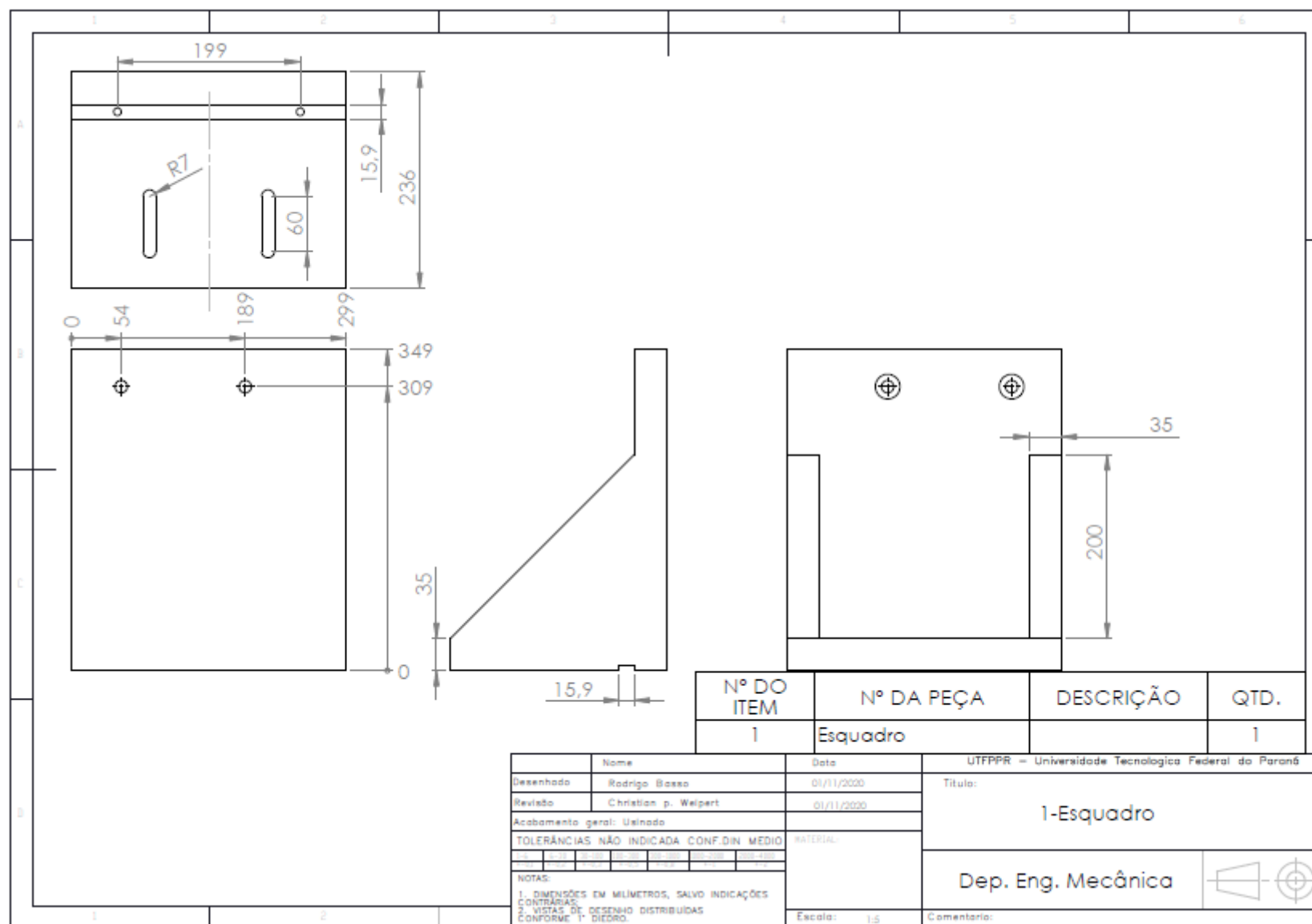
Funções	Princípios de soluções					
Posicional na horizontal	 Esquadro	 Calço				
Acomodação da peça	 Bloco em V	 Bloco em U	 Bloco magnético	 Morsa auto centrante	 Calço regulavel	 Pino guia
