

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM
SISTEMAS PRODUTIVOS

DAVI CARDOZO DUARTE JUNIOR

ANÁLISE DOS ESFORÇOS DE CORTE EM PEÇAS FIXADAS POR SISTEMA DE
VÁCUO

São Paulo

Junho/2020

DAVI CARDOZO DUARTE JUNIOR

ANÁLISE DOS ESFORÇOS DE CORTE EM PEÇAS FIXADAS POR SISTEMA DE
VÁCUO

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação do Prof. Dr. Francisco Tadeu Degasperi

São Paulo
Junho/2020

D812a Duarte Junior, Davi Cardozo
Análise dos esforços de corte em peças fixadas por sistema de vácuo / Davi Cardozo Duarte Junior. – São Paulo: CPS, 2020.
52 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Tadeu Degasperi
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza.

1. Sistemas produtivos. 2. Parâmetros de usinagem. 3. Sistema de fixação à vácuo. 4. Polímero termofixo. 5. Design science research. I. Degasperi, Francisco Tadeu. II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

DAVI CARDOZO DUARTE JUNIOR

TÍTULO: ANÁLISE DOS ESFORÇOS DE CORTE EM PEÇAS FIXADAS POR SISTEMA
DE VÁCUO

Prof. Dr. Francisco Tadeu Degasperi
Representado pelo Prof. Dr. Humber Furlan

Profa. Dra. Edilene de Cássia Dutra Nunes

Prof. Dr. Eduardo Acedo Barbosa

São Paulo, 17 de junho de 2020

Ao mestre Jesus pelo dom da vida
Aos meus pais Davi e Roseli pelo incentivo
À minha esposa Viviane pelo amor
Aos meus filhos Pablo e Nicole pela
compreensão de minha ausência

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador prof. Dr. Francisco Tadeu Degasperi por todos os seus esforços, todo o seu conhecimento e todo a sua maestria no Ensino e Pesquisa.

À Profa. Dra. Edilene de Cássia Dutra Nunes pelo companheirismo, dedicação e sua enorme contribuição na Dissertação com seus profundos conhecimentos no âmbito da pesquisa científica.

Ao prof. Dr. Humber Furlan por todos os seus conselhos, correções e orientações durante todo o Programa de Mestrado Profissional do Centro Paula Souza.

Ao prof. Marcílio Manzan pelo apoio e por me incentivar, desde 2012, a ingressar no Mestrado.

Ao Prof. Fabiano Caio José pelo seu eterno incentivo ao nosso crescimento pessoal e pelo seu apoio à Educação.

Ao Prof. Michel Simão de Carvalho, pelo apoio, pela amizade e pelo companheirismo que são natos de sua personalidade.

Ao prof. Victor Carretti pelos seus ensinamentos na área de pneumática que abriram os meus olhos para novas possibilidades de pesquisa.

Ao prof. MSc. Alberto Palazzo pelo companheirismo e conhecimentos cruciais na área de válvulas.

Ao prof. MSc Leandro José dos Santos pelo seu empenho em proporcionar um melhor material polimérico para o sistema de vedação do dispositivo.

Ao Prof. Esp. Cesar Augusto Guerrero por compartilhar seus conhecimentos teóricos e práticos na área da Tecnologia do Vácuo.

Ao Prof. Dr. Carlos Vital Giordano pelos seus ensinamentos na área de Estatística e pelas suas oficinas temáticas que sempre agregaram para a Pesquisa Científica baseada em dados coletados.

À Profa. Dra. Eliane Antonio Simões pelos seu direcionamento e apoio na Metodologia *Design Science Research*.

Se te afeioas aos ideais de aprimoramento e
progresso, não te afastes do trabalho que
renova, do estudo que aperfeiçoa, do perdão
que ilumina, do sacrifício que enobrece e da
bondade que santifica...

(Emmanuel)

RESUMO

DUARTE JUNIOR, D. C. **Análise dos esforços de corte em peças fixadas por sistema de vácuo.** 52 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2020.

Um dos grandes desafios no ramo da usinagem de materiais ferrosos e não ferrosos é o método de fixação do produto que será usinado em máquinas operatrizes, principalmente quando este produto possui perfil irregular onde os métodos convencionais de fixação podem deformar o produto devido ao torque de aperto excessivo ou, no caso de uma fixação insuficiente para vencer a força de corte da ferramenta durante o processo de usinagem, pode ocasionar em acidentes de trabalho ao arrancar o produto do dispositivo de fixação. Baseado neste problema de campo e aplicando a Tecnologia do Vácuo para fixação e mobilidade de objetos, um projeto de dispositivo foi desenvolvido, construído e testado para validar sua eficiência em campo. Ao citar a Tecnologia do Vácuo, deve-se também, citar qual o material utilizado como sistema de vedação. Nesta pesquisa de campo foram utilizados um Elastômero Comum e um Polímero Termofixo como materiais de vedação. A metodologia de pesquisa utilizada foi o *Design Science Research* como base científica para construção, aplicabilidade e validação do protótipo utilizado nesta dissertação. Os resultados obtidos nesta pesquisa mostraram que, quanto maior a área de contato da peça com o sistema de fixação por vácuo e quanto menor sua altura, melhor será a fixação durante a usinagem e que, a, Tecnologia do Vácuo aplicada na fixação de produtos para usinagem em máquinas operatrizes, consiste num tema de pesquisa que merece e necessita de atenção no ramo científico .

Palavras-chave: Sistemas Produtivos. Parâmetros de Usinagem. Sistema de fixação à vácuo. Polímero Termofixo. *Design Science Research*

ABSTRACT

DUARTE JUNIOR, D. C. *Analysis of cutting parameters on parts fixed by vacuum clamping system*. 52 p. Dissertation (Professional Master's in Management and Technology in Productive Systems). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2020.

One of the major challenges in the field of machining ferrous and non-ferrous materials is the method of fixing the product that will be machined on machine tools, especially when this product has an irregular profile where conventional fixing methods can deform the product due to the tightening torque. excessive or, in the case of insufficient clamping to overcome the cutting force of the tool during the machining process, it can cause accidents at work when pulling the product out of the clamping device. Based on this field problem and applying Vacuum Technology for fixing and moving objects, a device design was developed, built and tested to validate its efficiency in the field. When citing Vacuum Technology, it should also be mentioned which material is used as a sealing system. In this field research a Common Elastomer was used and a Thermoset Polymer as sealing materials. The research methodology used was Design Science Research as a scientific basis for construction, applicability and validation of the prototype used in this dissertation. The results obtained in this research showed that the greater the contact area of the part with the vacuum clamping system and the smaller its height, the better the clamping during machining and that, the Vacuum Technology applied in clamping products for machining on machine tools, is a research topic that deserves and needs attention in the scientific field..

Keywords: Productive Systems. Machining Parameters. Vacuum clamping systems. Thermoset Polymer. Design Science Research

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas de pressão do vácuo	25
Tabela 2- Corpos de prova (valores em mm)	34
Tabela 3 - Dados do Experimento Discordante corpo de prova $\varnothing = 30$ mm	38
Tabela 4 - Dados do Experimento Discordante corpo de prova $\varnothing = 40$ mm	38
Tabela 5 - Dados do Experimento Discordante corpo de prova $\varnothing = 60$ mm	38
Tabela 6 - Dados do Experimento Concordante corpo de prova $\varnothing = 30$ mm	39
Tabela 7 - Dados do Experimento Concordante corpo de prova $\varnothing = 40$ mm	40
Tabela 8 - Dados do Experimento Concordante corpo de prova $\varnothing = 60$ mm	40
Tabela 9 – Resultados do Corpo de prova de $\varnothing = 30$ mm.....	42
Tabela 10 - Resultados do Corpo de prova de $\varnothing = 40$ mm	42
Tabela 11 - Resultados do Corpo de prova de $\varnothing = 60$ mm	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho Técnico Mecânico conceitual	18
Figura 2 - Simulação gráfica computacional utilizando CAM.....	20
Figura 3 - Morsa Hidráulica para máquina CNC	22
Figura 4 - Placa pneumática para Torno CNC	22
Figura 5 - Encontro Anual de usuários CAM para o setor Moveleiro	23
Figura 6 - Configuração genérica de sistemas de vácuo	25
Figura 7 - Mesa de fixação de peças por sistema de vácuo	27
Figura 8 - Mesa de fixação de peças AMF aplicado à movelaria.....	27
Figura 9 - Mesa de fixação de peças AMF aplicado à gravação à laser.....	27
Figura 10 - Fresamento Discordante e Fresamento Concordante.....	28
Figura 11 - Forças de Corte no Fresamento Discordante e Concordante.....	29
Figura 12 - Dispositivo de Fixação	32
Figura 13 – Fresadora Ferramenteira KONE	32
Figura 14 - Fresa de topo Ø12 mm.....	33
Figura 15 - Fases da pesquisa <i>Design Science</i> e os diferentes momentos do ciclo de desenvolvimento do artefato tecnológico	33
Figura 16 - Esquema de conexão com a bomba de vácuo.....	34
Figura 17 - Montagem real utilizada no experimento	35
Figura 18 - Válvula geradora de vácuo	36
Figura 19 - Tubo de Venturi.....	37
Figura 20 - Vacuômetro.....	37
Figura 21 - Montagem do experimento com elastômero comum.....	39
Figura 22 - Montagem do experimento polímero termofixo.....	40
Figura 23 - Tabela Shore de Dureza de Borrachas.....	41
Figura 24 - Fuso de Rosca Trapezoidal e Mancal	44
Figura 25 - Deslocamento em função da rotação do fuso	45
Figura 26 - Fuso de Esferas Recirculantes	45
Figura 27 - Corpo de prova Ø60 x 60 mm	46
Figura 28 - 6 Graus de Liberdade de um elemento	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Fresamento Concordante.....	43
Gráfico 2 - Fresamento Discordante.....	43

LISTA DE SIGLAS

\emptyset	Diâmetro
A1	Área 1
A2	Área 2
Ap	profundidade de corte
Ae	largura de corte
CAD	Desenho Assistido por Computador
CAM	Manufatura Assistida por Computador
CNC	Comando Numérico Computadorizado
F	Avanço de corte da ferramenta
h	Altura
Δh	diferença de altura
P1	Pressão 1
P2	Pressão 2
RPM	Rotações por Minuto
V1	Velocidade 1
V2	Velocidade 2

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
1.1 Conceito de Usinagem CAD/CAM/CNC	16
1.2 Conceito CAD	17
1.3 Conceito CAM	18
1.4 Conceito CNC	20
1.5 Sistema de fixação do produto para usinagem	21
1.5.1 Sistema de fixação de produtos não ferrosos	23
1.5.2 Torque de aperto da peça	23
1.5.3 Forma geométrica do produto a ser usinado	24
1.5.4 Sistema de fixação à vácuo.....	24
1.5.5 Dispositivos dedicados à fixação por vácuo.....	26
1.6 Conceitos de Usinagem por Fresamento	28
2 METODOLOGIA	31
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.1 Válvula Geradora de Vácuo	35
3.2 Princípio de Venturi	36
3.3 Vacuômetro	37
3.4 Dados do Experimento – Fresamento Discordante	38
3.5 Dados do Experimento – Fresamento Concordante.....	39
CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
CONTINUIDADE DO TRABALHO	48
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICES	52

INTRODUÇÃO

No ramo das Indústrias Metalúrgicas, uma das variáveis deste complexo processo chamado usinagem de materiais, sendo ferrosos ou não-ferrosos, é o sistema de fixação de peças. O sistema de fixação de peças, numa produção seriada, necessita do consumo de elevado número de horas em projeto, preparação de máquina e ferramentas e experiência elevada tanto da parte do projetista, quanto da parte do projetista de dispositivos de fixação, quanto do operador de máquinas que será responsável pela usinagem do produto que será submetido ao processo de usinagem.