Método de fixação da peça	 Aperto por parafuso	 Alavanca de aperto rápido	 Método de came	 Aperto hidráulico	 Aperto pneumático	 Mandril de fixação lateral

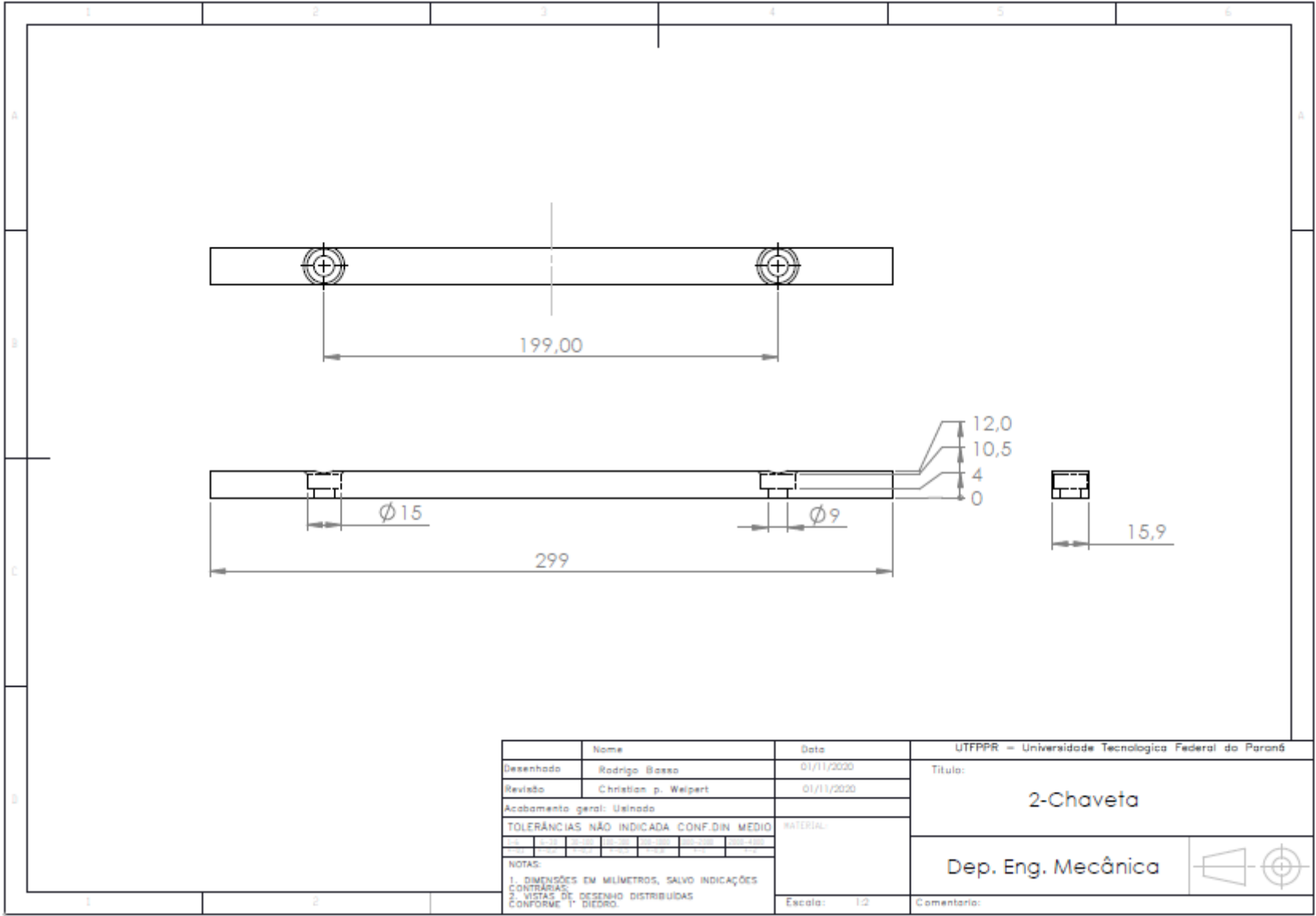