A indústria deve sempre se manter competitiva, seja otimizando processos ou reduzindo tempos e custos. Quanto maior a flexibilidade de um processo produtivo e quanto menor o custo de produção, maior será a competitividade da Metalúrgica no mercado atual.

Garcia *et al.* (2014) afirmam que as empresas que dependem das operações de usinagem estão cada vez mais procurando oportunidades de melhorias em seus processos e esta melhoria visa a manutenção da empresa no mercado objetivando a redução nos tempos dos custos, aumentando a competitividade da empresa.

Qual será a eficácia este dispositivo de fixação à vácuo será na fixação de peças durante a sua usinagem? Pensando num dos maiores desafios das Indústrias Metalúrgicas atuantes no ramo da usinagem de materiais e, objetivando um processo de fixação rápido e confiável, um protótipo de fixação à vácuo será construído e validado aplicando os conceitos da Metodologia *Design Science Research*.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. – Conceito de Usinagem CAD/CAM/CNC

A usinagem de materiais é um dos processos mais complexos no ramo da Indústria Metalúrgica. Este processo engloba uma série de fatores que necessitam permanecerem em harmonia entre si para que o resultado obtido seja, no mínimo, satisfatório.

A usinagem seriada, utilizando máquinas a CNC principalmente, proporciona rapidez, repetibilidade e redução de tempo de usinagem de um determinado produto comparando-se com a usinagem em máquinas convencionais. A programação CNC utilizando softwares CAD/CAM reduziu consideravelmente o tempo de programação para máquinas a CNC, seja torno CNC, Centro de Usinagem, Eletroerosão à fio. Empresas especializadas em Medição, *presetting* de ferramentas e Controle de Movimentos utilizando apalpadores à laser otimizam o tempo de preparação da máquina a CNC e controle dimensional do produto usinado.

Segundo Ribeiro e Souza (2015), observando a tendência do mercado, contemplando o avanço da 4ª Revolução Industrial que o mundo inteiro está abraçando esta tendência, será feito um estudo tendo como foco a usinagem de um determinado produto numa máquina a CNC. Um procedimento melhorado na usinagem CNC é o referenciamento do zero-peça por meio de apalpadores, composto por sensores de contato no qual o operador, ao realizar este procedimento, consegue alguns pontos de contato na peça e insere a geometria que esse pontos formam na máquina a CNC e dessa forma a máquina consegue estabelecer a referência entre estes pontos e a peça, gerando dessa forma o sistema de coordenadas (zero-peça) automatizado.

A usinagem de um produto numa máquina a CNC consiste num sistema que engloba vários fatores:

- Máquina operatriz;
- Ferramentas;
- Operador da máquina;
- Peça / Produto;
- Fixação da ferramenta;
- Fixação da peça;
- Programa CNC.

As empresas que dependem das operações de usinagem estão cada vez mais, procurando oportunidades de melhorias em seus processos e esta melhoria visa a manutenção da empresa no mercado objetivando a redução nos tempos dos custos, aumentando a competitividade da empresa (GARCIA *et al.*, 2014).

Observando a quantidade de variáveis que uma usinagem a CNC engloba, existe sempre a necessidade de se adotar medidas cautelosas em todas as etapas deste sistema, porém quando se trata do quesito segurança, dois itens possuem maior relevância que os demais:

- Fixação da ferramenta;
- Fixação da peça.

Neste estudo será abordado apenas o sistema de fixação da peça, pois este é o motivo fundamental deste tema de pesquisa. Será explanado aqui também, o conceito de usinagem CAD/CAM/CNC.

1.2. Conceito CAD

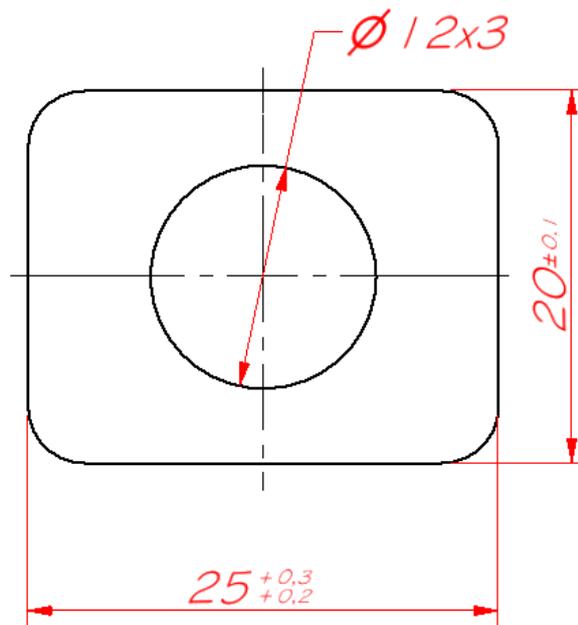
Uma empresa que utiliza a tecnologia CAD/CAM/CNC recebe o pedido do cliente numa folha detalhada seguindo as normas ABNT de um desenho técnico mecânico. O desenho técnico mecânico apresenta o material que deve ser utilizado, as dimensões geométricas, bem como as tolerâncias de forma e posição. Caso haja a necessidade de algum tratamento térmico neste produto, o mesmo deverá ser aplicado. Este trabalho abordará apenas na usinagem CAD/CAM/CNC.

Foggiatto *et al.* (2007) citam que umas das grandes vantagens na utilização dos sistemas CAD-3D está na interatividade com outras áreas. O modelo matemático pode ser utilizado para calcular volume, propriedades de massa e momentos de inércia, realizar montagens, verificar interferências, gerar desenhos de fabricação, simular o seu comportamento mecânico, prototipagem rápida, usinagem por CNC, entre outros.

O produto que será usinado necessita ser modelado num software CAD (Desenho Assistido por Computador) para a criação do modelo matemático sólido 3D. Nesta etapa do processo, para garantir a máxima precisão dimensional e reduzir a propagação de erros, este sólido matemático deverá ser modelado obedecendo às dimensões médias de cada item de sua concepção.

A principal dificuldade no uso de um software CAD é que na fase do projeto conceitual de um produto se faz necessária a inteligência do projetista tanto na criação quanto na avaliação das soluções diversas para a necessidade identificada. Isto exige a concepção de uma base de conhecimentos, além das bases de dados usuais mais utilizadas num sistema de manufatura (MARQUES *et al.*, 2016).

Figura 1 - Desenho Técnico Mecânico conceitual



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2019

A Figura 1 demonstra, neste caso, a medida 25mm que possui tolerância superior de +0,3mm e tolerância inferior de +0,2mm deverá ser modelada com 25,25mm, ou seja, será modelada respeitando a média aritmética simples do dimensional, para que o erro sistemático seja reduzido desde o momento da concepção do sólido matemático.

1.3. Conceito CAM

Após a concepção do modelo matemático, o sólido será trabalhado num software *CAM*. O software *CAM* (Manufatura Assistida por Computador) permite que o usuário aplique todas as operações de usinagem a CNC por meio de simulação gráfica computacional.

Nesta etapa do processo, durante a escolha/aplicação das ferramentas que serão utilizadas na usinagem do produto, deverão obedecer aos parâmetros de corte estabelecidos pelo fabricante de ferramenta. Estes parâmetros de corte foram determinados por meio de testes em laboratório para atingir o melhor custo/benefício da sua utilização. Deve ser observado também se a geometria da ferramenta / parâmetros de corte são direcionados ao tipo de material (aço, alumínio, ferro fundido, por exemplo) que será usinado.

De acordo com Diniz *et al.* (2006, p. 77-78) a seleção criteriosa do material da ferramenta deve ser de acordo com a observação de uma série de fatores, dentre os quais podem ser citados:

- Material a ser usinado;
- Processo de usinagem;
- Condição da máquina operatriz;
- Forma e dimensões da ferramenta;
- Custo do material da ferramenta;
- Condições de usinagem;
- Condições da operação.

Os parâmetros de corte deverão serem respeitados dentro dos limites impostos pelos fabricantes de ferramenta adicionando como variáveis o sistema de fixação e a força de usinagem.

Para Diniz *et al.* (2006, p. 61) as forças de usinagem consistem numa ação da peça sobre a ferramenta. Força de usinagem é a força total resultante que atua sobre a cunha cortante durante o processo de Usinagem.

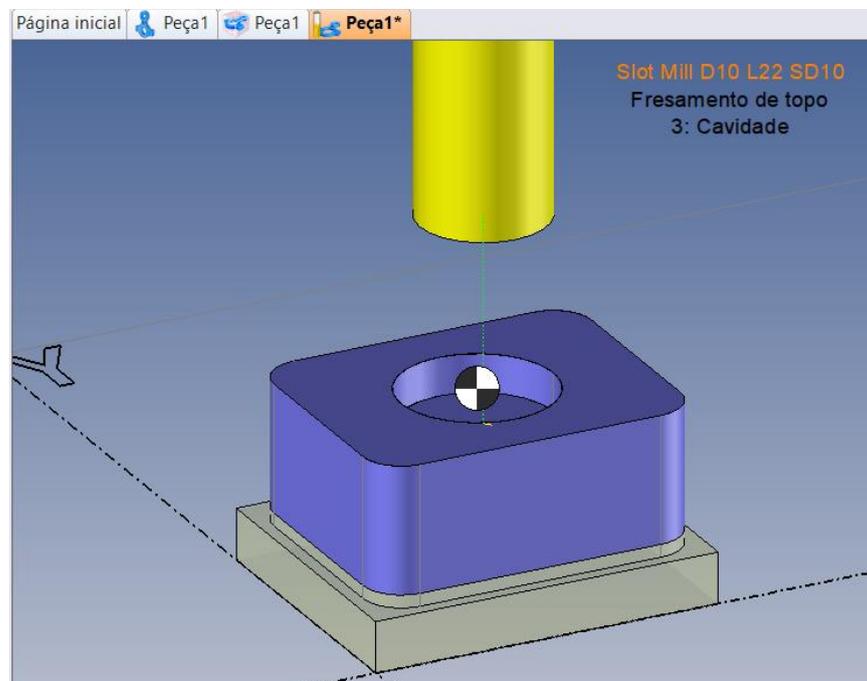
O conhecimento do comportamento e da ordem da grandeza dos esforços de corte nos processos de usinagem é de fundamental importância, pois eles afetam a potência necessária para o corte, bem como a obtenção de tolerâncias apertadas, influenciam na temperatura de corte e no desgaste da ferramenta (DINIZ *et al.*, 2006, p. 61).