ANEXO H - COMPONENTES DO SISTEMA DE FIXAÇÃO DA OPERAÇÃO 10

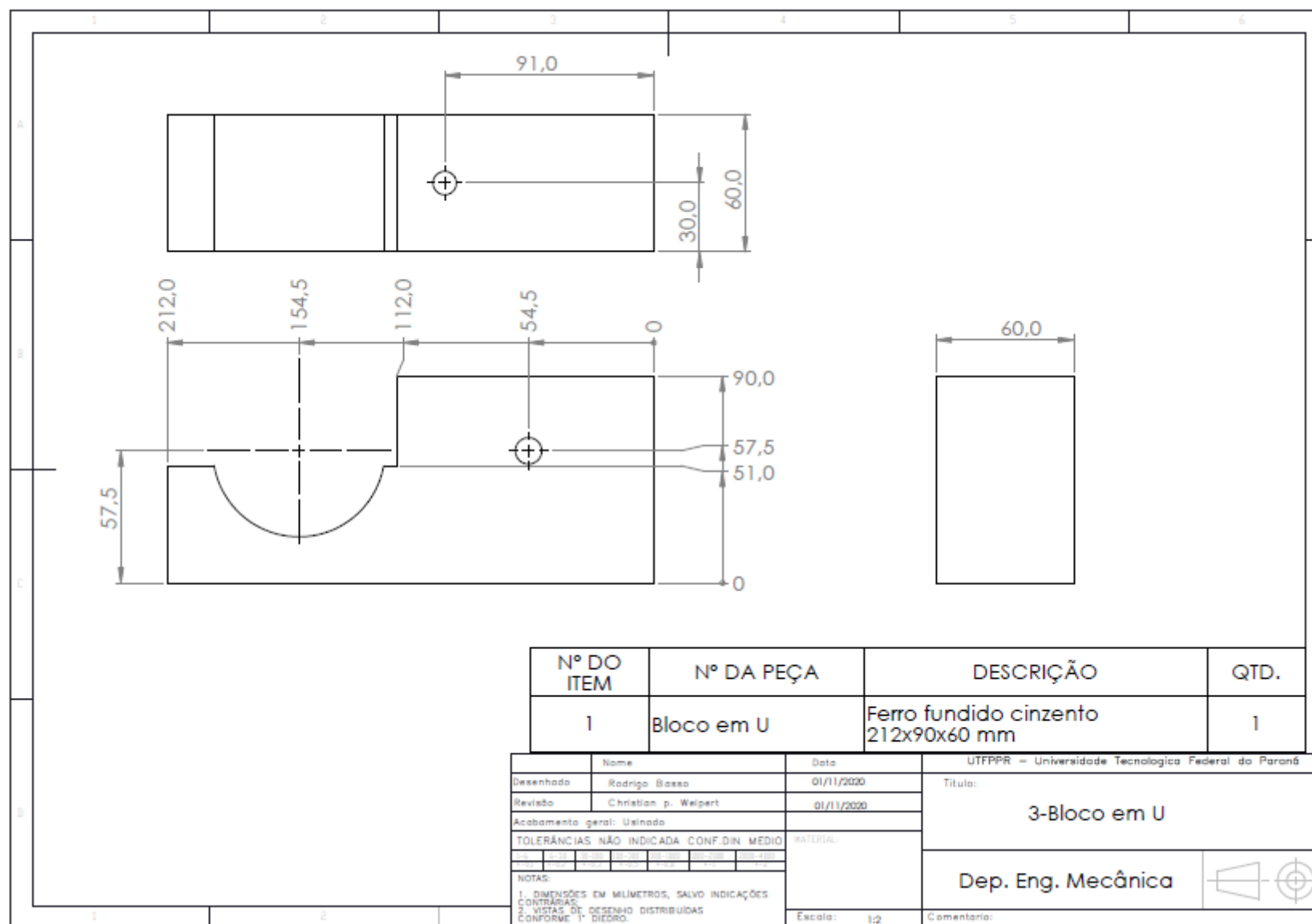


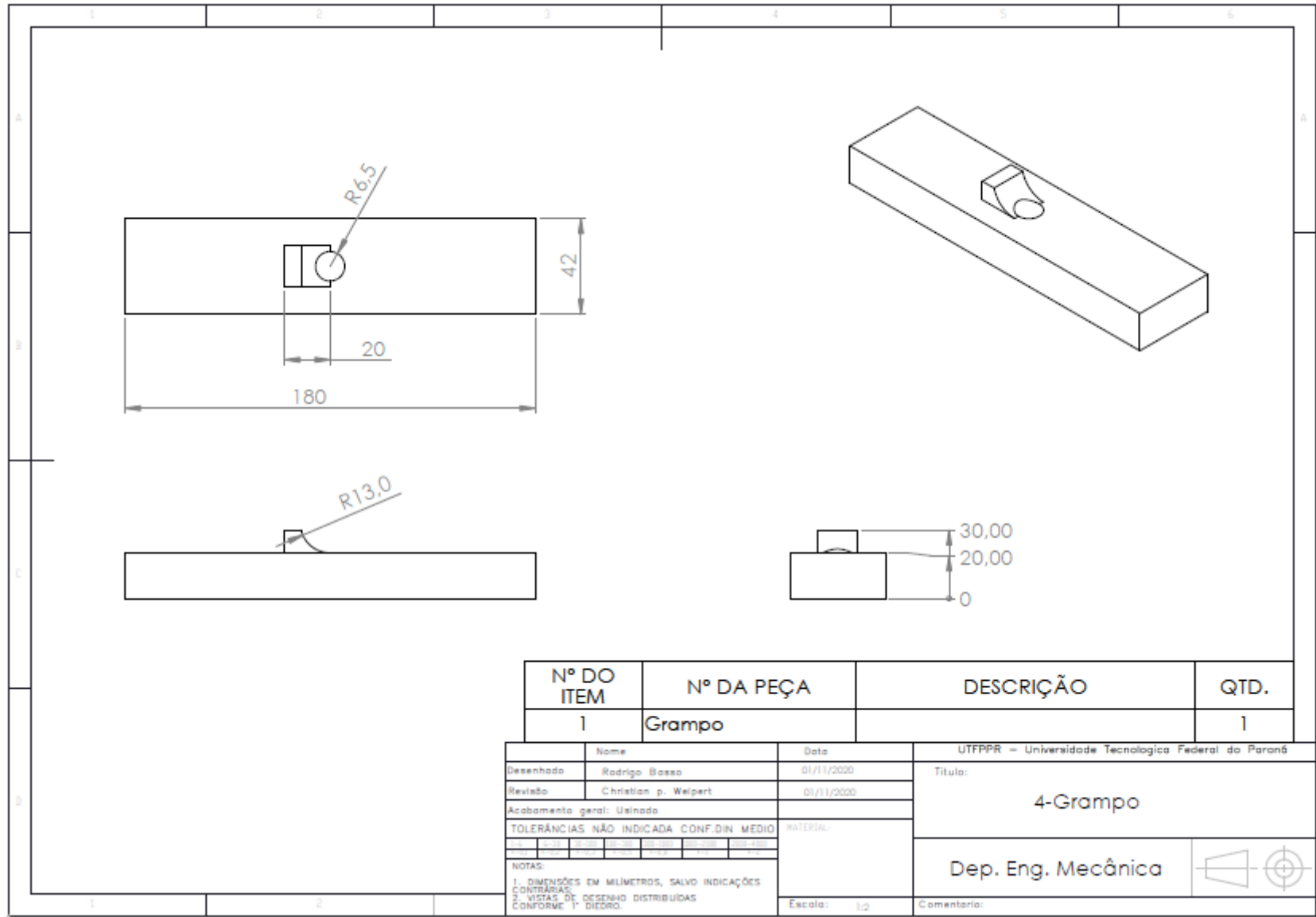
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QTD.
1	Esquadro	1
2	Chaveta	1
3	Bloco em U	1
4	Grampo	1
5	Olhal Conector	1
6	Escentrico Duplo	1
7	Alavanca	1
8	Parafuso Allen M14x80mm	1
9	Porca M14	1
10	Barra Roscada M12x100m	1

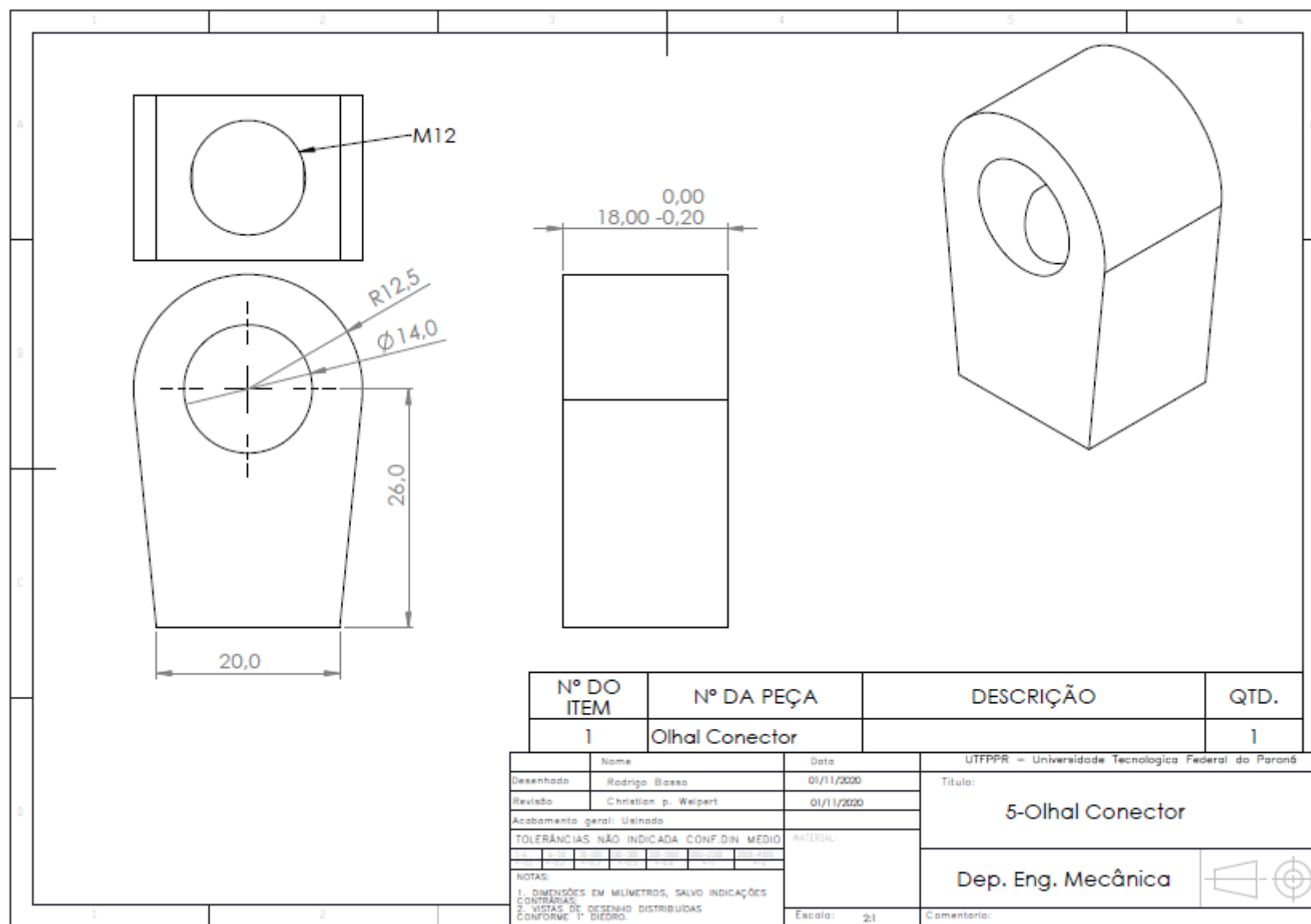
Nome		Data		UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná	
Desenhado: Rodrigo Basso		01/11/2020		Título:	
Revisado: Christian P. Weipert		01/11/2020		Desenho Montagem Escentrico	
Acabamento geral: Usinado		MATERIAL:		Dep. Eng. Mecânica	
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADA CONFORME DIN MEDIO		Escala: 1:5			
NOTAS: 1. DIMENSÕES EM MILÍMETROS, SALVO INDICAÇÕES CONTRARIAS. 2. VISTAS DE DESENHO DISTRIBUÍDAS CONFORME 1º DEDRO.					