Após o projeto de um produto ter sido otimizado via *CAD*, passa-se à etapa de usinagem do produto (*CAM*). A usinagem deste produto utilizando máquinas com controle numérico (*CNC*) necessitam de informações transmitidas diretamente a área de projetos onde os sólidos foram criados através de modelos matemáticos via *CAD 3D*. As máquinas de usinagem *CNC*

também necessitam de um sofisticado sistema *CAD/CAM* 3D para receber os dados e iniciar a operação de usinagem (ESPINOZA e SCHAEFFER, 2004).

Realizado a verificação da simulação gráfica da usinagem Figura 2, o software *CAM* permite a geração do código *ISO* que a determinada máquina CNC irá utilizar para a usinagem do produto. O programa CNC gerado pelo software *CAM* então é transferido para a máquina a CNC. O sistema *CAM* não trabalha completamente atualizado. Sempre é necessário usuários especializados e altamente treinados (ESPINOZA e SCHAEFFER, 2004).

Figura 2 - Simulação gráfica computacional utilizando CAM



Fonte: *TOPSOLID 7.13*, 2019

1.4. Conceito CNC

A usinagem a CNC consiste numa máquina operatriz (torno, fresadora, Eletroerosão à fio) cujo caminho da ferramenta durante a usinagem da peça é controlado por meio de um comando numérico computadorizado (daí a sigla C.N.C.). Este comando numérico e as coordenadas obedecem ao sistema cartesiano de coordenadas nos eixos X, Y e Z, exemplificando de maneira sucinta. De acordo com Santos (2017) “o CNC é um meio eletrônico que permite que sejam enviados sinais para a máquina, permitindo assim que operações de usinagem sejam executadas sem a intervenção do operador”.

A tecnologia CNC, associada à modelagem digital encontrada em sistemas *CAD* e *CAM*, suporta em grande parte a transferência do modelo matemático para a máquina com pouca intervenção humana, além de substituir os meios de transmissão de dados convencionais (papel, verbal) para o meio eletrônico (cartão de memória, *wi-fi*) (DA COSTA e PEREIRA, 2006).

Numa máquina à CNC, tanto as ferramentas quanto a matéria-prima que irá originar o produto, deverão ser fixadas de maneira adequada. As ferramentas que serão usadas na usinagem a CNC deverão ser exatamente as mesmas escolhidas na programação *CAM*.

Na montagem das ferramentas, cuidados adicionais devem ser respeitados como, por exemplo, se o comprimento que a ferramenta escolhida ficará para fora do suporte seja suficiente para usinar determinada profundidade da peça/produto.

Após o controle de todas as variáveis envolvidas no processo *CAD/CAM/CNC* chegamos ao ponto-chave de nosso objeto de estudo: o sistema de fixação da peça.

1.5. Sistema de fixação do produto para usinagem

O sistema de fixação da peça fecha o sistema deste processo abrangente de procedimentos chamado usinagem. Exemplos são demonstrados como a morsa (Figura 3) e placa universal (Figura 4).

Os métodos convencionais para a fixação de materiais para usinagem são:

- Morsa;
- Placa universal de 3 castanhas;
- Mesa magnetizada (para materiais ferrosos);
- Bridas;
- Grampos;
- Dispositivos automatizados com sensores, acionadores pneumáticos.

Figura 3 - Morsa Hidráulica para máquina CNC



Fonte: TRIAXIS, 2019

Figura 4 - Placa pneumática para Torno CNC



Fonte: FERMEC, 2019

O sistema/método de fixação, como dito anteriormente, é de extrema importância, principalmente no quesito segurança. Os modelos de fixação até aqui descritos são aplicáveis à vários tipos de matéria-prima. A partir deste ponto, outras variáveis serão explanadas tendo em vista apenas o que será fixado para usinagem.

1.5.1 Sistema de fixação de produtos não ferrosos

Quando se trata de materiais ferrosos, todos os modelos de fixação até aqui descritos podem ser aplicados. Porém quando o material não é ferroso, como a madeira por exemplo, não poderá ser aplicado o processo de mesa magnetizada. O exemplo da madeira foi aqui citado, devido ao rápido crescimento do mercado de usinagem CNC para Moveleira. *Softwares* de CAM já estão criando seus próprios módulos de usinagem para a Moveleira (Figura 5), bem como já existem módulos dedicados para usinagem de moldes e matrizes, por exemplo. A implantação de um Centro de Usinagem a CNC, para automatização dos processos de fabricação e o gerenciamento do projeto com a instalação do programa CAD/CAM torna-se uma opção de melhoria com o planejamento e produção de móveis personalizados (KRIEGER *et al.*, 2015).

Figura 5 - Encontro Anual de usuários CAM para o setor Moveleiro



Fonte: TOPSOLID, 2018

1.5.2 Torque de aperto da peça

Materiais maciços e com excelentes propriedades de resistência mecânica, como o Aço, por exemplo, podem ser fixados facilmente sem que o torque de aperto comumente aplicados nos sistemas de fixação convencionais, causem dano na sua superfície de contato.

Porém, quando o perfil da peça a ser fixada é tubular, os métodos convencionais de fixação começam a demonstrar restrições. O torque excessivo poderá causar a deformação da

peça que será trabalhada de acordo com MUCSI *et al.* (2014). O controle do torque de elementos de fixação constitui fator importante em equipamentos utilizados na indústria, pois adequadamente utilizados garantem a repetibilidade do processo, nas linhas de montagem de máquinas e equipamentos.

1.5.3 Forma geométrica do produto a ser usinado.

Esta variável é um dos grandes desafios ao ser automatizar um processo de fabricação que possua usinagem seja convencional ou CNC.

Como garantir a fixação do material satisfatoriamente sem que a fixação não danifique a peça com torque excessivo e que, ao mesmo tempo, apresente segurança para vencer os esforços de corte entre a ferramenta e peça usinada.

1.5.4 Sistema de fixação à vácuo.

Neste ponto que será citada a fixação à vácuo das peças que serão submetidas à um processo de usinagem, como uma das principais soluções que pretende suprir as 3 variáveis (Velocidade de Rotação, avanço de corte e profundidade de corte) do sistema de fixação aqui citadas.

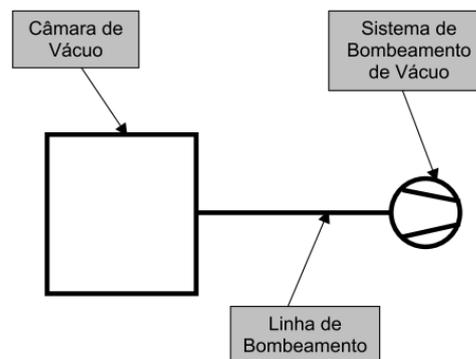
Segundo Degasperri (2002, p. 12) as principais razões para a utilização do vácuo são:

- Remover os gases ativos presentes na atmosfera da câmara de vácuo do processo a ser realizado;
- Diminuir a transferência de calor por condução e por convecção entre o meio interno e o meio externo à câmara de vácuo;
- Conseguir deformações mecânicas, movimentos, levantamento e/ou sustentação de peças por meio de diferenças de pressão;
- Aumentar o trajeto ou caminho livre de partículas elementares, átomos, elétrons, íons e moléculas para que não colidam com as moléculas da atmosfera da câmara de vácuo;

- Atingir densidades gasosas para conseguir colunas de gases ionizados, plasmas frios ou plasmas de altas temperaturas;
- Remover vapores ou gases absorvidos em materiais líquidos ou sólidos;
- Obter superfícies limpas e degaseificadas.

De acordo com Paiva (2010, p. 34) qualquer sistema de vácuo é composto basicamente por três elementos, demonstrados na Figura 6, já definidos por Guerick na antiguidade através de sua primeira experiência com os hemisférios.

Figura 6 - Configuração genérica de sistemas de vácuo



Fonte: DEGASPERI, 2002, p. 17

Uma prática comum na tecnologia do vácuo, segundo Adam *et al.* (1998), é subdividir sua ampla faixa de pressão geral, que abrange mais de 16 potências de dez, em regimes individuais menores. Estes são definidos da seguinte forma demonstrada na Tabela 1

Tabela 1 - Faixas de pressão do vácuo

Nomenclatura	Faixa de pressão de vácuo (mbar)
Baixo vácuo	$10^3 - 1$
Médio vácuo	$1 - 10^{-3}$
Alto vácuo	$10^{-3} - 10^{-7}$
Ultra alto vácuo	$10^{-7} - 10^{-14}$

Fonte: ADAM *et al.* 1998, p. 14

O controle de um processo de usinagem, por meio da otimização de todas as suas etapas, torna a empresa mais competitiva. Contudo, a modernização sempre demonstra altos valores de investimento iniciais, porém esse valor de investimento é diluído ao longo do tempo. A capacidade de monitoramento também permite outras opções tecnológicas mais avançadas. Tradicionalmente, essas opções mesmo não sendo tão viáveis, oferecem novas oportunidades de fabricação como alternativas a soluções atuais. Neste caso, a solução submetida alude a um conceito inovador de fixação a vácuo para usinagem de peças com diferentes geometrias (RUBIO MATEOS *et al.*, 2018).

O sistema de fixação deve ser eficiente e permitir alguns opcionais entre o método de usinagem, graus de liberdade e interação ferramenta/peça (GAMEROS *et al.*, 2017).

Pode-se citar Funções Essenciais de um sistema de fixação:

- Estratégia de localização: respeitando os graus de liberdade;
- Estratégia de fixação: mantem a peça rígida contra as forças de usinagem;

Funções Opcionais de um sistema de fixação são:

- Estratégia de suporte: minimizar a deformação da peça durante a usinagem;
- Interação da ferramenta: permitir o encontro da peça/ferramenta sem atrapalhar, porém, mantendo a fixação da peça.

1.5.5 Dispositivos dedicados à fixação por vácuo

Empresas estrangeiras, como o caso da AMF, estão investindo consideravelmente em pesquisa para este tipo de fixação. Sistemas de fixação por vácuo destinam-se principalmente à indústria do ramo de madeira, de plástico e metálico não-ferroso e são compatíveis com máquina de processamento CNC. Estes dispositivos utilizam a tecnologia do vácuo em combinação com mecanismos de manipulação específicos para fixar, por exemplo, uma placa de alumínio, podendo ser trabalhada a partir de todos os lados, aumentando a produtividade.

Um sistema de fixação dedicado para a fixação à vácuo para máquina a CNC, assim como suas aplicações práticas, pode ser observado nas Figura 7, Figura 8 e Figura 9.

Figura 7 - Mesa de fixação de peças por sistema de vácuo



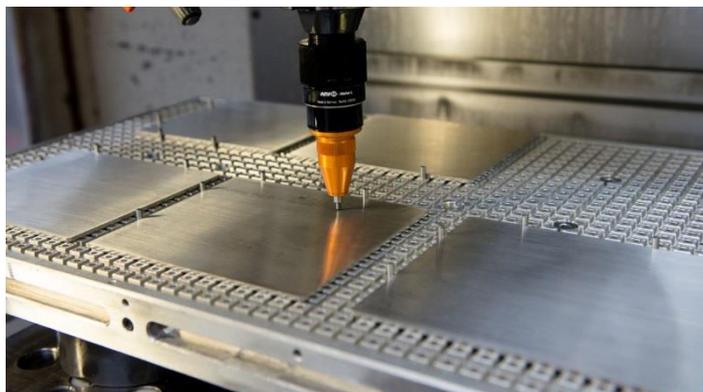
Fonte: AMF, 2019

Figura 8 - Mesa de fixação de peças AMF aplicado à movelaria



Fonte: AMF, 2019

Figura 9 - Mesa de fixação de peças AMF aplicado à gravação à laser



Fonte: AMF, 2019

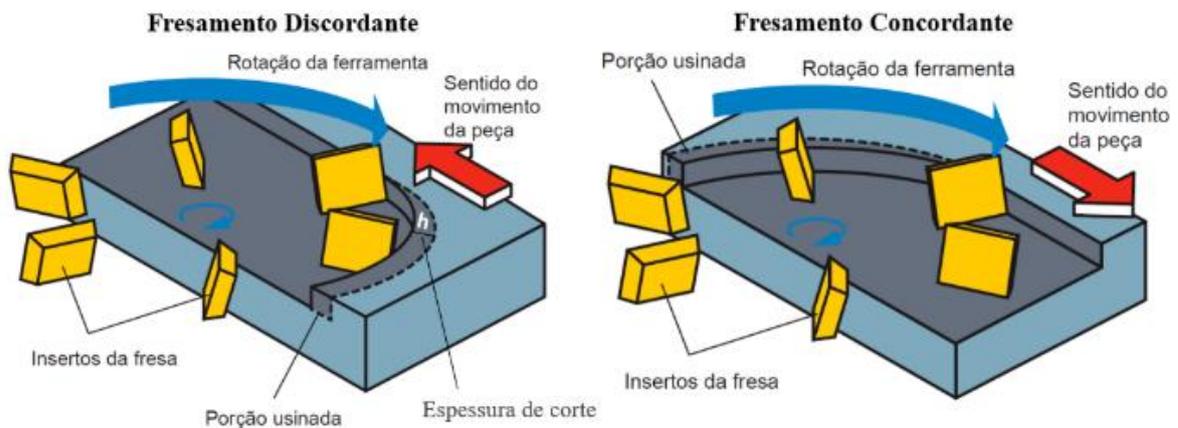
1.6. Conceitos de Usinagem por Fresamento

Dib *et al.*, (2015) afirmam que dentre os vários processos que existem para a fabricação de peças industriais, automotivas, aeroespaciais, entre outras, o fresamento é um dos processos de usinagem mais utilizados devido à sua capacidade de fabricação de peças geometricamente complexas.

De acordo com Diniz *et al.* (2006, pag. 197) o fresamento é a operação de usinagem com formação de cavaco que se caracteriza pela ferramenta multicortante, pela fresa, por possuir arestas cortantes dispostas simetricamente ao redor de um eixo. Esta ferramenta possui um movimento de rotação ao redor do seu eixo, permitindo assim que cada uma das arestas cortantes (nomeados como dentes da fresa) retire a parte de seu material que lhe compete; o movimento de avanço, que permite esta operação, é geralmente feito pela própria peça em usinagem que está fixada na própria mesa da máquina seja por uma morsa ou outro dispositivo de fixação; o movimento de avanço obriga a peça a passar sob a ferramenta que lhe dá a forma e a dimensão desejada.

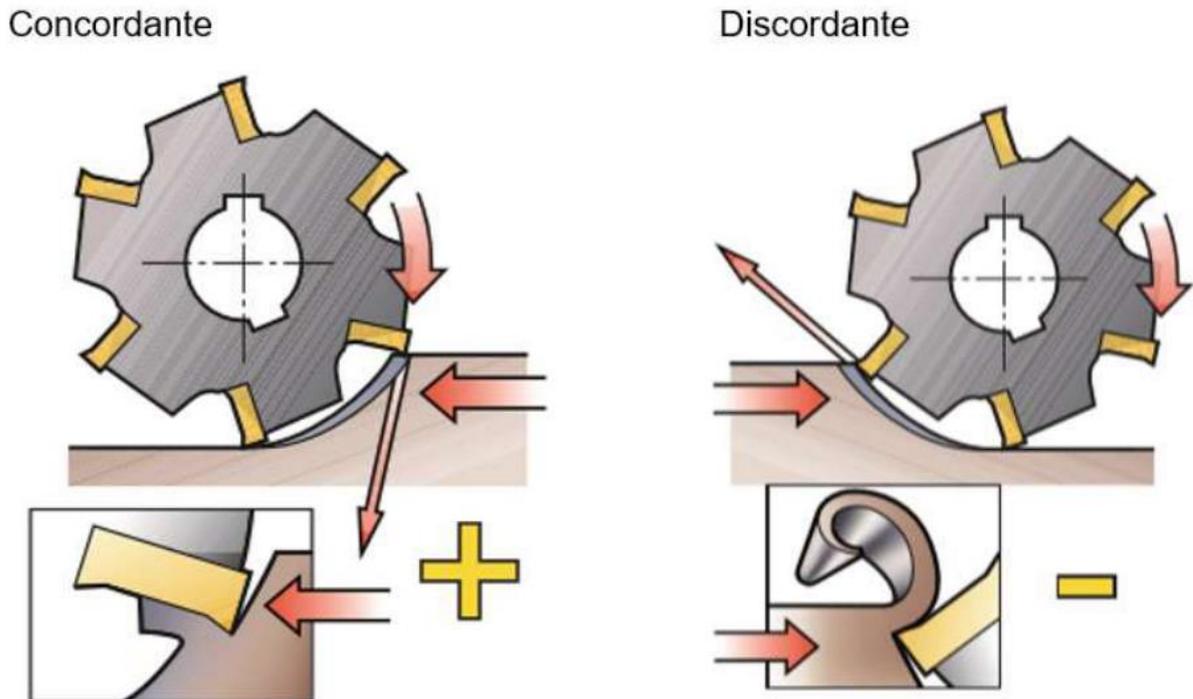
Quando o assunto tratado é o fresamento de materiais, um dos conceitos fundamentais que deve ser observado neste processo de fabricação é o sentido de corte da ferramenta, que pode ser concordante ou discordante. Esta diferença pode ser observada na Figura 10.

Figura 10 - Fresamento Discordante e Fresamento Concordante



Fonte: DIB *et al.*, 2015, p. 119

Figura 11 - Forças de Corte no Fresamento Discordante e Concordante



Fonte: BORGES, 2017, p. 27

A Figura 11 demonstra as forças envolvidas no sentido de corte, pois o dito tem grande influência no processo de usinagem atuando diretamente sobre acabamentos, forças envolvidas, temperaturas, desgaste da ferramenta e relação direta com a folga da máquina (DIB *et al.*, 2015).

De acordo com De Almeida (2019) o tipo de movimento a ser indicado para determinada usinagem depende das condições gerais envolvidas, portanto afirmar que um movimento é melhor do o outro fica muito subjetivo a essa questão. Devemos avaliar o processo como um todo e avaliar todas as variáveis possíveis. Pode-se definir algumas características no processo de fresamento:

- Tipo de máquina que irá executar a usinagem; se for máquina convencional (com relativa folga) ou CNC (sem folga ou folga reduzida). Esta escolha terá consequências diretas nos resultados da usinagem;
- O tipo de ferramenta:- ferramentas com pouca resistência ao desgaste não são indicados para o movimento discordante;
- O custo da ferramenta:- ferramentas com maior resistência ao desgaste possuem maior custo, portanto na escolha do movimento deve-se levar em conta este desbaste;

- Acabamento pretendido da peça deve ser considerado, porque este dependerá do tipo de movimento de corte utilizado.

Com relação às vantagens de cada tipo de movimento serão citadas pelo Metals Handbook (1989) como vantagens do fresamento concordante em relação ao discordante:

- Dispositivos de fixação são mais simples, porque a força do fresamento pode ser descendente;
- Aresta com ângulos de inclinação podem ser altos, reduzindo a potência requerida;
- Os cavacos ficam menos propensos a serem arrastados pelos dentes da fresa, reduzindo assim a possibilidade de prejudicar o acabamento da peça;
- O descarte do cavaco fica facilitado, pois ele acumula atrás da ferramenta e não na frente desta;
- Os desgastes da ferramenta são menores devido o corte se iniciar com espessura total no início do corte, reduzindo assim o atrito;
- Geralmente os acabamentos são melhores devido ao atrito inicial do corte não existir.

Já como vantagens do fresamento discordante em relação ao concordante pode-se citar:

- Menor impacto no início do corte, por se iniciar com zero espessura do cavaco e tornando assim mais suave a penetração da ferramenta no início do corte;
- A direção da força da usinagem compensa alguma folga existente no sentido de avanço da máquina, contribuindo para o bom acabamento;
- No fresamento de superfície em que a profundidade de corte varia em demasia;
- Mais indicado para o fresamento de peças fundidas ou forjadas com superfícies muito rugosas devido à areia ou incrustações.

2. METODOLOGIA

Pensando num dos maiores desafios das Indústrias Metalúrgicas atuantes no ramo da usinagem de materiais e, objetivando um processo de fixação rápido e confiável, um protótipo de fixação à vácuo será construído e validado aplicando os conceitos da Metodologia *Design Science Research (DSR)*.

A pesquisa desenvolvida pelo método *DSR* pode ser definida como uma pesquisa baseada na abordagem, ou seja, uma pesquisa que desenvolve conhecimento geral válido para resolver problemas de campo. A pesquisa que se utiliza dos conceitos *DSR* tem as como características as questões de pesquisa são conduzidas por problemas de campo (em oposição a problemas de conhecimento puros). Portanto é um método pragmático;

Há uma ênfase no conhecimento orientado para soluções, vinculando intervenções ou sistemas a resultados, como a chave para resolver problemas de campo. Portanto é um método intervencionista.

A justificativa dos produtos de pesquisa é amplamente baseada na validade pragmática. Portanto é comprovada pelos participantes (VAN AKEN; ROMME, 2009).

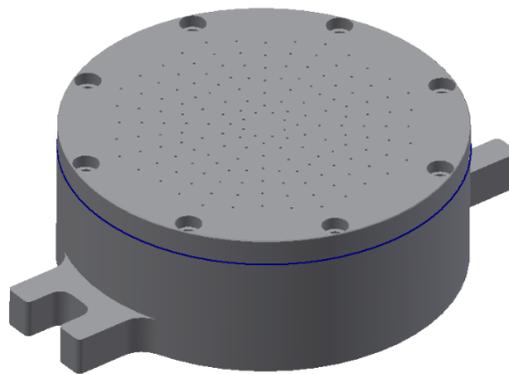
Sordi *et al.* (2015) citam que o novo conhecimento projetado para resolução de problemas, o design, deve ser aplicado na resolução de problemas específicos, daí o emprego do termo artefato para o conhecimento gerado pela pesquisa *Design Science Research*. São muitas as formas possíveis de artefatos a serem desenvolvidos no campo da administração, por exemplo. Pode ser um método, um processo, um questionário, uma forma analítica, uma escala para classificação, entre outros. A diversidade de formas possíveis para o artefato está explicitada pelo emprego do termo design para denominar a abordagem (SORDI *et al.*, 2015).

Obedecendo aos princípios da Metodologia *DSR*, foi construído um dispositivo protótipo de fixação à vácuo para usinagem de materiais ferrosos e não ferrosos. Alguns conceitos de física devem ser respeitados quando o artefato envolve o conceito de vácuo.

Um protótipo de fixação por sistema de vácuo foi construído obedecendo ao conceito da Tecnologia do Vácuo e sendo aplicado o seguinte procedimento para a realização dos testes em campo:

- a) Foram preparados corpos de prova de alumínio com formato e dimensões determinados pelo orientador do trabalho;
- b) o dispositivo de fixação à vácuo (Figura 12) foi fixado numa fresadora convencional (Figura 13) ;
- c) uma bomba de vácuo forneceu a pressão de vácuo no sistema;
- d) Houve a variação de dados de corte nos quesitos A_p (profundidade de corte) e f (avanço da ferramenta)

Figura 12 - Dispositivo de Fixação



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

Figura 13 – Fresadora Ferramenteira KONE



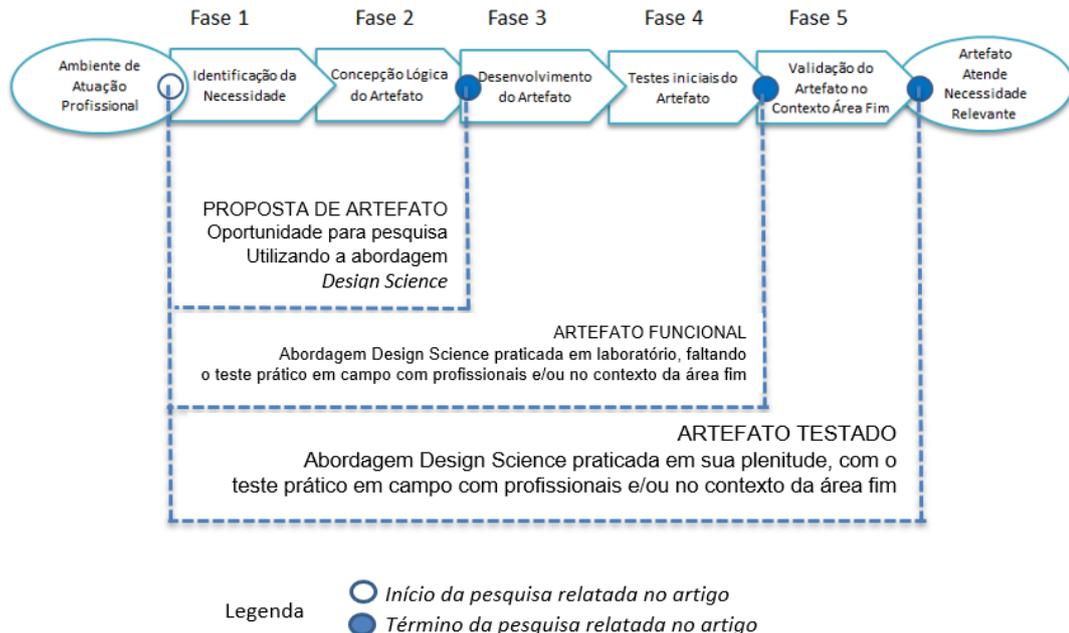
Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

Figura 14 - Fresa de topo Ø12 mm



Fonte: TOTALFIX, 2020

A validação deste dispositivo de fixação à vácuo estava condicionada se o dispositivo satisfizesse os conceitos de construção da Metodologia *DSR*. A Figura 15 descreve os diferentes momentos do ciclo de desenvolvimento de um artefato; os testes para construção e validação do artefato estão declarados como “artefato funcional”, enquanto os testes para análise de utilidade estão descritos como “artefato testado”.

Figura 15 - Fases da pesquisa *Design Science* e os diferentes momentos do ciclo de desenvolvimento do artefato

Fonte: SORDI *et al*, 2015

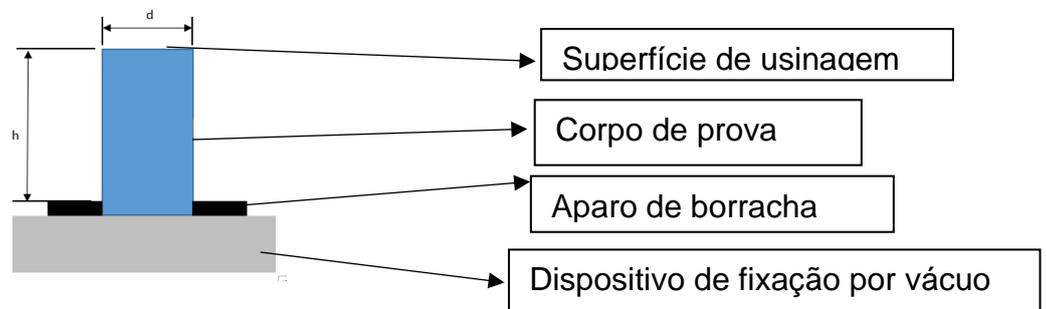
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os corpos de prova que foram confeccionados obedecendo a relação $\varnothing \times h$, sendo \varnothing =diâmetro da peça e h =altura da peça em relação ao aparo de borracha. A Tabela 2 demonstra os corpos de prova confeccionados pelo autor e a demonstra o método de fixação do corpo de prova.

Tabela 2– Corpos de prova (valores em mm)

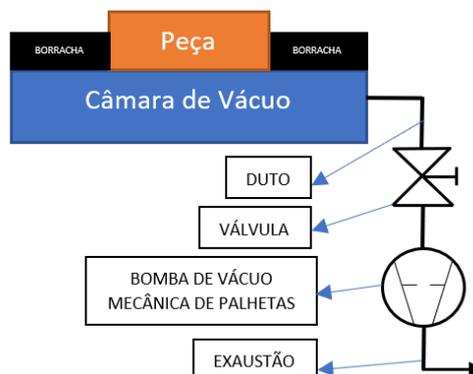
Razão de Aspecto	\varnothing 30	\varnothing 40	\varnothing 60
$h = \varnothing$	30	40	60
$h = 1,5 \times \varnothing$	45	60	90
$h = 2,0 \times \varnothing$	60	80	120
$h = 2,5 \times \varnothing$	75	100	150

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

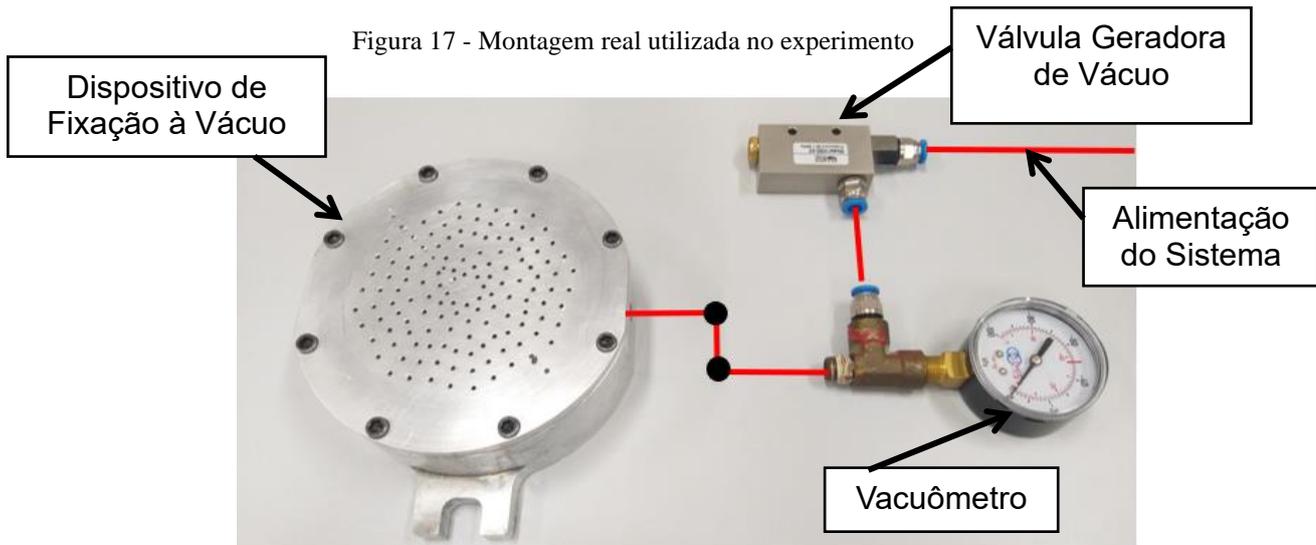


Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

Figura 16 - Esquema de conexão com a bomba de vácuo



Fonte: DEGASPERI, 2019



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

3.1 Válvula Geradora de Vácuo

Dentre alguns tipos diferentes de válvulas existentes no mercado, um dos tipos mais utilizados é a válvula geradora de vácuo (Figura 18). Esta é utilizada em conjunto com outros componentes, tais como, ventosas e vacuômetros, por exemplo, quando existe a necessidade de geração de vácuo para os processos industriais.

A válvula geradora de vácuo tem o funcionamento baseado no princípio de Venturi, onde o vácuo é gerado quando o ar comprimido passa por um difusor em alta velocidade. Para colaborar com esta tarefa de forma eficiente, esta precisa ter alta resistência à corrosão para não atrapalhar todo o processo de geração de vácuo. E para evitar a geração de dificuldades desnecessárias, é preciso que a válvula geradora de vácuo seja também, de fácil aplicação, e possa ser instalada de maneira rápida e sem complicações, sendo que suas conexões roscadas sejam padronizadas.

O controle do valor de vácuo gerado por esta válvula deve ser acompanhado utilizando um vacuômetro conectado ao sistema montado (Figura 20)

Figura 18 - Válvula geradora de vácuo



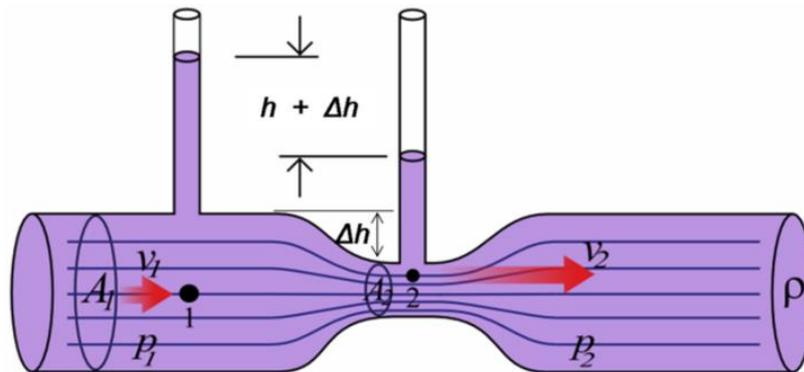
Fonte: ALFAMATEC, 2019

3.2 Princípio de Venturi

De acordo com Lima e Caetano (2015, p.3) O Venturi é um dispositivo que foi utilizado inicialmente para resolver problemas simples e melhorar o conhecimento de hidráulica. Anos após o seu desenvolvimento, passou a ter aplicações em escala industrial, principalmente para medição de vazão. O princípio de Venturi é utilizado atualmente para fins tecnológicos em diversas aplicações industriais, como os purificadores de ar, injetores de gás sólido e bombas de elevação a jato.

A Figura 19 demonstra o princípio de funcionamento de um tubo de Venturi. Imagine um fluido incompressível no ponto 1 passando pela área 1 (A_1) com velocidade 1 (V_1) e uma pressão 1 (P_1). Este fluido é obrigado a passar por um estrangulamento no ponto 2. Este estrangulamento possui uma área 2 (A_2) que é menor do que A_1 . Neste momento para que o fluido seja capaz de passar pela A_2 no mesmo tempo que pela A_1 , V_2 aumenta em relação à V_1 e P_2 reduz em relação à P_1 , criando assim o vácuo onde está “ $h + \Delta h$ ”. Esse vácuo criado por esse fenômeno será utilizado para a fixação da peça no Dispositivo de fixação por vácuo

Figura 19 - Tubo de Venturi



Fonte: CID; CORREA, 2019

3.3 Vacuômetro

Os vacuômetros são tipos de manômetros que são utilizados para medir pressões baixas próximas ao vácuo. Podem ser fabricados em materiais como aço inox, aço carbono e fenol. Vacuômetros fabricados com fenol são indicados para ser aplicados em locais em que os mesmos ficarão expostos a elementos mais abrasivos, como indústrias de papel e celulose e gráficas, sendo que este produto possui baixo custo e facilidade de instalação.

Na realidade, o vacuômetro é um manômetro (medidor de pressão) que se destina a medir pressões muito baixas, próximas da ausência completa de ar ou qualquer gás, ou seja, do vácuo. O vacuômetro também é muito útil nas aplicações automotivas para mensurar o poder de sucção de um modo quando ele entra no ciclo de admissão, ou seja, quando ele deve sugar o ar para formar a mistura ar-combustível. Assim, ele pode ser empregado na análise de funcionamento tanto dos motores como também de compressões.

Figura 20 - Vacuômetro



Fonte: ACEPIL, 2020

3.4 Dados do Experimento – Fresamento Discordante

Os dados coletados na experiência descritas são demonstrados na Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5. A usinagem foi realizada a partir de uma profundidade de corte (a_p) de 0,05mm, sendo que a mesma sofreu incremento de 0,05mm até o momento em que a peça soltava do dispositivo, avanço de 125mm/min, RPM=1600, profundidade lateral (a_e) de 5mm e uma fresa de topo \varnothing 12mm (Figura 14). Observou-se uma variação na pressão de vácuo mensurada pelo vacuômetro de acordo com as peças. A vedação dos furos residuais não cobertos pela peça teste foram tampados com elastômero comum visto na Figura 21. O material dos corpos de prova será de alumínio Naval.

Tabela 3 - Dados do Experimento Discordante corpo de prova $\varnothing = 30$ mm

Razão de Aspecto $\varnothing \times L$	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	A_e (mm)	F (mm/min)	RPM	Pressão (kPa)	A_p final (mm)
$h = \varnothing$	30	30	5	125	1600	-47	0,20
$h = 1,5 \times \varnothing$	30	45	5	125	1600	-51	0,10
$h = 2,0 \times \varnothing$	30	60	5	125	1600	-49	0,05
$h = 2,5 \times \varnothing$	30	75	5	125	1600	-50	0,05

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

Tabela 4 - Dados do Experimento Discordante corpo de prova $\varnothing = 40$ mm

Razão de Aspecto $\varnothing \times L$	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	A_e (mm)	F (mm/min)	RPM	Pressão (kPa)	A_p final (mm)
$h = \varnothing$	40	40	5	125	1600	-52	0,20
$h = 1,5 \times \varnothing$	40	60	5	125	1600	-51	0,20
$h = 2,0 \times \varnothing$	40	80	5	125	1600	-50	0,10
$h = 2,5 \times \varnothing$	40	100	5	125	1600	-52	0,05

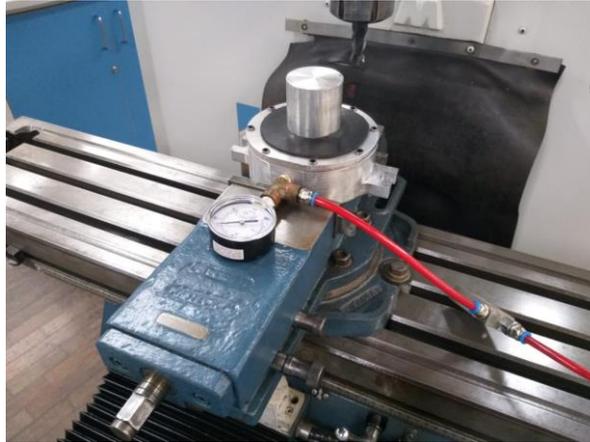
Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

Tabela 5 - Dados do Experimento Discordante corpo de prova $\varnothing = 60$ mm

Razão de Aspecto $\varnothing \times L$	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	A_e (mm)	F (mm/min)	RPM	Pressão (kPa)	A_p final (mm)
$h = \varnothing$	60	60	5	125	1600	-52	0,45
$h = 1,5 \times \varnothing$	60	90	5	125	1600	-52	0,15
$h = 2,0 \times \varnothing$	60	120	5	125	1600	-52	0,15
$h = 2,5 \times \varnothing$	60	150	5	125	1600	-52	0,05

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

Figura 21 - Montagem do experimento com elastômero comum



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

3.5 Dados do Experimento – Fresamento Concordante

Os dados coletados nos testes descritos são demonstrados na Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8. A usinagem foi realizada a partir de uma profundidade de corte (A_p) de 0,05mm, sendo que a mesma sofreu incremento de 0,05mm até o momento em que a peça soltava do dispositivo, avanço de 125mm/min, RPM=1200, profundidade lateral (A_e) de 5mm e uma fresa de topo \varnothing 12mm (Figura 14). Observou-se uma variação na pressão de vácuo mensurada pelo vacuômetro de acordo com as peças. A vedação dos furos residuais não cobertos pela peça teste foram tampados com polímero termofixo visto na Figura 22.

Deve-se ressaltar que devido ao experimento ser executado numa fresadora convencional e para este tipo de fresadora ser indicado o fresamento discordante (Capítulo 1.6), por medida de segurança do operador foi adotado a RPM de 1200 em todos os testes com este tipo de fresamento.

Tabela 6 - Dados do Experimento Concordante corpo de prova $\varnothing = 30$ mm

Razão de Aspecto $\varnothing \times L$	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	A_e (mm)	F (mm/min)	RPM	Pressão (kPa)	A_p final (mm)
$h = \varnothing$	30	30	5	125	1200	-49	0,05
$h = 1,5 \times \varnothing$	30	45	5	125	1200	-52	0,05
$h = 2,0 \times \varnothing$	30	60	5	125	1200	-50	0,05
$h = 2,5 \times \varnothing$	30	75	5	125	1200	-48	0,05

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

Tabela 7 - Dados do Experimento Concordante corpo de prova $\varnothing = 40$ mm

Razão de Aspecto $\varnothing \times L$	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Ae (mm)	F (mm/min)	RPM	Pressão (kPa)	Ap final (mm)
$h = \varnothing$	40	40	5	125	1200	-51	0,20
$h = 1,5 \times \varnothing$	40	60	5	125	1200	-50	0,05
$h = 2,0 \times \varnothing$	40	80	5	125	1200	-50	0,05
$h = 2,5 \times \varnothing$	40	100	5	125	1200	-50	0,05

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

Tabela 8 - Dados do Experimento Concordante corpo de prova $\varnothing = 60$ mm

Razão de Aspecto $\varnothing \times L$	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Ae (mm)	F (mm/min)	RPM	Pressão (kPa)	Ap final (mm)
$h = \varnothing$	60	60	5	125	1200	-50	0,40
$h = 1,5 \times \varnothing$	60	90	5	125	1200	-51	0,15
$h = 2,0 \times \varnothing$	60	120	5	125	1200	-50	0,05
$h = 2,5 \times \varnothing$	60	150	5	125	1200	-48	0,05

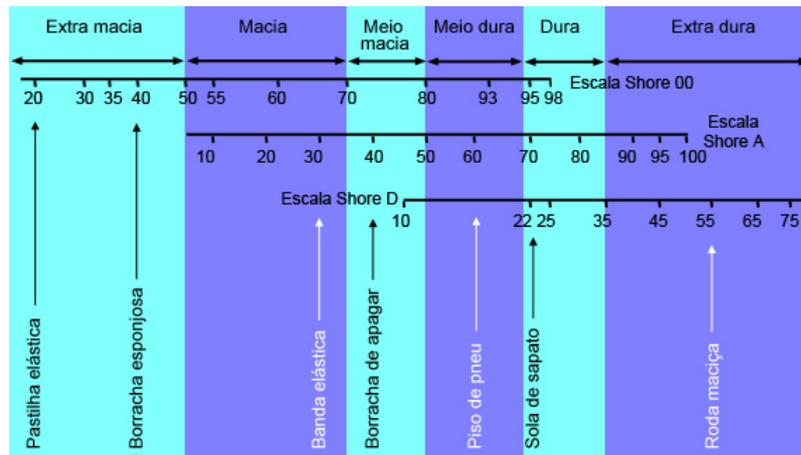
Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

Figura 22 - Montagem do experimento polímero termofixo



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

Figura 23 - Tabela Shore de Dureza de Borrachas



Fonte: CTB, 2020

O polímero Termofixo utilizado nos testes de usinagem da Figura 22 possui dureza de aproximadamente 40 na Escala Shore A, utilizada para borrachas de dureza média.

Pode-se considerar os seguintes valores para a classificação de dureza:

- A Dureza Shore O ou OO, para borrachas esponjosas ou celulares;
- A Dureza Shore A para borrachas de dureza média.
- A Dureza Shore D, para borracha dura e extra dura (ebonite)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Tabela 9, Tabela 10 e a Tabela 11 demonstram os resultados comparativos entre os dois tipos de usinagem bem como o diferencial de tipo de elastômero utilizado como vedação para a fixação da peça no Dispositivo de vácuo.

Tabela 9 – Resultados do Corpo de prova de $\varnothing = 30$ mm

Elastômero Comum		Polímero Termofixo	
Discordante		Concordante	
Pressão (kPa)	Ap final (mm)	Pressão (kPa)	Ap final (mm)
-47	0,20	-49	0,05
-51	0,10	-52	0,05
-49	0,05	-50	0,05
-50	0,05	-48	0,05

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

Tabela 10 - Resultados do Corpo de prova de $\varnothing = 40$ mm

Elastômero Comum		Polímero Termofixo	
Discordante		Concordante	
Pressão (kPa)	Ap final (mm)	Pressão (kPa)	Ap final (mm)
-47	0,20	-51	0,20
-51	0,10	-50	0,05
-49	0,05	-50	0,05
-50	0,05	-50	0,05

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

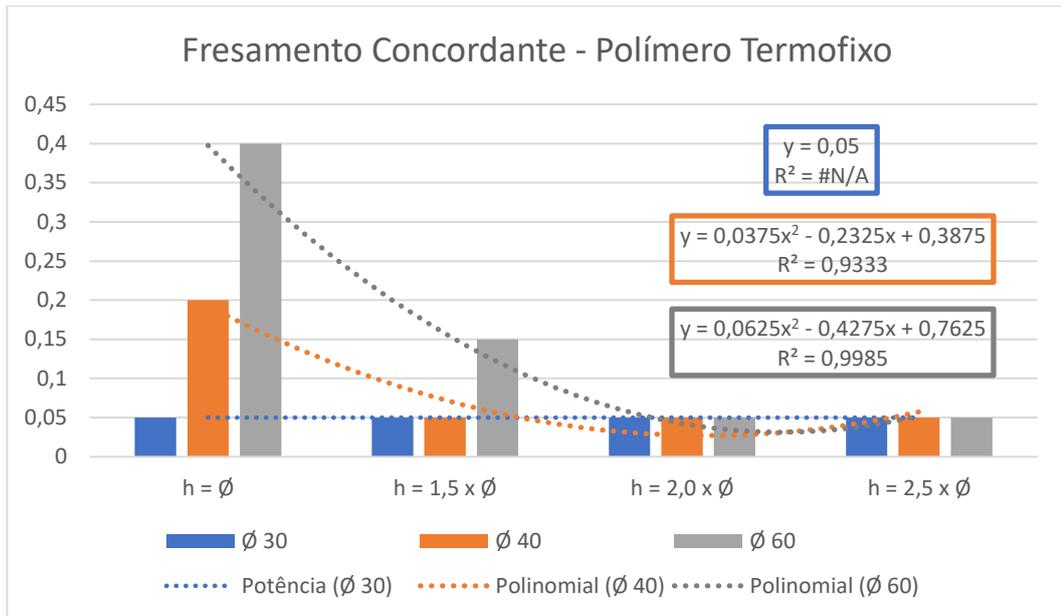
Tabela 11 - Resultados do Corpo de prova de $\varnothing = 60$ mm

Elastômero Comum		Polímero Termofixo	
Discordante		Concordante	
Pressão (kPa)	Ap final (mm)	Pressão (kPa)	Ap final (mm)
-52	0,45	-50	0,40
-52	0,15	-51	0,15
-52	0,15	-50	0,05
-52	0,05	-48	0,05

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

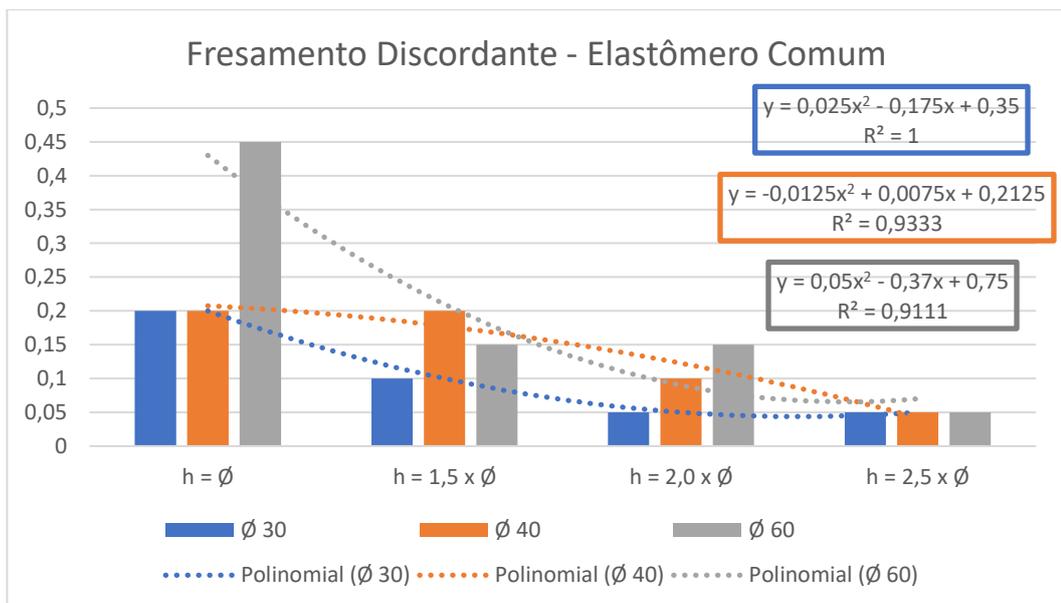
Observou-se uma variação na pressão de vácuo mensurada pelo vacuômetro de acordo com as peças em alguns casos. As peças com maior relação diâmetro x altura foram as peças que experimentaram a menor fixação para usinagem.

Gráfico 1 - Fresamento Concordante



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

Gráfico 2 - Fresamento Discordante

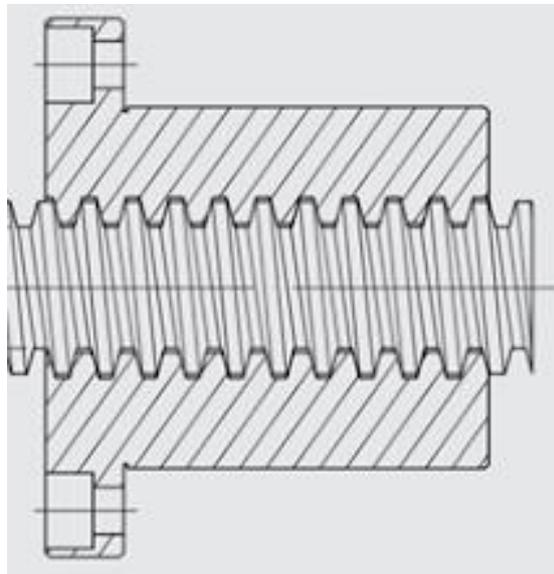


Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

Embora o aparo de silicone tenha proporcionado uma pressão de vácuo superior em 50% dos testes, nenhuma peça-teste com o aparo de silicone (Gráfico 1) apresentou maior resistência à usinagem. Este fato ocorreu devido ao fato de que a usinagem no sentido de corte discordante (Gráfico 2) seja mais indicada para o fresamento numa máquina convencional. O fresamento discordante numa máquina convencional permite que a concentração da folga existente no eixo da máquina seja direcionada num único sentido durante a usinagem. Nas máquinas convencionais, os fusos possuem rosca trapezoidal, caracterizadas por problemas de folga entre o eixo e mancal da mesa (BRENES, 1994).

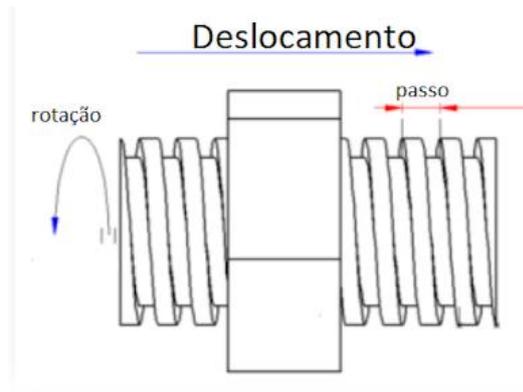
O fresamento discordante é o mais aplicado em máquinas convencionais pois este tipo de fresamento desloca e mantém a folga existente entre o eixo de rosca trapezoidal e o mancal fixado na máquina num sentido único, evitando o movimento de puxar e afastar a ferramenta contra a peça, proporcionando assim uma força de corte uniforme. A Figura 24 demonstra o sistema fuso-mancal e corte e a Figura 25 demonstra a força linear do eixo controlada pela rotação em torno do seu centro.

Figura 24 - Fuso de Rosca Trapezoidal e Mancal



Fonte: FERNANDO K, 2020

Figura 25 - Deslocamento em função da rotação do fuso



Fonte: FERNANDO K, 2020

Segundo Stoeterau (2004, p. 76), as guias de elementos rolantes em máquinas-ferramenta, demonstrada na Figura 26, apresentam como principais vantagens:

- Suavidade de movimento;
- Maior precisão de posicionamento;
- Maior velocidade de avanço, permitindo um aumento de produtividade de 20 a 30%;
- Exatidão poder ser mantida em longos períodos
- Movimento sem stick-slip
- Fácil instalação e manutenção.

Figura 26 - Fuso de Esferas Recirculantes



Fonte: SOLUÇÕES INDUSTRIAIS, 2020

O dispositivo não atende aos critérios de fixação quando se diz respeito aos 6 graus de liberdade que devem ser controlados em todos os dispositivos de fixação. A Figura 27 demonstra uma “rampa” obtida durante o processo de fresamento. Essa rampa obtida, mesmo utilizando uma fresa de topo (Figura 14) demonstra que a peça teste girou durante o fresamento, ou seja, o dispositivo ainda necessita de ajustes para obedecer aos “6 graus de liberdade” que todo dispositivo de fixação deve possuir.

O melhor resultado obtido neste experimento foi no corpo de prova $\text{Ø}60 \times 60\text{mm}$, isso foi devido à área de fixação com a relação da altura de “1 para 1”, ou seja, o diâmetro é igual à altura, porém a área de fixação satisfaz a condição de usinagem relatada no experimento.

Figura 27 - Corpo de prova $\text{Ø}60 \times 60 \text{ mm}$



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020

O funcionamento do dispositivo de fixação por vácuo seria totalmente eficaz se ele respeitasse o conceito de Graus de Liberdade existente num projeto de máquina. Neste conceito, para que um corpo (no caso a peça-teste) esteja devidamente fixado, o dispositivo de fixação deve suportar as forças de corte (ferramenta) obedecendo aos 6 graus de liberdade.

Stoeterau (2004, p. 71) afirma que um elemento apresenta 6 graus de liberdade que devem ser observados.

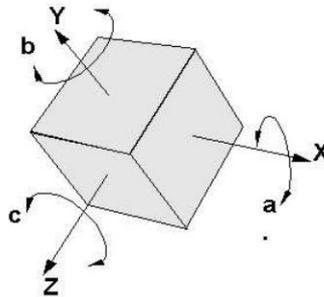
Para um elemento móvel com deslocamento relativo linear sobre uma guia, na direção x, temos até seis, conforme a Figura 28, os quais são:

- rolamento - representa rotação em torno do eixo - X;
- guinagem - representa rotação em torno do eixo - Y;

- arfagem ou cambamento, representa rotação em torno do eixo - Z;
- deslocamento na direção X;
- deslocamento na direção Y;
- deslocamento na direção Z

A Figura 28 demonstra a atenção que o projetista deve possuir ao realizar a concepção teórica de qualquer dispositivo ou máquina.

Figura 28 - 6 Graus de Liberdade de um elemento



Fonte: STOETERAU , 2004

CONTINUIDADE DO TRABALHO

Uma melhoria que deve ser aplicada será criar encostos para quando as peças forem fixadas neste dispositivo, estes encostos irão contribuir para um melhor apoio e fixação da peça.

Realizar testes de usinagem invertendo o sentido de corte (concordante e discordante) e o material de vedação (elastômero comum e polímero termofixo) numa fresadora convencional:

1. Fresamento Concordante com Elastômero Comum como elemento de vedação
2. Fresamento Discordante com o Polímero Termofixo como elemento de vedação

Realizar os testes numa fresadora a CNC que possui o eixo de esferas recirculante na sua estrutura de construção, realizando os testes

1. Fresamento Concordante com Elastômero Comum como elemento de vedação;
2. Fresamento Discordante com Polímero Termofixo como elemento de vedação;
3. Fresamento Concordante com Polímero Termofixo como elemento de vedação;
4. Fresamento Discordante com Elastômero Comum como elemento de vedação;

Um outro campo de pesquisa que precisa ser explorado é o uso de diferentes polímeros termofixo como sistema de vedação em dispositivos de fixação à vácuo. Existem diversos tipos de polímeros termofixos com diferentes composições químicas e diferentes escalas de dureza Shore.

Outra melhoria seria realizar o corte do aparo do polímero termofixo numa máquina ou dispositivo com maior precisão para reduzir a possibilidade de vazamentos devido ao corte manual do contorno.

REFERÊNCIAS

ADAM, H. *et al.* Fundamentals of Vacuum Technology. *Cologne*, p. 98. 1998

ALFAMATEC Equipamentos Pneumáticos, 2020. Disponível em:
< <http://alfamatec.com.br/artigos-valvula-geradora-de-vacu/>> Acesso em 10 jul. 2020.

AMF – INDUSTECNICA, 2020. Disponível em :
< <https://www.industecnica.com.br/produto/placa-de-vacu-25/>>. Acesso em 13 jul. 2020

BORGES, R. G., **Análise de influência do tipo de trajetória no desgaste da ferramenta no fresamento de aço ferramenta**. 64 f. Monografia (Tecnólogo em Fabricação Mecânica). Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Geraldo Werninghaus, Santa 'Catarina – SC, 2017.

BRENES, L. A. R., **Modernização e Análise Dinâmica de uma Máquina-Ferramenta NC**. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina – SC, 1994.

C. BRAGA, Newton. Vacuômetros. Instituto NCB, 2020. Disponível em:
<<https://www.newtonbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/211-v/919-vacuometro>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

CID, A.; CORREA, T. Venturino: analysis of pressure variation in a Venturi's tube using Arduino and pressure sensor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 3, 2019. ISSN 1806-1117.

CTB - Ciência e Tecnologia da Borracha. **Tabela Shore de Dureza de Borrachas**. Disponível em: <<https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/propriedades-das-borrachas-vulcanizadas/propriedades-fisicas/propriedades-mecanicas/dureza/>>. Acesso em: 13 mar. 2020.

DA COSTA, D. D.; PEREIRA, A. G. Desenvolvimento e avaliação de uma tecnologia de baixo custo para programação CNC em pequenas empresas. **Production**, v. 16, n. 1, p. 48-63, 2006. ISSN 0103-6513.

DE ALMEIDA, M. A. M. Monitoramento das forças e desgaste da ferramenta durante o fresamento concordante e discordante do aço ABNT-4140. 2019.

DEGASPERI, F.T., **Modelagem e Análises Detalhadas de Sistemas de Vácuo**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação – UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2002.

DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 6. Ed. São Paulo: Artliber, 2008

DIB, M. H. M.; BENJAMIN, G. M.; JASINEVICIUS, R. G. Uma análise experimental do fresamento discordante e concordante. **Revista Iluminart**, n. 13, 2015. ISSN 1984-8625.

ESPINOZA, M.; SCHAEFFER, L. USO DO CAD/CAE/CAM NA PRODUÇÃO DE

MATRIZES PARA OS PROCESSOS NOVOS DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA. **Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas**, v. 7, n. 14, p. 84-91, 2004. ISSN 1682-3087.

FERNANDO K. TUTORIAS TECNOLOGIAS TENDÊNCIAS Disponível em: <<https://www.fernandok.com/2018/02/arduino-uno-com-fuso-e-motor-de-passo.html>>. Acesso em: 25 jul. 2020.

FERMEC. Placa para Torno CNC. Disponível em: <<http://www.fermec.com.br/usinagem/placa-torno-cnc.php>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

FOGGIATTO, J. A.; VOLPATO, N.; BONTORIN, A. C. B. Recomendações para modelagem em sistemas CAD-3d. 4º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2007.

GAMEROS, A. et al. State-of-the-art in fixture systems for the manufacture and assembly of rigid components: A review. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 123, p. 1-21, 2017. ISSN 0890-6955.

GARCIA, C. F. R.; REIS, O. R.; DIACENCO, A. A. Processos de Otimização Aplicados a Usinagem. **Revista Científica da FEPI-Revista Científic@ Universitatis**, 2014. ISSN 2175-4020.

KRIEGER, B. R. et al. Impactos no processo produtivo com a implantação do CAD/CAM e de um centro de usinagem em uma fábrica de móveis personalizados: Um estudo de caso no sul do Brasil. **Revista ESPACIOS** Vol. 36,n. 22, 2015.

LIMA, L. E. M.; CAETANO, N. M. Simulação computacional de um escoamento turbulento de um fluido incompressível em um Venturi. **Revista Científica Linkania Master**, v. 5, n. 1, 2015. ISSN 2236-6660.

MARQUES, F. M. et al. Desenvolvimento do projeto mecânico de uma máquina para teste de torção em eixos: Um caso prático. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 35, 2016. ISSN 2236-6733.

METALS HANDBOOK (1989), vol 16. Machining, 9ª ed., ASM International, 1989.

MUCSI, C. S. et al. Desenvolvimentos de tecnologia e dispositivo para a medição de torque de fixação de elementos roscados. 5º Congresso Científico da Semana Tecnológica-IFSP, 2014. p.20-24.

PAIVA, J. A. **Aplicação da Tecnologia do Vácuo em Projeto de Engenharia de Precisão**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, João Pessoa – PB, 2010

RUBIO MATEOS, A. et al. Capacitation of flexibles fixtures for its use in high quality machining processes: an application case of the industry 4.0. Paradigm. **Dyna Ingenieria e Industria**, 2018. ISSN 0012-7361.

SANTOS, E. P. D. **CAD/CAM/Usinagem CNC integrado à engenharia reversa**. 57 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia Campus Ilha Solteira – UNESP - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira – SP, 2017.

SORDI, J. O. D.; AZEVEDO, M. C. D.; MEIRELES, M. A pesquisa design science no Brasil segundo as publicações em administração da informação. **JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management**, v. 12, n. 1, p. 165-186, 2015. ISSN 1807-1775.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. Disponível em: <<https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/metais-e-artefatos/rosa-do-brasil-/produtos/acessorios/fuso-de-esferas-recirculantes>>. Acesso em 25 jul. 2020

STOETERAU, R. L. **Introdução ao projeto de máquina-ferramentas modernas**. 114 f. Departamento de Engenharia Mecânica - Disciplina de Projetos de Máquinas - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina - SC, 2004.

TOTALFIX. Fresa de topo reto (MD). Disponível em: <<https://www.totalfix.com.br/produto/fresa-de-topo-reto-md-2-cortes-tialn/>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

TRIAXIS. Sistemas de fixação. Acesso em 09, março 2020. Disponível em: <<https://triauxis.ind.br/produtos/sistemas-de-fixacao/morsa-de-precisao/>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

VAN AKEN, J. E.; ROMME, G. Reinventing the future: adding design science to the repertoire of organization and management studies. **Organization Management Journal**, v. 6, n. 1, p. 5-12, 2009. ISSN 1541-6518.

VACUÔMETROS. Acepil. Disponível em: <<http://www.acepil.com.br/artigos/vacuometros>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

APÊNDICE A - CRONOGRAMA PARA A ENTREGA DA DISSERTAÇÃO E DEFESA

12/02/2020	Apresentação da Qualificação
13/02/2020 até 28/02/2020	Experimento com Fresamento Concordante
17/02/2020 até 28/02/2020	Usinagem CAD/CAM/CNC
02/03/2020 até 13/03/2020	Finalização da documentação e entrega para Defesa
16/06/2020 até 30/06/2020	Defesa (Alteração da data devido ao Covid-19)

Observações

A Usinagem CAD/CAM/CNC não foi possível devido à suspensão das atividades devido ao Covid-19.