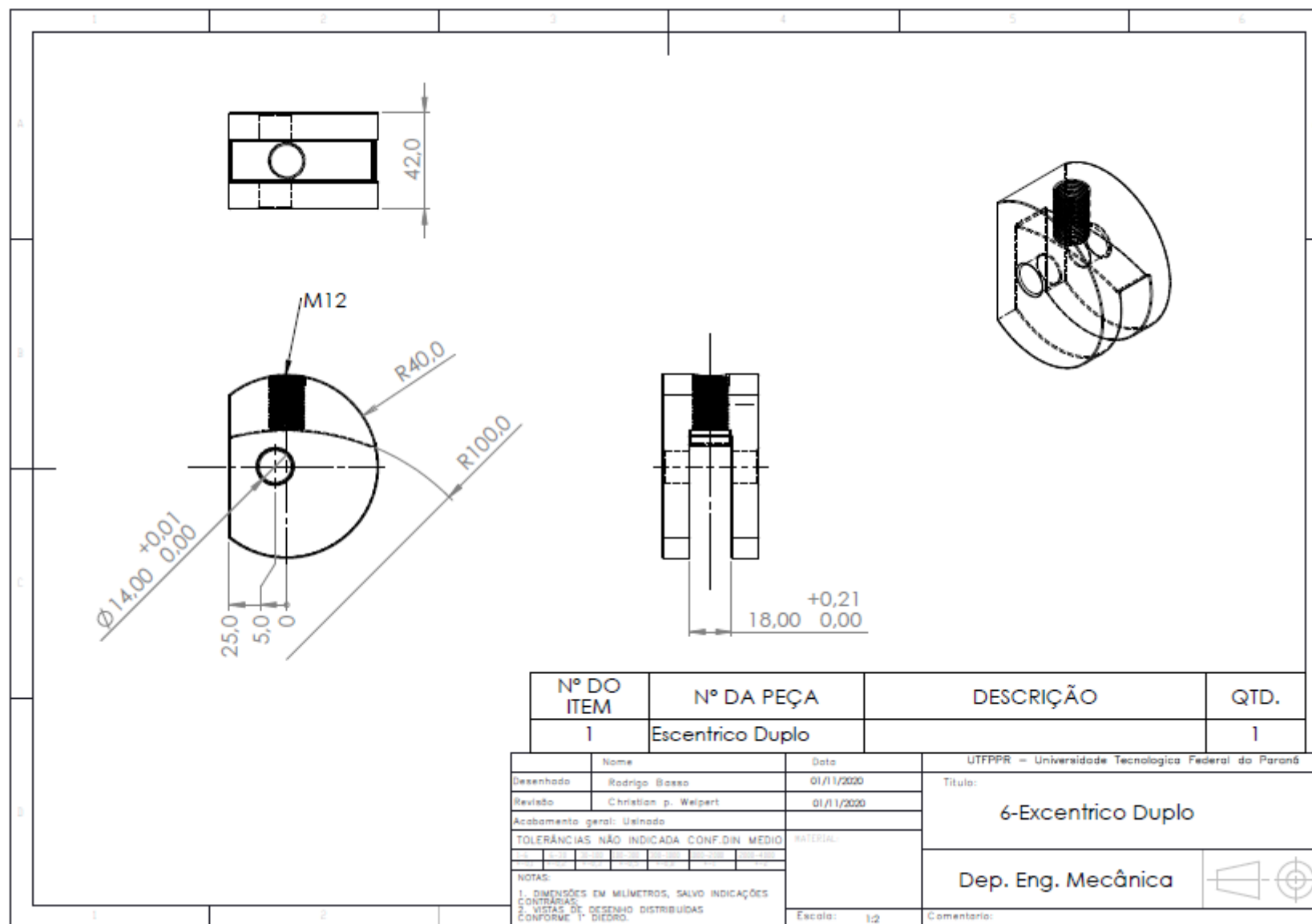


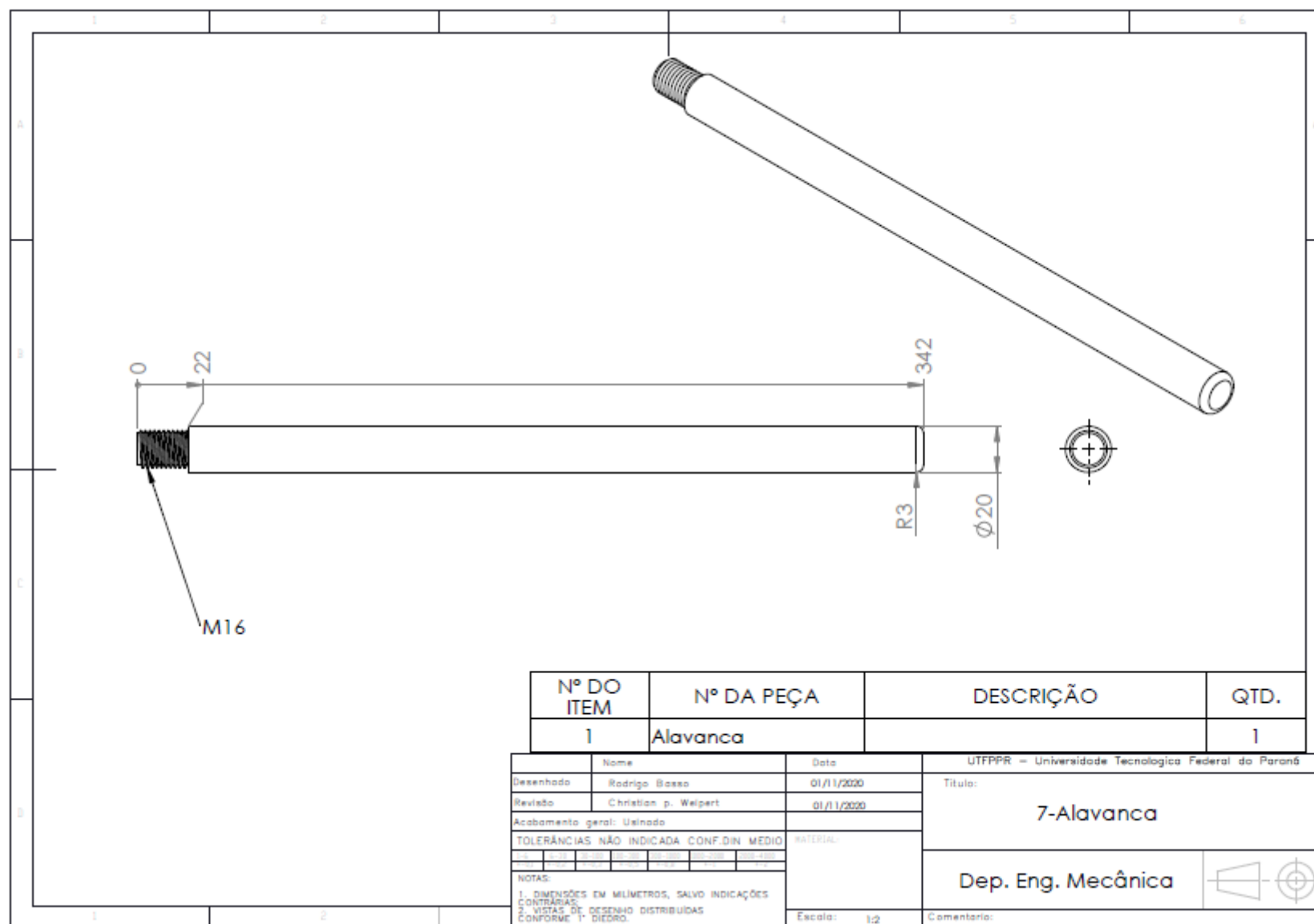




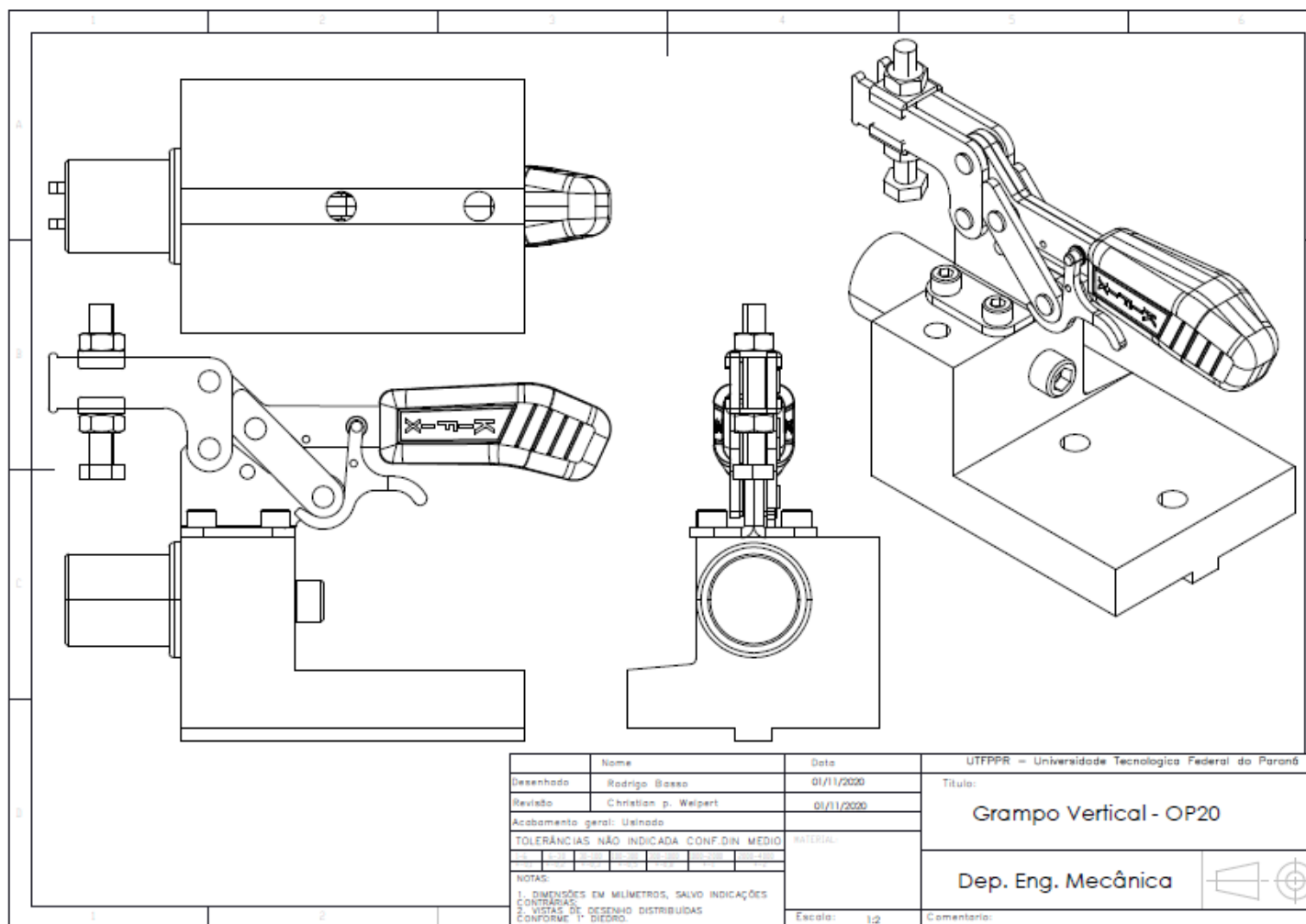


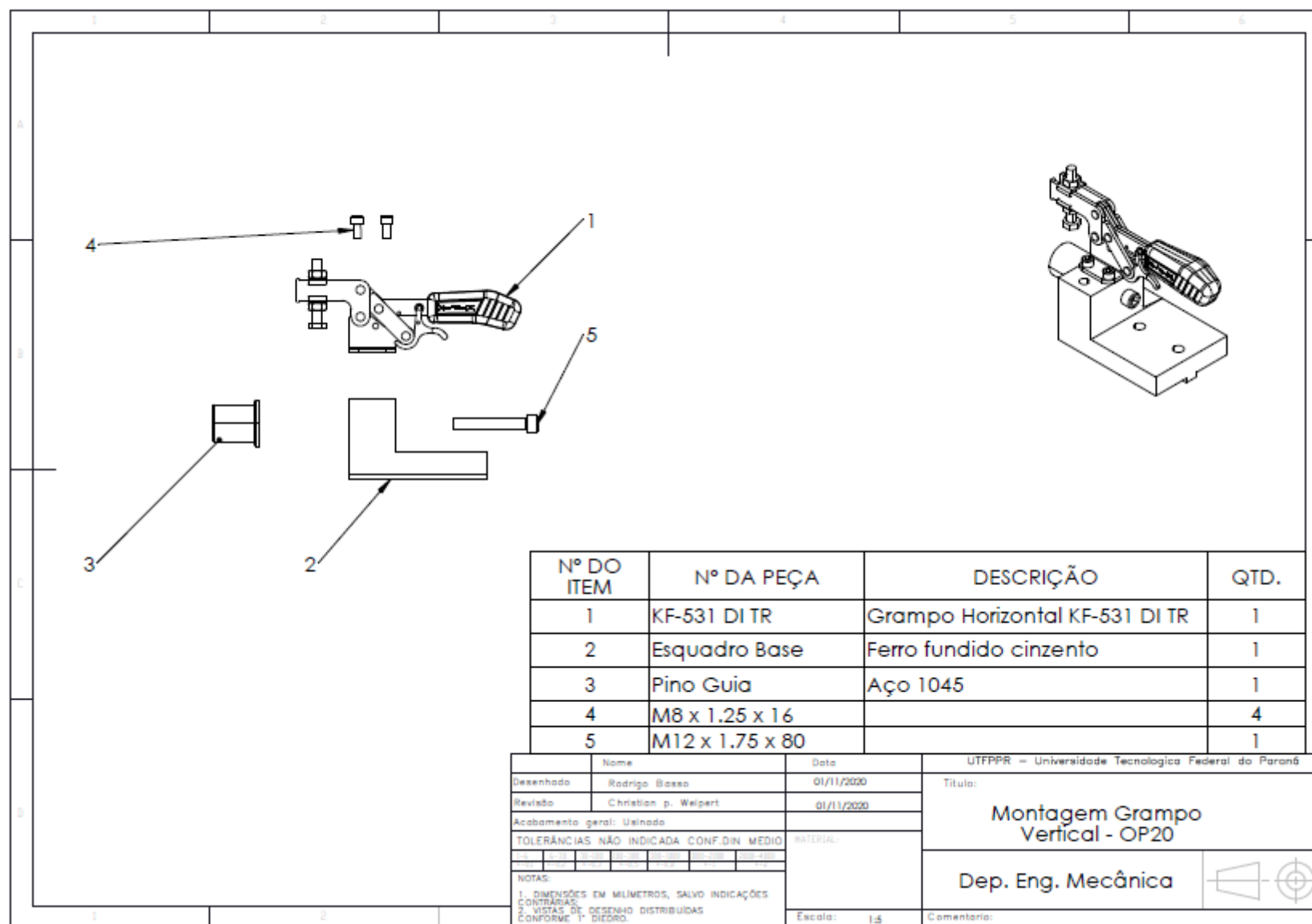


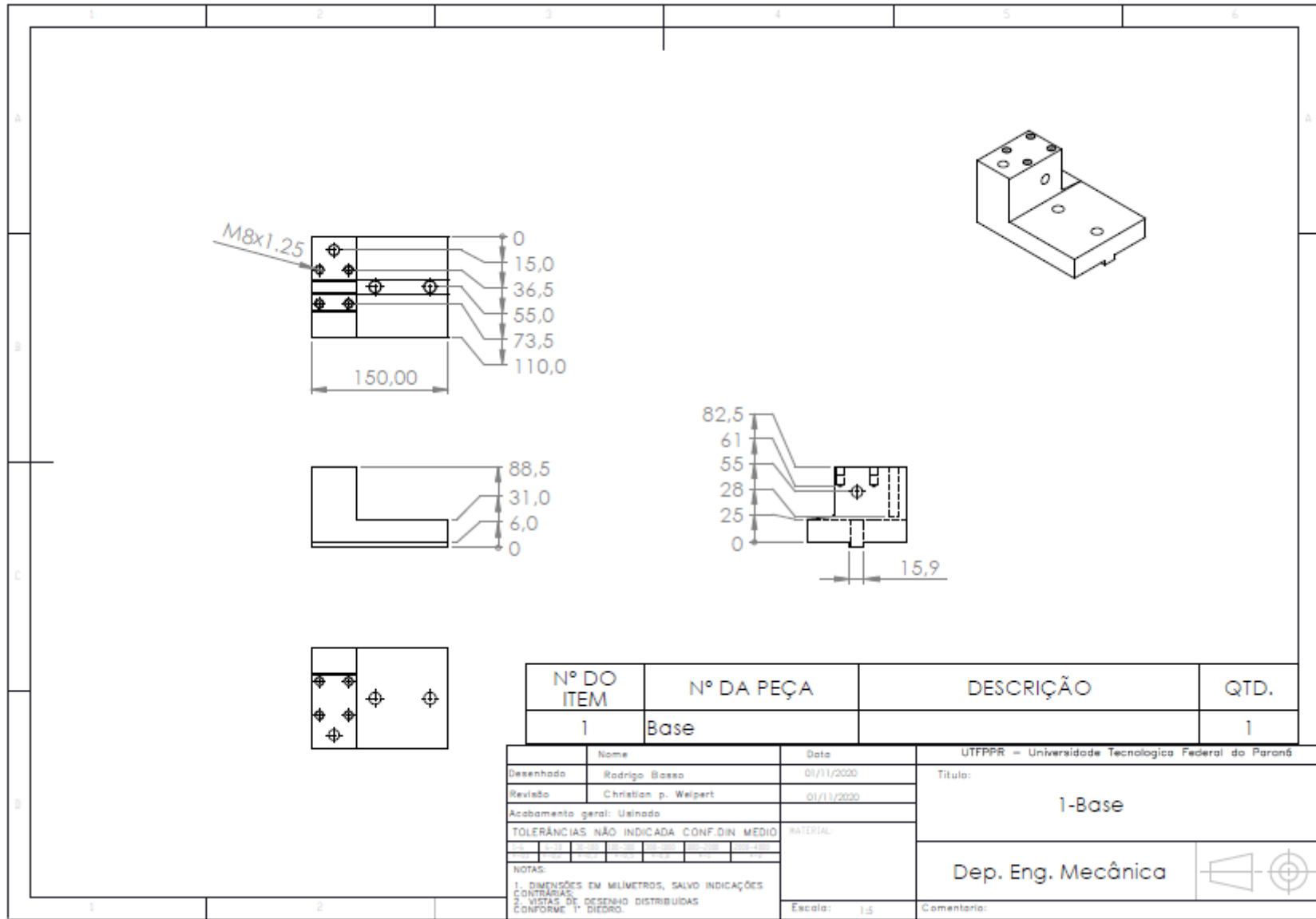


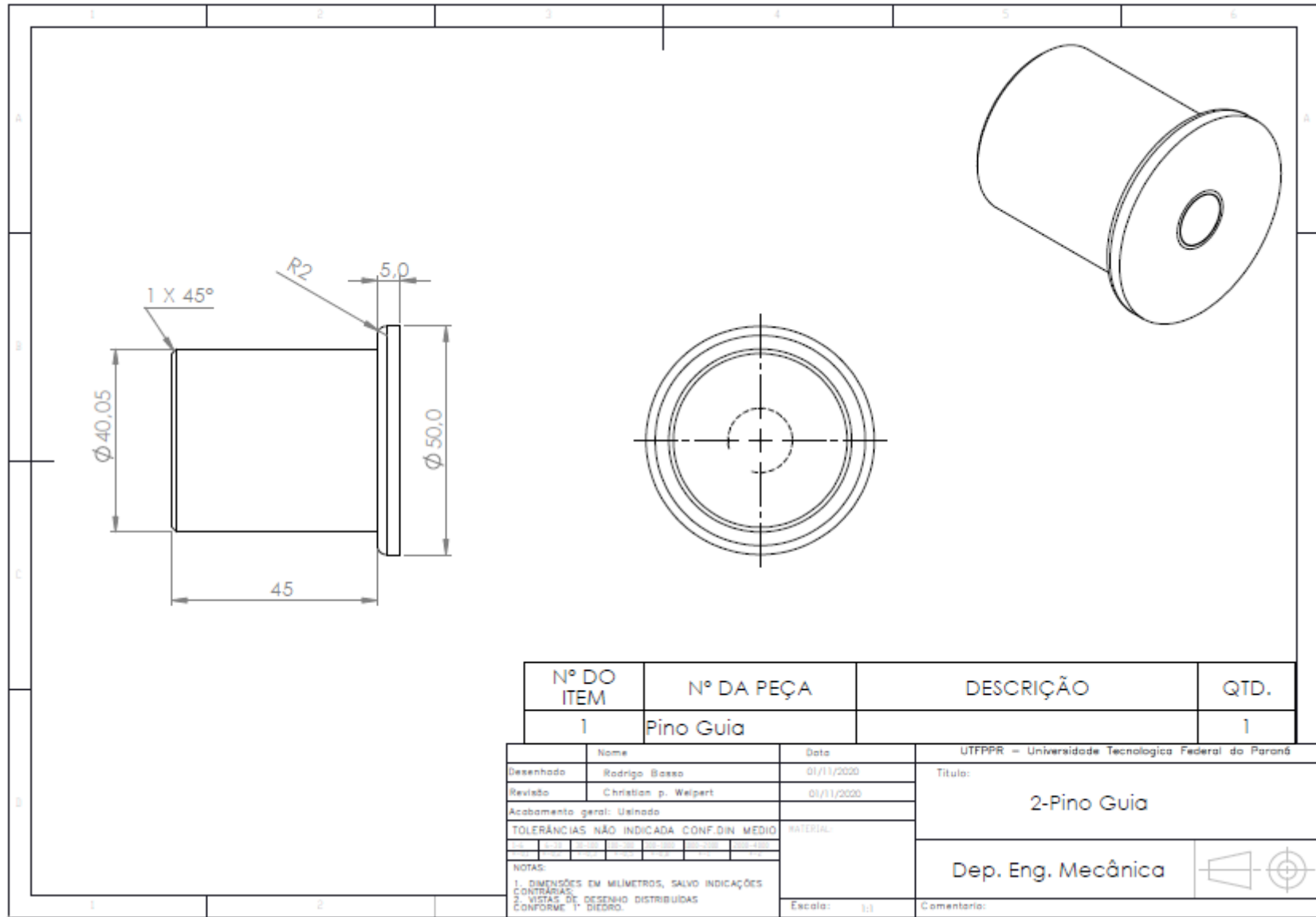


ANEXO I - COMPONENTES DO SISTEMA DE FIXAÇÃO DA OPERAÇÃO 20









Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	Pino Guia		1

Nome		Data	UTFPPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Desenhado: Rodrigo Basso		01/11/2020	
Revisado: Christian p. Welpert		01/11/2020	Título: 2-Pino Guia
Acabamento geral: Usinado			
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADA CONFORME DIN MEDIO		MATERIAL:	Dep. Eng. Mecânica
NOTAS: 1. DIMENSÕES EM MILÍMETROS, SALVO INDICAÇÕES CONTRARIAS; 2. VISTAS DE DESENHO DISTRIBUIDAS CONFORME 1º DEDRO.		Escala: 1:1	
			Comentário:

