

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS-UEA  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA-EST  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**BAÍS ANANDA BARCELOS CECÍLIO**

**PROPOSTA DE PLANEJAMENTO DOS PROCESSOS DE USINAGEM DE EIXOS  
DE ESTEIRAS TRANSPORTADORAS**

**MANAUS-AM**

**2021**

**BAÍS ANANDA BARCELOS CECÍLIO**

**PROPOSTA DE PLANEJAMENTO DOS PROCESSOS DE USINAGEM DE EIXOS  
DE ESTEIRAS TRANSPORTADORAS**

Trabalho de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas-UEA.

Orientador: Prof. Dr. Aristides Rivera

**MANAUS-AM**

**2021**

### **Ficha Catalográfica**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
**Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.**

B163p CECÍLIO, BAÍS ANANDA BARCELOS  
PROPOSTA DE PLANEJAMENTO DOS  
PROCESSOS DE USINAGEM DE EIXOS DE  
ESTEIRAS TRANSPORTADORAS / BAÍS ANANDA  
BARCELOS CECÍLIO. Manaus : [s.n], 2021.  
76 f.: color.; 31 cm.

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica -  
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2021.  
Inclui bibliografia  
Orientador: ARISTIDES RIVERA

1. USINAGEM. 2. PLANEJAMENTO. 3.  
PADRONIZAÇÃO. I. ARISTIDES RIVERA (Orient.). II.  
Universidade do Estado do Amazonas. III. PROPOSTA  
DE PLANEJAMENTO DOS PROCESSOS DE  
USINAGEM DE EIXOS DE ESTEIRAS  
TRANSPORTADORAS

**Elaborado por Jeane Macelino Galves - CRB-11/463**

## BAÍS ANANDA BARCELOS CECÍLIO

### PROPOSTA DE PLANEJAMENTO DOS PROCESSOS DE USINAGEM DE EIXOS DE ESTEIRAS TRANSPORTADORAS

Trabalho de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas-UEA.

Manaus, 15 de julho de 2021

Banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Aristides Rivera



Prof. Dr. Antonio Claudio Kieling



Prof. Antonio Claudio Kieling  
Matricula P205911 – EST/UEA  
CREA/AM: 24794-CRA/AM: 1-11264

Prof. Dr. Gilberto Garcia.



*Dedico este trabalho de curso aos meus pais,  
pelo carinho e amor dedicado, que não  
mediram esforços para que eu chegasse até  
esta etapa de minha vida. Aos meus irmãos e  
marido, pelo apoio contínuo e meu filho, que  
me dá sentido e motivação na vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Para elaboração e apresentação deste trabalho várias pessoas me ajudaram e me apoiaram de forma incondicional, e agradecer é o mínimo que eu posso fazer para demonstrar minha gratidão.

Aos professores Dr. Aristides Rivera e Dr. Antonio Claudio Kieling de Engenharia Mecânica, a todos meus colegas de curso, com os quais pude estabelecer uma convivência pessoal e intelectual ao longo de todo esse tempo.

Agradeço ainda a todas as pessoas que, na UEA, tornaram possível que eu pudesse fazer esse curso e realizar o meu trabalho de pesquisa.

Agradeço ainda aos meus pais, Simão Carlos e Ivane Catique, meu marido Cassiano, e meu filho Bernardo, obrigados a conviver com as tensões, incertezas, angústias, momentos de frustração e de desânimo, sucedendo-se ao longo de meses e meses de estudo, e, por certo, afetando-os de algum modo. A eles dedico a minha alegria por chegar ao fim deste percurso.

A todos estes o meu muito obrigada.

## **RESUMO**

As exigências de rapidez, qualidade e menores custos são as características que colocam uma empresa à frente na concorrência, para isso é necessário planejamento e acompanhamento contínuo de seus processos. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma proposta de criação de planejamento dos processos do setor de usinagem, em busca de melhoria, aplicando a metodologia DMAIC, para entender o atual situação da fábrica, e definindo a sequência dos procedimentos, ferramentas adequadas e parâmetros que deveriam ser utilizados em cada etapa, podendo assim, futuramente, mensurar dados de qualidade e tempo a princípio não existentes, a diminuição de defeitos causados pelo uso inadequado de ferramentas.

**PALAVRAS CHAVE:** Usinagem; Planejamento; Padronização.

## **ABSTRACT**

The requirements for speed, quality and lower costs are the characteristics that put a company ahead of the competition, for which it is necessary to plan and continuously monitor its processes. Thus, this work aims to develop a proposal for creating planning processes in the machining sector, in search of improvement, applying the DMAIC methodology, to understand the current situation of the factory, and defining the sequence of procedures, appropriate tools and parameters that should be used at each stage, thus being able to measure quality and time data that do not exist in principle, aiming to reduce defects caused by the inappropriate use of tools.

**KEYWORDS:** Machining; Planning; Standardization.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1. Ciclo DMAIC. Fonte: Blog da Qualidade (2021).</b>	<b>17</b>
<b>Figura 2.2. Processos de Usinagem. Fonte: Adaptada de Machado et. al (2009)</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2.3. Movimentos de avanço e giratório da peça contra o corte da ferramenta. Fonte: Métodos e processos Industriais (2011).</b>	<b>19</b>
<b>Figura 2.4. Operações de torneamento interno e externo. Fonte: Métodos e Processos Industriais. (2011)</b>	<b>20</b>
<b>Figura 2.5. Operações de fresamento e detalhe frontal possível das fresas: aqui é demonstrada a rotação em sentido horário e movimento de avanço da peça. Fonte: Métodos e processos industriais (2011)</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2.6. Elementos de fixação da peça. Fonte: Métodos e processos industriais (2011)</b>	<b>23</b>
<b>Figura 2.7. Subdivisão das operações de furação. Fonte: Barrios (2011).</b>	<b>24</b>
<b>Figura 2.8. Tipos de retificação. Fonte: Barrios (2011).</b>	<b>25</b>
<b>Figura 2.9. Geometria da ferramenta de tornear. Fonte: Métodos e Processos Industriais (2011).</b>	<b>27</b>
<b>Figura 2.10. Pastilhas com revestimentos. Fonte: Métodos e Processos Industriais (2011).</b>	<b>28</b>
<b>Figura 2.11. Formato de insertos de torneamento. Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>29</b>
<b>Figura 2.12. Raio de ponta da pastilha. Fonte: Sandvik Coromant, 2021.</b>	<b>30</b>
<b>Figura 3.1. Método DMAIC. Fonte: Autoria própria (2021)</b>	<b>42</b>
<b>Figura 3.2. Diagrama de Ishikawa. Fonte: Autoria própria</b>	<b>43</b>
<b>Figura 4.1 . Eixo de tração no programa SolidWorks 2017. Fonte: Autoria própria (2021).</b>	<b>47</b>
<b>Figura 4.2. Definição de superfícies críticas. Fonte: Autoria própria (2021).</b>	<b>47</b>

<b>Figura 4.3. Indicação de tolerância de eixo de tração de inox 304. Fonte: Autoria própria.</b>	<b>48</b>
<b>Figura 4.4. Indicação de rugosidade de eixo de tração de inox 304. Fonte: Autoria própria.</b>	<b>49</b>
<b>Figura 4.5. Cotas adjacentes. Fonte: Autoria própria. (2021)</b>	<b>49</b>
<b>Figura 4.6. Separação de operação. Fonte: Autoria própria (2021)</b>	<b>49</b>
<b>Figura 4.7. Indicação de inserto. Fonte: Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>52</b>
<b>Figura 4.8. Indicação de parâmetros do inserto CCMT 09 T3 12-MR 2220 . Fonte: Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>52</b>
<b>Figura 4.9. Indicação de inserto. Fonte: Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>53</b>
<b>Figura 4.10. Indicação de parâmetros do inserto DCMT 11 T3 08-MR 2220. Fonte: Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>53</b>
<b>Figura 4.11. Indicação de inserto. Fonte: Sandvik Coromant (2021)Figura</b>	<b>54</b>
<b>4.12. Indicação de parâmetros do inserto CCMT 09 T3 08-MR 2020. Fonte: Sandvik Coromant (2021).</b>	<b>54</b>
<b>Figura 4.13. Indicação de inserto. Fonte: Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>55</b>
<b>Figura 4.14. Indicação de parâmetros do inserto DCMT 11 T3 08-MR 2220. Fonte: Sandvik Coromant (2021).</b>	<b>55</b>
<b>Figura 4.15. Indicação de inserto. Fonte: Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>56</b>
<b>Figura 4.16. Indicação de inserto. Fonte: Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>57</b>
<b>Figura 4.17. Indicação de parâmetros do inserto 880-03 0 05H-C-LM 1144 e 880-03 03 W06H-P-MS 2044. Fonte: Sandvik Coromant (2021).</b>	<b>57</b>
<b>Figura 18. Calculadora de parâmetros. Fonte: Autoria própria (2021).</b>	
<b>Figura 19. Calculadora de parâmetros com os dados.</b>	<b>58</b>
<b>Figura 20. Folha A4 antes da implantação do planejamento. Fonte: Autoria própria. (2021)</b>	<b>62</b>

<b>Figura 21. Folha A4 após da implantação do planejamento. Fonte: Autoria própria. (2021)</b>	<b>63</b>
<b>Figura 22. Folha de processo. Fonte: Autoria própria (2021).</b>	<b>65</b>
<b>Figura 23. Folha A3. Fonte: Autoria própria. (2021)</b>	<b>66</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.1. Indicação de rugosidade. Fonte: Autoria própria (2021)</b>	<b>38</b>
<b>Tabela 2.2. Ajustes recomendados. Fonte: Autoria própria. (2021)</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 3.1:Tabela 3.3 . Plano de ação 5W2h. Fonte: Autoria Própria.</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 3.2. Máquinas do setor de usinagem. Fonte: Autoria própria (2021)</b>	<b>41</b>
<b>Tabela 3.3 . Plano de ação 5W2h. Fonte: Autoria Própria</b>	<b>44</b>
<b>Tabela 4.1. Indicação de superfícies críticas. Fonte: Autoria própria (2021).</b>	<b>48</b>
<b>Tabela 4.2. Sub-operações de usinagem. Fonte: Autoria própria (2021).</b>	<b>50</b>
<b>Tabela 4.3. Seleção de máquinas. Fonte: Autoria própria (2021).</b>	<b>51</b>
<b>Tabela 4.4. Material a ser usinado. Fonte: Autoria própria (2021).</b>	<b>51</b>
<b>Tabela 4.5. Dados de corte do inserto CCMT 09 T3 12-MR 2220. Fonte: Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>52</b>
<b>Tabela 4.6. Dados de corte do inserto DCMT 11 T3 08-MR 2220. Fonte: Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>53</b>
<b>Tabela 4.7. Dados de corte do inserto CCMT 09 T3 08-MR 2220. Fonte: Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 4.8. Dados de corte do inserto CCMT 09 T3 08-MR 2220. Fonte: Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>55</b>
<b>Tabela 4.9. Dados de corte do inserto 2S342-0600-100 CMA 1740 . Fonte: Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>56</b>
<b>Tabela 4.9. Dados de corte . Fonte: Sandvik Coromant (2021)</b>	<b>57</b>
<b>Tabela 4.10. Indicação de sobremetal. Fonte: Alvares, 2001.</b>	<b>58</b>
<b>Tabela 4.11. Descrição de operação inserida na folha A3. Fonte: Autoria Própria. (2021)</b>	<b>66</b>
<b>Tabela 4.12. Descrição de operação inserida na folha A3. Fonte: Autoria Própria. (2021)</b>	<b>66</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>DMAIC</b>	<b>Define, Measure, Analyze, improve, Control</b>
<b>NBR</b>	<b>Norma Técnica Brasileira</b>
<b>ABNT</b>	<b>Associação Brasileira de Normas Técnicas</b>
<b>ISO</b>	<b>International Organization for Standardization</b>
<b>ANSI</b>	<b>American National Standards Institute</b>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 Objetivos .....	15
1.2 Objetivos específicos .....	15
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
2.1 Planejamento.....	16
2.2 Método DMAIC.....	16
2.3 Usinagem .....	17
2.3.1 Torneamento .....	19
2.3.2 Fresamento .....	22
2.3.3 Furação.....	23
2.3.4 Retificação.....	25
2.3.5 CNC- tornos e centros de usinagem.....	25
2.4 Ferramentas de corte .....	26
2.4.1 Bits .....	27
2.4.2 Bedames .....	27
2.4.1 Insertos .....	27
2.5 Parâmetros de corte.....	27
2.6 Aços .....	32
2.6.1 Aço Inox.....	32
2.6.2 Aço Carbono .....	34
2.7 Usinabilidade dos Aços.....	34
2.8 Rugosidade.....	35
2.9 Tolerâncias.....	38
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>40</b>
3.1 Metodologia DMAIC .....	40

<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>46</b>
4.1 Análise da estrutura da peça .....	46
4.2 Definição das superfícies críticas .....	46
4.2.1 Tolerâncias .....	47
4.2.2 Rugosidade .....	47
4.3 Dimensões da superfície .....	48
4.4 Sub-operações de Usinagem .....	48
4.5 Separação de operações .....	49
4.6 Seleção Máquina-Ferramenta .....	49
4.7 Seleção de ferramentas .....	50
4.8 Dispositivo de fixação .....	57
4.9 Superfície de referência .....	57
4.10 Determinação sobremetal .....	57
4.11 Condições de corte.....	58
4.12 Documentação plano de processo.....	60
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>67</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>69</b>
<b>7. ANEXOS</b> .....	<b>72</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A usinagem está presente no desenvolvimento da maioria dos produtos que possam ser encontrados no mercado atualmente, seja de forma direta, no processo de fabricação do mesmo, ou de forma indireta, em máquinas ou ferramentas para a sua confecção. Os principais equipamentos necessários para a execução de tal processo são a peça, a qual irá sofrer a operação com o objetivo de alcançar determinada geometria pré definida, a ferramenta, responsável pela remoção do material, e a máquina, que proporcionará o movimento e a força necessária para a operação. Sendo os três, influenciadores e influenciados pelos outros nos resultados obtidos no processo. (BULLA, 2013, apud, ZEILMANN e SLOMP, 2007).

Segundo Farias (2017), 80% dos furos são realizados por usinagem, 100% dos processos de melhoria da qualidade superficial são feitos por usinagem, o comércio de máquinas-ferramentas representa uma das grandes fatias da riqueza mundial, 70% das engrenagens para transmissão de potência, 90% dos componentes da indústria aeroespacial e 100% dos pinos médico odontológicos. Outros produtos usinados, 70% das lentes de contatos extraoculares, 100% das lentes de contatos intra oculares e lentes para CD player ou suas matrizes utilizam a usinagem de precisão.

Planejamento é um processo gerencial que se refere à formulação de objetivos para a seleção de programas de ação e para sua execução, utilizando seus conceitos para a otimização de tempo e produção. Acompanhando desde a compra da matéria prima até a sua fabricação é possível mapear problemas em logística, produção e mão de obra, gerando uma redução de custos e otimização de gastos, para que a indústria alcance o desenvolvimento almejado prevendo-se possíveis problemas e almejando as possíveis soluções prevendo alguns possíveis empecilhos e oportunidades que estão por vir no setor industrial de processos de usinagem e manufatura. (BORGES, 2020)

Para Coelho (2018), é possível definir planejamento de processos de usinagem como o ato de selecionar e definir o sequenciamento de processos e operações para converter uma matéria prima em uma peça acabada, de acordo com especificações funcionais. O planejamento consiste na escolha de alguns recursos dentre os disponíveis, como máquinas-ferramentas, ferramentas de corte, dispositivos de fixação, definição de sequência de operações, definição de condições de corte e definição de operações auxiliares.

Devido à falta de planejamento do processo de usinagem, tornou-se necessária a elaboração de proposta de melhoria no setor de usinagem da empresa Ibraflex Intralogistic Systems, com o objetivo de atender exigências de competitividade, qualidade e produtividade. Atualmente, não existe histórico de uso de ferramentas, e utilização correta dos parâmetros indicados. O sistema de

produção da fábrica se dá por encomenda, seus produtos são estabelecidos de acordo com o pedido do cliente. Por este motivo, a empresa trabalha com um portfólio variado de produtos. Daí a necessidade do planejamento adequado.

### **Objetivos**

O principal intuito é fazer uma análise do atual processo de usinagem de eixos para as transportadoras, identificar os possíveis problemas, e criar um modelo de plano de procedimentos, aplicando de forma correta os parâmetros de corte exigidos com as ferramentas adequadas.

### **Objetivos específicos**

- Seleção dos processos de usinagem, ferramentas e parâmetros de corte;
- Seleção da sequência de máquinas-ferramentas e sequenciamento das operações;
- Preparação final do arquivo com o plano de processo para a peça.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Planejamento

Melo (2003) destaca que o planejamento de processo pode trazer resultados positivos, como retorno de investimentos a curto prazo e racionalização dos recursos já existentes na fábrica. Dentre eles, é possível destacar:

- Aumento de produtividade;
- Melhor aproveitamento da capacidade produtiva dos equipamentos existe;
- Redução de defeitos e retrabalhos;
- Redução de volume geral de trabalho na fábrica;
- Otimização do fluxo de trabalho;
- Detalhamento e registro que facilitam o controle de processo;
- Especificações adequadas de engenharia;
- Documentação automática da tecnologia de fabricação.

### 2.2 Método DMAIC

Conforme Cleto e Quinteiro citam (2011), a metodologia DMAIC é um conjunto ordenado de etapas. Ao constituir-se um grupo de trabalho e avançar-se na solução do problema as várias atividades realizadas começam a se complementar e informações valiosas surgem, com o grupo ganhando confiança de que a solução do problema será efetivamente alcançada. As etapas do DMAIC.

Pré-Estudo: identificam-se informações relevantes para o início do projeto, tais como: problema a ser abordado, oportunidades e ameaças existentes, áreas envolvidas e equipe que trabalhará no projeto;

D – Define (Definir): define-se com precisão o escopo do projeto;

M – Measure (Medir): determina-se a localização ou foco do problema;

A – Analyse (Analisar): determinam-se as causas de cada problema prioritário;

I – Improve (Melhorar e Implementar): propõem-se, avaliam-se e implementam-se soluções para cada problema prioritário;

C – Control (Controlar): garante-se que o alcance da meta seja mantido no longo prazo.

Figura 2.1. Ciclo DMAIC.



Fonte: Blog da Qualidade (2021).

### 2.3 Usinagem

Até meados do século XVIII, o principal material utilizado para peças, em engenharia, era a madeira, salvo raras exceções, a qual era usinada com ferramentas de aço-carbono. Com a Revolução Industrial, novos e mais resistentes materiais apareceram, impulsionando o desenvolvimento dos aços-liga como ferramentas de corte. Mais tarde, a utilização da água e do vapor como fontes de energia impulsionaram a indústria metal-mecânica, já no final do século XVIII e início do século XIX, propiciando assim o aparecimento de máquinas-ferramentas responsáveis pela fabricação de outras variedades de máquinas e instrumentos em substituição ao trabalho humano em diversas atividades. A primeira contribuição relevante foi apresentada por John Wilkinson, em 1774 (McGEOUGH; 1988), ao construir uma máquina para mandrilar cilindros de máquinas a vapor, os quais antes eram usinados com equipamentos originalmente projetados para mandrilar canhões e que, portanto, não eram capazes de assegurar a exatidão exigida. (MACHADO et al. 2009)

Segundo Machado et al. (2009), usinagem é um processo de fabricação com remoção de sobremetal, de forma abrangente, tem-se que é a operação que ao conferir forma à peça, dimensões e acabamento, produz cavaco. O cavaco é uma porção de material retirado da peça pela ferramenta e caracterizado por apresentar forma geométrica irregular. A usinagem é reconhecidamente o processo de fabricação mais popular do mundo, transformando em cavacos algo em torno de 10% de toda a produção de metais e empregando dezenas de milhões de pessoas (TRENT, 1985).

Ao ser submetida à usinagem, a peça já apresenta uma forma definitiva: blocos, tarugos, fios, chapas ou barras. O formato da peça bruta determina o processo de fabricação empregado, que pode ser: forjamento, laminação e trefilação. (TUDELA, APRILE, 1998)

Para Tudela e Aprile (1998), a remoção do sobremetal tem duas fases: o desbaste e o acabamento da peça. O desbaste ocorre no início da usinagem, e dá forma ao material que ainda não passou pelo acabamento definitivo. nesta fase, os cavacos obtidos são grossos e a superfície da peça desbastada apresenta sulcos profundos. No acabamento, é possível obter peças com dimensões finais e rugosidade adequada, nele os sulcos produzidos na superfície são pouco perceptíveis e os cavacos obtidos, em geral, são finos.

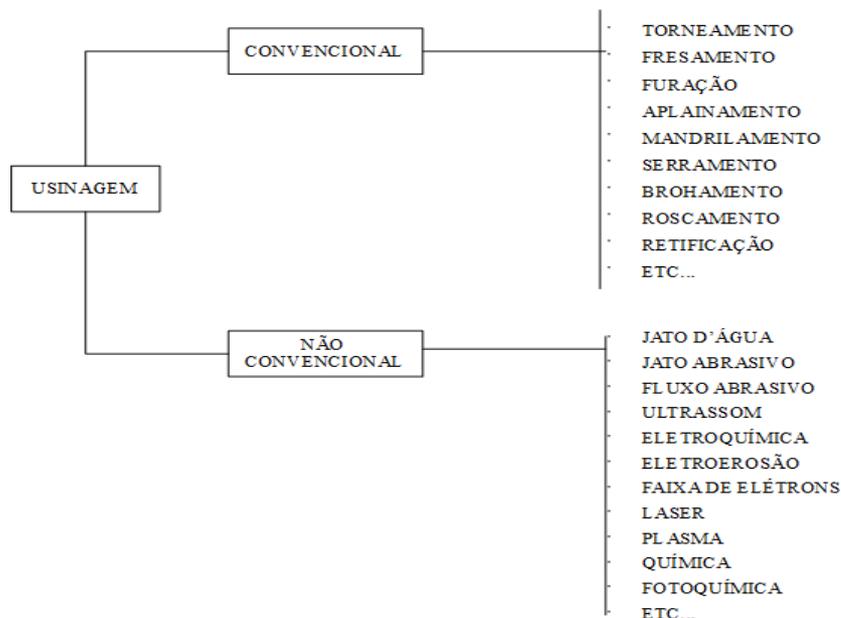
processo de remoção por usinagem pode ser dividido em duas grandes categorias:

Souza (2011) classifica os processos de usinagem em diferentes categorias:

Classificação quanto ao processo de remoção de material

- Processos convencionais , em que as operações de corte empregam energia mecânica na remoção do material , principalmente por cisalhamento, no contato físico da ferramenta com a peça.
- Processos especiais (não convencionais), em que as operações se utilizam de outros tipos de energia de usinagem (p.ex. termelétrica), não geram marcas padrão na superfície da peça e a taxa volumétrica de remoção de material é muito menor que a dos processos convencionais.

Figura 2.2. Processos de Usinagem.



Fonte: Adaptada de Machado et. al (2009).

Classificação quanto à geometria da ferramenta de corte

Os processos convencionais de usinagem ainda podem ser subdivididos em duas classes:

- Operações de corte com ferramentas de geometria definida (arestas cortantes com formato e tamanho conhecidos) –p.ex. torneamento, furação, fresamento.
- Operações de corte com ferramentas de geometria não-definida (partículas abrasivas com formatos aleatórios e compostas por arestas minúsculas de corte) –p.ex. retificação, brunimento, lapidação

Classificação quanto à finalidade da operação de corte

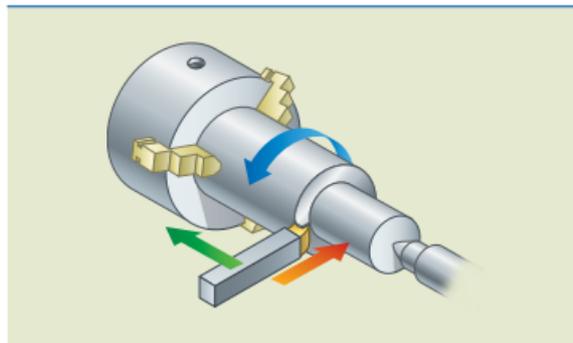
Quanto à finalidade, as operações de usinagem podem ser classificadas em:

- Operações de desbaste, em que a usinagem, anterior a de acabamento, visa obter na peça a forma e dimensões próximas das finais.
- Operações de acabamento, em que a usinagem é destinada a obter na peça as dimensões finais, ou um acabamento especificado, ou ambos.

### 2.3.1 Torneamento

O torneamento gera perfis arredondados e cilíndricos com uma ferramenta de aresta única. A definição de torneamento é aquela que diz que a ferramenta é estacionária e a peça gira. A operação de torneamento é o processo mais comum para usinagem sendo altamente otimizado com exigência de vários fatores na aplicação. Pode ser dividido em diversas aplicações básicas (torneamento longitudinal, faceamento ou perfilamento), exigindo tipos específicos de ferramentas, dados de corte e programação para a operação ser realizada da maneira mais eficiente possível. (Sandvik, 2021).

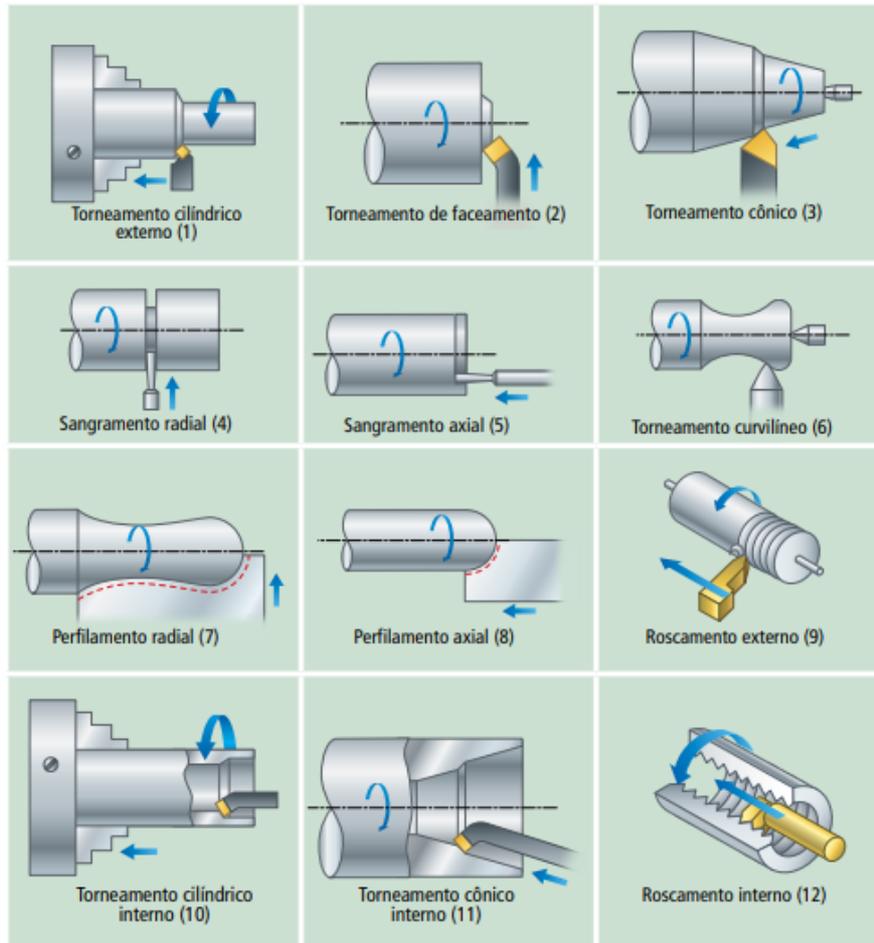
Figura 2.3. Movimentos de avanço e giratório da peça contra o corte da ferramenta.



Fonte: Métodos e processos Industriais (2011)

Tipos de operações de torneamento externo e interno.

Figura 2.4. Operações de torneamento interno e externo.



Fonte: Métodos e Processos Industriais. (2011)

### Características e tipos de máquinas em torneamento

Os tornos possuem características que orientam os profissionais de mecânica na seleção e indicação de uso, em relação à capacidade para os diferentes trabalhos. As características técnicas principais a serem observadas nos tornos são:

- O comprimento entre pontas – é a distância máxima entre a ponta do cabeçote fixo e a ponta do cabeçote móvel todo recuado, que define o comprimento máximo de peça que se pode fixar para usinar;

- A altura das pontas em relação ao barramento – é a distância do centro das pontas à face superior do barramento, que define o diâmetro de usinagem das peças fixadas em placas (diâmetro sobre o barramento);
- A altura da ponta em relação à mesa do carro transversal – é a distância do centro da ponta (ou centro do eixo árvore) à face superior do carro transversal, que define o diâmetro máximo de torneamento para peças fixadas entre pontas (diâmetro sobre o carro). Outras características importantes são: o perfil do eixo-árvore e diâmetro do furo do eixo-árvore (define o diâmetro máximo de barras que se pode trabalhar passando dentro do eixo), intervalos de rotações e máxima rotação do eixo-árvore, a potência do motor e outras, dependendo do tipo de torno.

#### Fixação da peça e acessórios em torneamento

O torno tem vários acessórios, e os principais deles ajudam a prender e a fixar as peças para tornar as operações executáveis. A fixação deve ser segura, rápida e precisa. A potência do motor requerida para o corte deve ser integralmente transmitida à peça. A força necessária para uma fixação segura depende da geometria e material da peça, da ferramenta e parâmetros de corte, sem deixar marcas nem distorcer a peça. A velocidade requerida para usinar depende do tamanho e da geometria da peça, da forma e acabamento desejado, da rigidez do tipo de fixação ou do tipo de operação e ferramentas. (BARRIOS, 2011).

Os principais acessórios são os seguintes:

Placa de castanhas- as placas são presas no eixo-árvore com o auxílio de flanges. Podem ser de duas, três ou quatro castanhas autocentrantes (o giro de um parafuso aciona todas as castanhas), geralmente em formatos de fixação regular. Existe uma versão com quatro castanhas independentes, cada parafuso movimentando uma castanha de cada vez, usada em peças de geometria irregular

Ponta fixa e ponta giratória ou rotativa

Pinças

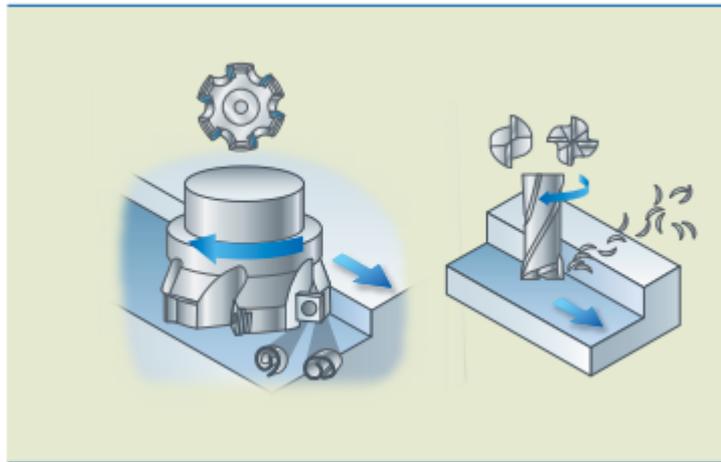
Luneta

Mandril porta-brocas e bucha de redução

### 2.3.2 Fresamento

O fresamento evoluiu, tornando-se um método que usa uma gama muito ampla de operações. Além de todas as aplicações convencionais, o fresamento é uma alternativa sólida para a produção de furos, roscas, cavidades e superfícies que costumavam ser torneadas, furadas ou abertas com macho (Sandvik, 2021).

Figura 2.5. Operações de fresamento e detalhe frontal possível das fresas: aqui é demonstrada a rotação em sentido horário e movimento de avanço da peça.



Fonte: Métodos e processos industriais (2011)

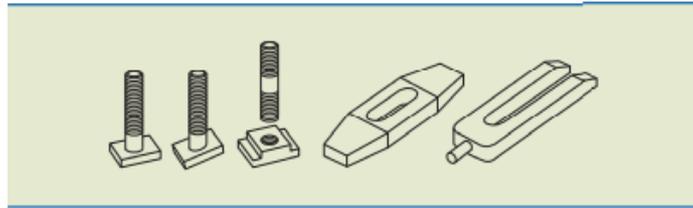
Tipos diferentes de operações de fresamento

- Fresamento de cantos a 90°
- Faceamento
- Fresamento de perfis
- Cortes e fresamento de canais
- Fresamento de chanfros
- Tornofresamento
- Usinagem de engrenagens
- Furos e cavidades / abertura de bolsões

Acessórios para a fixação da peça

Parafusos e grampos de fixação, calços e cantoneiras de ângulo fixo ou ajustável são acessórios comuns para fixação da peça.

Figura 2.6. Elementos de fixação da peça.



Fonte: Métodos e processos industriais (2011)

Acessórios para a fixação das ferramentas

Tipos e característica de fresadoras

As fresadoras recebem a classificação de acordo com a posição de seu eixo-árvore em relação à mesa de trabalho. A ferramenta é fixada no eixo-árvore e a peça, na mesa de trabalho. A fresadora pode ser horizontal, vertical e universal. É horizontal, por exemplo, quando seu eixo-árvore é paralelo à mesa da máquina. Uma das principais características da fresadora é usinar superfícies diversas situadas em planos paralelos, perpendiculares, ou formando ângulos diversos: construir ranhuras circulares, elípticas, realizar fresagem em formas esféricas, côncavas e convexas, com rapidez e precisão. Algumas outras características importantes da máquina fresadora:

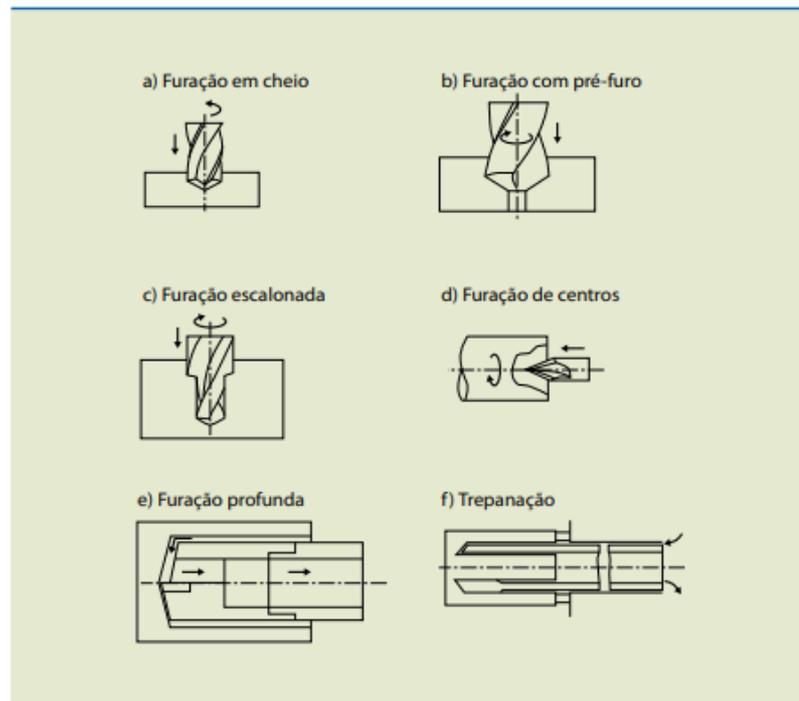
- Comprimento e largura da mesa, possibilidade de troca e giro da mesa;
- Máximo deslocamento longitudinal e transversal da mesa, máximo deslocamento vertical do suporte da mesa, máxima altura da superfície da mesa em relação ao eixo principal (essas características definem o máximo tamanho de peça);
- Maior e menor número de rpm (velocidade) do eixo principal e potência do motor;
- Valor dos avanços da mesa em mm/min;
- O peso que a máquina suporta sobre a mesa. O conhecimento dessas características auxilia na hora de identificar a máquina nos catálogos comerciais, nos quais são explicadas com detalhes

### 2.3.3 Furação

É um processo mecânico de usinagem para obter um furo em geral cilíndrico em uma peça, com o uso da broca, normalmente multicortante. A ferramenta ou a peça giram, e tanto a ferramenta como a peça podem se deslocar segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina, dependendo do tipo de máquina (FERRARESI, 1977). A subdivisão das operações de furação se dão da seguinte forma:

- Furação em cheio ;
- Furação escalonada ;
- Furação com pré-furo ou escareamento;
- Furação de centro;
- Trepanação (f).

Figura 2.7. Subdivisão das operações de furação.



Fonte: Barrios (2011).

### Materiais para brocas

Os principais materiais são o aço rápido e o metal duro. As ferramentas em geral são revestidas com uma microcamada superficial para maior durabilidade

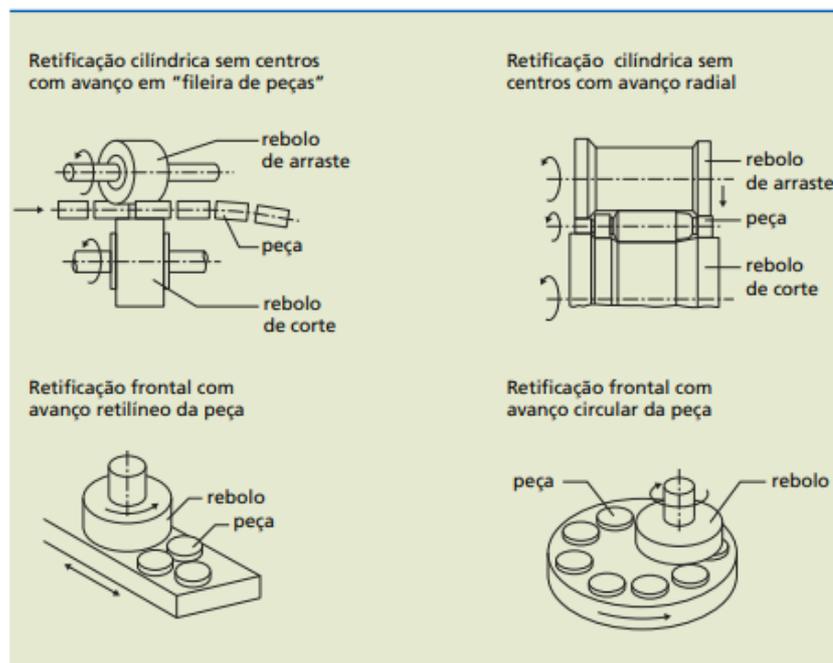
- Aço rápido – é largamente empregado na fabricação de brocas pela fácil reafiação.
- Metal duro – é selecionado pela elevada dureza e resistência ao desgaste a quente. As velocidades de corte são até três vezes maiores do que as realizadas com ferramentas de aço rápido e requerem máquinas com características adequadas de velocidade, potência, refrigeração e rigidez. As brocas podem ser integrais a partir de barras de metal duro, ter insertos intercambiáveis (figura 10.4), ambas com ou sem revestimento, selecionadas de acordo com a aplicação

### 2.3.4 Retificação

Retificação é um processo de usinagem por abrasão que utiliza ferramentas de múltiplas arestas (multicortantes), a fim de assegurar as dimensões finais, os desvios de posição, a rugosidade superficial, etc., com a remoção do sobremetal previsto (BARRIOS, 2011). A retificação é uma operação bastante precisa e cuidadosa, que tem por objetivo:

- Dar à superfície de peças a exatidão de medidas que permita serem substituídas umas pelas outras, no conceito de intercambialidade;
- Retificar peças que tenham sido deformadas durante um processo de tratamento térmico;
- Realizar referência de usinagens posteriores, antes de a peça ser tratada termicamente. São operações conhecidas como retificação “mole”.

Figura 2.8. Tipos de retificação.



Fonte: Barrios (2011).

### 2.3.5 CNC- tornos e centros de usinagem

De acordo com Celani (2007), as máquinas CNC (Computer Numeric Control) são equipamentos que permitem a usinagem automática em peças de diferentes tipos de materiais, através do controle simultâneo de vários eixos, por meio de uma lista de movimentos escrita em código de máquina, enviada a partir de um computador. Essas máquinas permitem a produção de

peças complexas com grande precisão, a partir da modelagem geométrica em programas de CAD/CAM.

Barrios (2011) cita alguns benefícios obtidos pelo uso de máquinas-ferramenta CNC

- Fabricação de peças de geometria variada mais rápidas, com precisão e com melhoria do acabamento superficial;
- Execução de usinagens com tolerâncias dimensionais e geométricas mais apertadas;
- Redução de custos e do inventário em processo;
- Melhor repetibilidade na geometria e dimensões das peças produzidas, em lotes pequeno, médio ou seriados, possibilitando incremento na intercambialidade e facilidades de montagem e desmontagem.

## 2.4 Ferramentas de corte

Para a seleção de ferramentas de corte é preciso levar em consideração aspectos como geometria, material, tamanho e rigidez da peça e também as operações e da estratégia adotada, das dimensões da superfície a ser trabalhada, e da tolerância desejada. Sempre que possível deve-se optar por ferramentas padronizadas. (TUDELA, APRILE, 1998)

O desempenho da usinagem depende muito da geometria da ferramenta de usinagem, caso seja usada uma geometria inadequada, os resultados esperados podem ser inadequados. Para que não ocorram problemas ocasionados por problemas com a geometria da ferramenta, os ângulos e arestas foram normalizados e definida uma nomenclatura específica. A norma vigente no Brasil com relação aos ângulos das ferramentas de corte é a NBR-ISO 3002-1 (ANTES, 2019 apud FRACARO, 2017).

De acordo com Machado et. al (2009), as principais propriedades desejáveis em um material para ferramenta de corte podem ser assim listadas:

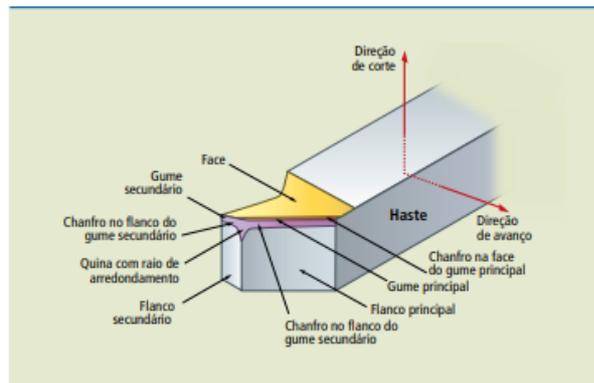
- Alta dureza para resistir desgaste de flanco e deformação;
- Tenacidade suficiente para evitar falha por fratura;
- Alta resistência ao desgaste abrasivo;
- Alta resistência à compressão;
- Alta resistência ao cisalhamento;
- Boas propriedades mecânicas e térmicas em temperaturas elevadas;
- Alta resistência ao choque térmico;
- Alta resistência ao impacto;

- Ser inerte quimicamente.

#### 2.4.1 Bits

Para Pelegrini (2019), o bit tem o formato de um tarugo com seção transversal quadrada, são altamente utilizados dentro do segmento de usinagem, podendo ser moldado para se obter ângulos e inclinações ajustadas para se obter um melhor acabamento.

Figura 2.9. Geometria da ferramenta de torneiar.



Fonte: Métodos e Processos Industriais (2011).

#### 2.4.2. Bedames

Já os bedames, são mais finos, geralmente parecidos com uma régua ou estilete. É uma peça de espessura mais fina, que também precisa de afiamento, de modo que este fique adequado ao tipo de peça que você vai fazer. (PELEGRINI, 2019)

#### 2.4.3 Insertos

De acordo com Pellenz et. al (2016), os insertos são ferramentas utilizadas nos processos de usinagem em tornos, fresas, centros de usinagem, ou seja, em todas as operações que necessitem um desbaste de um determinado material, podendo ser tanto para retirada grosseira de material como acabamento. Podem ser fabricados de diversos materiais e revestimentos, no entanto o mais utilizado é o inserto de metal duro, pois atende a serviços de altíssima velocidade e que resulta no deslocamento de cavaco com menos desgaste e impacto possível. De acordo com o emprego destes materiais, algumas exigências básicas surgem. A otimização das propriedades físico-mecânicas (dureza, tenacidade à fratura) para pastilhas, como regra, é determinada considerando a resistência da ferramenta durante a usinagem de materiais concretos (Pellenz et. al, 2016, apud, Grzesik, 1999). A ferramenta é vendida em inúmeros modelos, tamanhos e geometrias diferentes, normalmente, elas são usadas para realização de cortes em material bruto nos processos como fresamento,

rosqueamento, torneamento, dentre outros. Com os dados de corte e quando usadas corretamente, as pastilhas de metal duro para usinagem tendem a ter melhor produtividade, comparada com as pastilhas de outros tipos. A mesma é fixada em um suporte designado como porta-ferramentas, fabricado em aço baixa liga, no qual é fixado o inserto por meio de grampos ou parafusos. O porta-ferramentas é fixado ao na torre do torno ou em caso de tornos mais novos e automatizados, no magazine de ferramentas que é onde se concentram diversas ferramentas que podem ser trocadas dependendo da operação que se deseja executar. (Pellenz et. al, 2016, apud, Grzesik, 1999).

Figura 2.10. Pastilhas com revestimentos.



Fonte: Métodos e Processos Industriais (2011).

### Geometria da pastilha de torneamento

As geometrias para torneamento podem ser divididas em três tipos básicos que são otimizados para operações de acabamento, usinagem média e desbaste. O diagrama mostra a área de trabalho para cada geometria, com base na quebra de cavacos aceitáveis em relação ao avanço e à profundidade de corte. (Sandvik Coromant, 2021).

### Classe da pastilha de torneamento

A classe da pastilha é selecionada principalmente de acordo com:

- O material da peça (ISO P, M, K, N, S, H)
- Tipo de método (acabamento, usinagem média, desbaste)
- Condições de usinagem (boa, média, difícil)

A geometria e a classe da pastilha se complementam. Por exemplo, a tenacidade de uma classe pode compensar a falta de resistência de uma geometria.

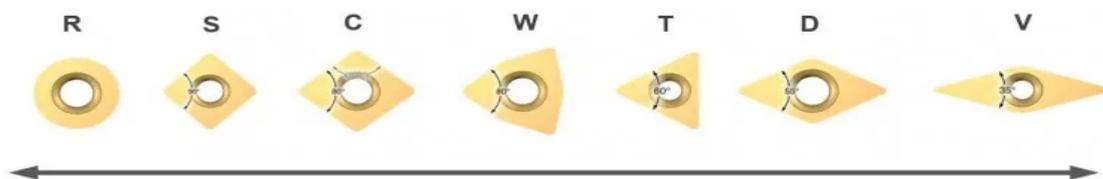
### Formato da pastilha de torneamento

O formato da pastilha deve ser selecionado em relação à acessibilidade do ângulo de posição da ferramenta. O maior ângulo de ponta possível deve ser selecionado para propiciar resistência e confiabilidade à pastilha. Porém, isso deve ser balanceado de acordo com a variação de cortes que precisam ser executados (Sandvik Coromant, 2021).

Um ângulo de ponta grande é robusto, porém requer maior potência da máquina e tem maior tendência à vibração.

Um ângulo de ponta pequeno é mais fraco e tem menor contato da aresta de corte, o que pode tornar a pastilha mais sensível aos efeitos térmicos.(Sandvik Coromant, 2021)

Figura 2.11. Formato de insertos de torneamento.



Sandvik Coromant (2021)

Resistência da aresta viva  
(Ângulo de ponta grande)

- Aresta mais robusta
- Faixas de avanço mais altas
- Maior força de corte
- Maior vibração

Menos tendências à vibração  
(Ângulo de ponta pequeno)

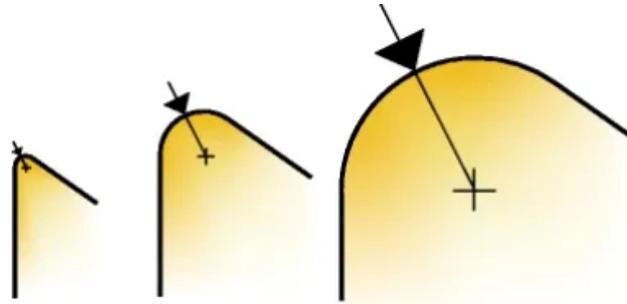
- Maior acessibilidade
- Menor vibração
- Menor força de corte
- Aresta de corte mais fraca

## 2.5 Parâmetros de corte

### Raio de ponta da pastilha de torneamento

O raio de ponta RE é um fator importante em operações de torneamento. As pastilhas estão disponíveis em vários tamanhos de raio de ponta. A escolha depende da profundidade de corte e do avanço e influencia o acabamento superficial, a quebra de cavacos e a resistência da pastilha.

Figura 2.12. Raio de ponta da pastilha.



Fonte: Sandvik Coromant, 2021.

#### Raio de ponta pequeno

- Ideal para profundidades de corte pequenas
- Reduz a vibração
- Aresta de corte fraca
- Geralmente uma melhor quebra de cavacos

#### Raio de ponta grande

- Faixa de avanço alta
- Grandes profundidades de corte
- Segurança da aresta robusta
- Forças radiais maiores

#### Profundidade do corte e forças de corte

A relação entre o raio de ponta e a profundidade de corte afeta a tendência a vibrações. As forças radiais que empurram a pastilha para longe da superfície de corte tornam-se mais axiais conforme a profundidade de corte aumenta.

É preferível ter mais forças axiais do que radiais. Forças radiais altas podem ter um efeito negativo na ação de corte o que pode resultar em vibração e acabamento superficial insatisfatório.

Como regra geral, escolha um raio de ponta menor ou igual que a profundidade de corte.

Os parâmetros de corte são grandezas numéricas que representam valores de deslocamento da ferramenta ou da peça, indicações ao tipo de trabalho a ser executado, ao material a ser usinado e ao material da ferramenta. Os parâmetros ajudam a obter um melhor aproveitamento da usinagem por meio da utilização racional dos recursos oferecidos por determinada máquina ferramenta.

De acordo com a Mitsubishi Materials Corporation, as condições ideais para usinagem são: o menor tempo de corte, a maior vida da ferramenta e a usinagem mais precisa. Para obter estas

condições é necessário a seleção eficiente de condições de corte e ferramentas, baseada no material usinado, dureza e formato da peça e capacidade da máquina.

#### Velocidades

Velocidade de corte  $V_c$  é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e o sentido do corte. (MACHADO et al.,2009). Para processos com movimentos de rotação, a velocidade de corte é calculada pela seguinte equação:

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (2.1)$$

Onde:

$d$ : diâmetro da peça ou da ferramenta em mm

$n$ : número de rotações por minuto (rpm)

Velocidade de avanço ( $v$ ) é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e o sentido de avanço (MACHADO et al.,2009). É dada pela equação:

$$V_f = f \cdot n \quad (2.2)$$

Onde:

$f$  = avanço em mm/rev (mm por revolução)

$n$  = número de rotações por minuto (rpm)

#### Velocidade efetiva de corte ( $V_e$ )

É a velocidade instantânea pelo ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e o sentido efetivo do corte. (MACHADO et al.,2009). É calculada vetorialmente como mostra a equação:

$$V_e = V_c + V_f \quad (2.3)$$

#### Profundidade de Corte ( $a_p$ )

É a profundidade de penetração da ferramenta na peça, medida perpendicularmente ao plano de trabalho (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

## Grandezas de corte

De acordo com Machado et al. (2009), são as grandezas que devem ser ajustadas na máquina de forma direta ou indiretamente.

O avanço ( $f$ ) é o percurso de avanço em cada volta (mm/rev) ou em cada curso da ferramenta (mm/golpe). No caso de ferramentas que possuem mais de um dente, como a fresa, distingue-se ainda o avanço por dente ( $fz$ ), que representa o percurso de avanço de cada dente medido na direção do avanço da ferramenta (correspondente à geração de duas superfícies consecutivas em usinagem).

$$f = fz \cdot z \quad (2.4)$$

Onde:

$f$ : avanço

$z$ : Número de dentes

$fz$ : avanço por dente

Além desses, há outros parâmetros mais complexos tecnicamente e usados em nível de projeto:

Profundidade de corte.

Profundidade ou largura de corte ( $ap$ ): é a profundidade ou largura de penetração da aresta principal de corte, medida em relação a uma direção perpendicular ao plano de trabalho. A unidade é dada em (mm).

Penetração de trabalho ( $ae$ ): é a penetração da ferramenta em relação à peça, medida no plano de trabalho e em uma direção perpendicular à direção de avanço. A unidade é em (mm).

Penetração de avanço ( $af$ ): é a grandeza de penetração da ferramenta medida no plano de trabalho e na direção de avanço. A unidade é dada em (mm).

## 2.6 Aços

### 2.6.1 Aço Inox

De acordo com a NBR 5601 de 12/2011, aços inoxidáveis são ligas de ferro (Fe) e cromo (Cr) em sua composição básica além de outros elementos de liga como titânio, níquel, alumínio etc,

cada um com funções específicas, que estabelece as designações e classifica os diferentes tipos de aços inoxidáveis em função da composição química.

Os aços inoxidáveis surgiram de estudos realizados em 1912, tanto na Inglaterra como na Alemanha. O aço estudado na Inglaterra era uma liga de Fe-Cr, com cerca de 13% de Cr. Na Alemanha, tratou-se de uma liga que, além de Fe e Cr, continha também níquel (Ni). No primeiro caso, era um aço inoxidável muito próximo ao que hoje chamamos de 420 e, no segundo, outro aço inoxidável bastante parecido com o que hoje conhecemos como 302 (CARBÓ, 2008).

Os aços inoxidáveis são divididos, de acordo com a sua microestrutura, sendo as principais: as dos aços Austeníticos, Ferríticos e Martensíticos.

#### Austenítico:

Tridapalli (2011) ressalta que aços austeníticos são ligas não-magnéticas de ferro-cromo-níquel que contém 8% de níquel, com baixo teor de carbono, cuja estrutura cristalina é a cúbica de face centrada (CFC), idêntica à do ferro a altas temperaturas. Possui boas propriedades mecânicas, boa soldabilidade, trabalhabilidade a frio e resistência à corrosão. Podem ser endurecidos por deformação e, neste estado, são ligeiramente magnéticos. Tem resistência à corrosão melhor que os demais, que está relacionada com a mudança na estrutura promovida pela presença do níquel. No entanto, em determinados meios, especialmente naqueles que contêm íons cloreto, o aço inoxidável 304 mostra tendência à corrosão por pite. A adição de elementos de liga como o molibdênio e a redução do teor de carbono, melhora sua resistência à corrosão. O aço inoxidável austenítico mais popular é o aço 304, que contém basicamente 18% de cromo e 8% de níquel, com um teor de carbono limitado a um máximo de 0,08%.

#### Ferríticos:

São considerados como aços inoxidáveis ferríticos os que possuem o cromo como o principal elemento de liga com teores de 10,5 a 30% e com carbono de no máximo 2%. Esses aços têm, a priori, uma estrutura essencialmente ferrítica (ferrita + carbonetos) em todas as temperaturas inferiores ao ponto de fusão. Esses aços não apresentam endurecimento apreciável por tratamento térmico, mas é usual o tratamento térmico de recozimento para alívios de tensões provocadas pela conformação a frio (VILELA, 2017)

#### Martensíticos:

Ludwig (2020) cita os aços inoxidáveis martensíticos como ligas de Fe-Cr-C, com teores de cromo entre 10,5 e 18 % e carbono entre 0,1 e 1,2 %, podendo conter outros elementos de liga, como o Mo, Ni, Si, Mn, P, S entre outros. Porém, a diferença é a presença de elementos gamagênicos, os quais permitem a formação da fase austenítica ( $\gamma$ ), e conseqüentemente a transformação martensítica. A estrutura martensítica é alcançada através da têmpera que consiste na austenitização (aços inoxidáveis de 1050 a 1100 °C) de um aço seguido de um resfriamento abrupto ao ar, óleo ou água. A transformação martensítica, inicia a uma temperatura denominada de temperatura de início da transformação martensítica ( $M_s$ ), onde a transformação completa ocorre apenas quando a temperatura alcança um valor característico, chamado de temperatura final da transformação martensítica ( $M_f$ ), formando uma estrutura cristalina remanescente tetragonal de corpo centrado (TCC).

### 2.6.2 Aço Carbono

O aço carbono é uma liga metálica, constituída majoritariamente de ferro e carbono, de expressiva importância econômica, que tem sido empregado intensivamente na composição de estruturas, na confecção de tubulações industriais e de utensílios domésticos. As classificações dos aços são designadas com um número de quatro dígitos (10XX), segundo os critérios adotados pela Society of Testing and Materials (ASTM). Os dois primeiros números indicam o tipo e o teor médio de elementos de liga, ou seja, os números 1 e 0 especificam que é um aço-carbono, enquanto que os dois últimos números (representados por XX) indicam o teor médio de carbono. (SOUZA, 2018 apud DWIVEDI; LEPKOVA; BECKER, 2017).

Os aços carbono são os mais produzidos, constituindo cerca de 90% da produção mundial. Podem ser divididos ainda em:

- aço de alto carbono – acima de 0,50% até o limite de 2,11%;
- aço de médio carbono – entre 0,20% e 0,49%;
- aço de baixo carbono – entre 0,05% e 0,20%;
- aço de carbono extra baixo – entre 0,015% e 0,05%;
- aço de carbono ultrabaixo – abaixo de 0,015%.

### 2.7 Usinabilidade do aço

Para Baptista (2002) a usinabilidade é uma propriedade que depende da interação entre o processo de fabricação e as características do material da peça. No caso dos aços, a composição

química, a microestrutura e os tratamentos térmicos e mecânicos têm um efeito acentuado na usinabilidade dessa classe de materiais metálicos.

## 2.8 Rugosidade

Para Machado (2009), a rugosidade é utilizada como parâmetro de saída para controlar um processo de usinagem, que depende de vários parâmetros, como máquina-ferramenta, propriedades do material da peça, geometria e material da ferramenta, e operação. Métodos estatísticos aplicados ao resultado da medição da rugosidade de uma superfície podem identificar as contribuições relativas de cada um desses parâmetros (Machado, apud, WHITEHOUSE, 1997). Geralmente, ondulações e falhas devem ser evitadas na fabricação de uma superfície, pois representam erros de fabricação. Logo, a rugosidade, é um parâmetro específico de acordo com a aplicação da superfície usinada. Uma rugosidade baixa é essencial em superfícies de mancais, superfícies que requerem pintura, superfícies que servirão de escoamento de fluidos e gases.

O aparelho empregado na medição da rugosidade é chamado rugosímetro. A medição pode ser feita com ou sem contato entre um apalpador e a peça, muito embora a medição com contato seja a mais utilizada pela simplicidade, versatilidade e custo mais baixo (MACHADO, 2009).

Indicação de rugosidade para superfícies usinadas.

Tabela 1.1. Indicação de rugosidade.

<b>SUPERFÍCIES CILÍNDRICAS EXTERNAS</b>			
<b>Processo</b>		<b>Classe de Tolerância IT</b>	<b>Rugosidade Ra (µm)</b>
Torneamento	Desbaste	12-13	10-80
	Semi acabamento	10-11	2,5-10
	Acabamento	7-9	1,25-2,5
Abertura de canal	Num único passe	11-12	10-20
Retificação	Desbaste	7-9	0,63-2,5

	Semi acabamento	6-7	0,16-0,63
	Acabamento	5-6	0,08-016
Lapidação	Semi acabamento	5-6	0,04-0,63
	Acabamento	3-5	0,008-0,08
Super acabamento		3-5	0,008-0,16
<b>SUPERFÍCIES CILÍNDRICAS INTERNAS</b>			
<b>Processo</b>		<b>Classe de Tolerância IT</b>	<b>Rugosidade Ra (µm)</b>
Furação		11-13	5-80
Rebaixamento		10-11	1,25-20
Alargamento	Desbaste	8-9	1,25-5
	Semi acabamento	7-8	0,63-1,25
	Acabamento	6-7	0,16-0,63
Mandrillamento	Desbaste	12-13	5-20
	Semi acabamento	10-11	2,5-10
	Acabamento	7-9	0,63-2,5
	De precisão	5-7	0,16-0,63
Brochamento	Semi acabamento	9-10	0,32-2,5
	Acabamento	6-9	0,16-0,63

Retificação	Desbaste	7-9	0,63-2,5
	Semi acabamento	6-7	0,16-0,63
	Acabamento	5-6	0,08-0,16
Brunimento	Semi acabamento	6-7	0,16-1,25
	Acabamento	4-6	0,04-0,32
Lapidação	Semi acabamento	5-6	0,04-0,63
	Acabamento	3-5	0,008-0,08
Super acabamento		3-5	0,008-0,16
<b>SUPERFÍCIES PLANAS</b>			
<b>Processo</b>		<b>Classe de Tolerância IT</b>	<b>Rugosidade Ra (µm)</b>
Fresamento	Desbaste	11-13	5-20
	Semi acabamento	8-11	1,25-10
	Acabamento	6-8	0,32-1,25
Faceamento	Desbaste	12-13	10-80
	Semi acabamento	10-11	2,5-10
	Acabamento	7-9	1,25-2,5
Aplainamento	Desbaste	11-13	5-20
	Semi acabamento	8-11	2,5-10

	Acabamento	6-8	0,63-5
Brochamento	Semi acabamento	10-11	0,63-2,5
	Acabamento	6-9	0,16-0,63
Retificação	Desbaste	7-9	0,63-2,5
	Semi acabamento	6-7	0,16-0,63
	Acabamento	5-6	0,08-0,16
Lapidação	Semi acabamento	5-6	0,04-0,63
	Acabamento	3-5	0,008-0,08
Super acabamento		3-5	0,008-0,16

Fonte: Autoria própria (2021)

## 2.9 Tolerâncias

Como menciona Oliveira et. al (2007), na fabricação de peças é impossível em função de uma série de variáveis a obtenção de dimensões exatamente iguais àquelas de projetos presentes no desenho da peça. Sendo assim, independente de tais peças trabalharem isoladamente ou acopladas, deve-se estabelecer uma faixa de variação para cada uma dessas dimensões que garanta a funcionalidade do referido elemento, a tolerância, que é a variação permissível da dimensão da peça, dada pela diferença entre as dimensões máxima e mínima. As tolerâncias dimensionais a serem estabelecidas em projeto dependem das exigências funcionais da peça. De acordo com Guimarães, normalmente adotam-se valores para as tolerâncias em função das dimensões, dos objetivos da peça a ser fabricada e dos equipamentos disponíveis.

Tabela 2.2. Ajustes recomendados.

Ajustes Recomendados						
Tipos de Ajustes	Exemplos de ajustes	Extra preciso	Mecânica precisa	Mecânica média	Mecânica ordinária	Aplicação
Livre	Montagem à mão, podendo girar sem esforço	H6e7	H7e7/H7e8	H11e9	H11a11	Folga devido dilatação ou mal alinhadas
Rotativo	Montagem à mão, com facilidade	H6f6	H7f7	H8f8	H10d10/H11d11	Deslizam ou giram com lubrificação (eixos, mancais)
Deslizante	Montagem à mão, com leve pressão	H6g5	H7g6	H8g8/ H8h8	H10h10/H11h11	Deslizam ou giram com grande precisão (anéis de rolamentos, corredeiras)
Deslizante Justo	Montagem à mão, com esforço	H6h5	H7h6			Encaixes fixos (punções, guias)
Aderente forçado leve	Montagem com auxílio de martelo	H6j5	H7j6			frequentes desmontagens sem deformações (polias, engrenagens, rolamentos)
Forçado duro	Montagem com auxílio de martelo pesado	H6m5	H7m6			Possíveis desmontagens sem deformações
Pressão com esforço	Montagem com auxílio de balancim ou dilatação	H6p5	H7p6			Impossíveis de desmontar sem deformação

Fonte: Autoria própria. (2021)

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais usinados: As propriedades mecânicas do material de uma peça, como processo de fabricação, dureza, e a função que irá desempenhar são um fator importante na seleção do método de torneamento, pois apresentam grande influência nos parâmetros de corte que poderão ser utilizados. Sendo o principal produto da empresa esteiras transportadoras alimentícias, existe a necessidade da utilização de materiais não corrosivos, que não contaminem os alimentos, os aços inoxidáveis e aços carbono, para projetos de centros de distribuição de caixas e pacotes, onde não há preocupação com a corrosão.

Tabela 3.1: Barras utilizadas para a confecção de eixos.

Descrição	Tipo	Diâmetro	Tensão de escoamento	Resistência à tração	Alongamento	Estricção	Dureza HB
Barra Redonda	304	4,76mm	674	795	40	74	234
Barra Redonda	304	4,76mm	695	792	38	69	235
Barra Redonda	304	4,76mm	546,47	722,04	50,83	78,55	222-222 8
Barra Redonda	304	4,76mm	701,51	830,81	37,5	72,91	258-264
Barra Redonda	304	6,35mm	701,51	830,81	37,5	72,91	258-264 BH
Barra Redonda	304	6,35mm	701,51	830,81	37,5	72,91	258-264 BHN
Barra Redonda	304	25,40mm	327	659	48,7	74,4	178,8HB
Barra Redonda	420	38,10mm	586	732	26	-	187BHN
Barra Redonda	420	38,10mm	586	732	26	-	187BHN
Barra Redonda	420	31,75mm	539	719	26	-	176BHN

Fonte: Adaptada do fornecedor Grupo Feital (2021)

Máquinas do setor de usinagem: É necessário saber a capacidade de cada máquina de usinagem para o projeto de usinagem, para adequar o projeto ao que se tem disponível na fábrica. A empresa dispõe de máquinas de torno convencional, torno CNC, máquina fresadora, chaveteira e rosqueadeira

Tabela 3.2. Máquinas do setor de usinagem.

<b>U<sub>n</sub></b>	<b>MÁQUINAS USINAGEM</b>	<b>MODELO</b>	<b>POTÊNCIA</b>
3	Torno Paralelo Universal	ND325	8/5 CV (3,7kW)
2	Torno CNC	Nardini Logic 195 II	10 CV (7,5kW)
1	Fresadora	VH-3 ECO	3 CV
1	Rosqueadeira pneumática	AQ-20-1000	
1	Serra Gravitacional e Manual	S3720NG-M2	1,5 CV

Fonte: Autoria própria (2021)

### 3.1 Metodologia DMAIC

Este trabalho foi desenvolvido numa empresa do setor de soluções intra logísticas, focada na fabricação de esteiras classificadoras para indústria alimentícia e centros de distribuição, situada em Chapecó-SC.

No processo de usinagem, o planejamento consiste na escolha de alguns recursos dentre os disponíveis, como máquinas-ferramentas, ferramentas de corte, dispositivos de fixação, definição de sequência de operações, definição de condições de corte e definição de operações auxiliares, de forma a padronizar o trabalho de quem irá executar essas tarefas para a obtenção do produto final dentro das especificações. No presente trabalho, objetiva-se criar uma folha padronizada para o processo de usinagem de eixos, com as características citadas, a fim de diminuir problemas de execução. A sequência metodológica baseou-se na ferramenta DMAIC.

Tabela 3.3. Método DMAIC.

D	M	A	I	C
Define-Definir	Measure-Medir	Analyze-Analisar	Improve-Melhorar	Control-Controlar

Fonte: Autoria própria (2021)

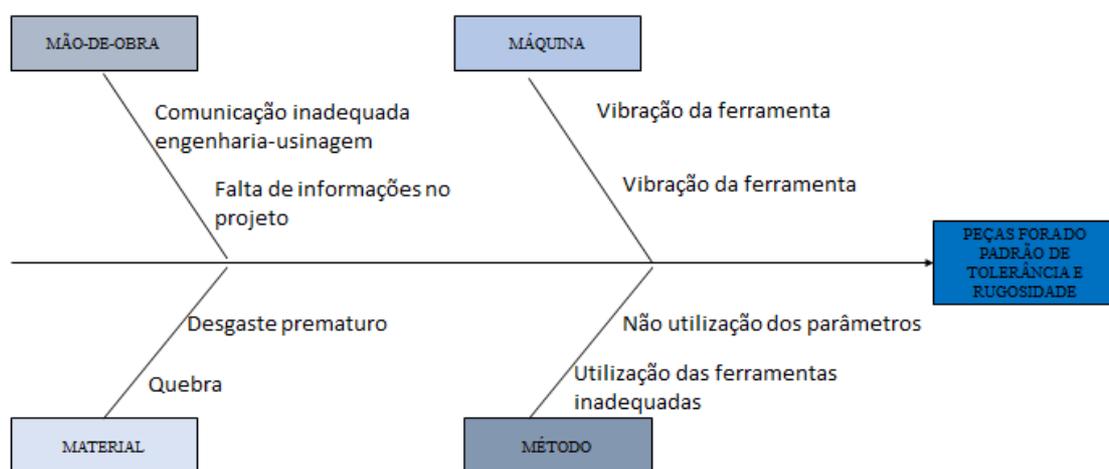
### D: Define-Definir

Em busca de melhoria no resultado final de peças usinadas, foi proposto de planejamento para o setor, focando no projeto detalhado para a obtenção da qualidade desejada.

### M-Measure-Medir

A fábrica antes da elaboração e implantação da Folha de Processos, executava as atividades de usinagem em função do conhecimento, prévio ou adquirido, de cada operador, logo, não existia uma sequência padrão, tampouco um tempo padrão de cada etapa do processo. Para identificar os pontos que necessitavam de atenção e classificar as informações relevantes para elaborar o procedimento operacional padrão, deixando a instrução com uma linguagem comum, clara, objetiva e didática a quem for utilizar, foi medido de forma qualitativa as causas potenciais do problema.

Figura 3.2. Diagrama de Ishikawa.



Fonte: Autoria própria

### A:Analyze-Analisar

Identificou-se as causas raízes que afetam o processo de forma significativa e geram variabilidade no resultado de interesse. Essa etapa é de extrema importância para o método DMAIC, pois é nela que a causa escolhida na etapa anterior de fato perturba o seu processo, comprometendo o resultado do seu indicador. (CAE treinamentos, 2020).

Nesta etapa, após levantadas as possíveis causas do problema e acompanhando o processo de projetos dos eixos e de usinagem, focou-se no quesito principal, a elaboração do sequenciamento de operações, com indicações de ferramentas, tolerâncias dimensionais e rugosidades, baseados na norma vigente, a fim da redução do problema identificado.

### **Improve:Melhorar**

Nesta etapa, propõe-se priorizar, testar e executar as soluções para o problema.

Para cada causa raiz estudada e comprovada na fase de análise, foi identificada uma solução adequada que será implementada através de um Plano de Ação.

Para colocar o planejamento em prática, foi elaborado um 5W2H, para seguir

Tabela 3.4 . Plano de ação 5W2h.

O que?	Por que?	Como?'	Onde?	Quem?	Quando?	Quanto?
Planejamento de processo de usinagem	Peças fora dos padrões de tolerância e rugosidade	Buscando normas e parâmetros de corte.	Setor de projetos de engenharia	Baís Ananda - Estagiária	Abril-Junho	Sem Custos

Fonte: Autoria Própria.

Para a elaboração do planejamento, baseou-se nos requisitos para:

Torneamento:

#### **Potência de Corte:**

É necessário que a potência de corte seja menor do que a potência disponível no motor da máquina. Caso ela seja igual ou maior, o eixo-árvore da máquina deixará de girar pela sobrecarga, danificando a ferramenta. Dessa forma, calcula-se a potência de corte no torneamento pela expressão a seguir:(BARRIOS, 2011).

$$P_C = \frac{K_c \cdot a_p \cdot f_n \cdot V_c}{6000 \cdot \eta} \quad (3.1)$$

em que:

PC = potência de corte (CV)

Kc = pressão específica de corte (kgf/mm<sup>2</sup>)

ap = profundidade de corte (mm)

fn = avanço (mm/rpm)

VC = velocidade de corte (m/min)

$\eta$  = rendimento.

**Profundidade de corte** ( $a_p$ ) é o parâmetro que menos afeta a vida da ferramenta. Aumentos de 50% na  $a_p$  reduzem em cerca de 15% a vida da ferramenta. Aumentar a  $a_p$  é o melhor método para aumentar a taxa de remoção de material. Os fatores limitantes ao aumento da profundidade de corte são:

- quantidade de material removido;
- potência disponível na máquina;
- capacidade da ferramenta;
- acabamento superficial, forma da peça e precisão requerida.

**Avanço** – tem grande efeito sobre a vida da ferramenta, pois 50% de aumento na taxa de avanço provoca redução de até 60% na vida da ferramenta. Aumentos no avanço são limitados pela máquina-ferramenta, dados técnicos da peça.

**Velocidade de corte (VC)** – tem o maior efeito sobre a vida da ferramenta. A seleção da VC é crítica. No geral, 50% de aumento na velocidade de corte resulta em 90% de perda na vida da ferramenta. Um aumento na VC é o meio menos desejável para aumentar a produtividade. Materiais de corte como metais duros revestidos, cerâmicas, diamante policristalino e CBN têm boas propriedades a altas velocidades de corte. Uma alta VC pode gerar problemas de vibração, reduzir a vida de componentes da máquina e colocar em risco a segurança. É recomendável avaliar com o fabricante da ferramenta qual a melhor VC para a aplicação desejada

criteriosas considerações devem ser feitas a respeito de aumentos na produção e custos por peça. Recomenda-se fazer alteração em um parâmetro por vez quando for solicitado mudar as condições de produtividade e vida da ferramenta, para saber qual parâmetro está realmente influenciando no resultado final.

Para o cálculo da rpm, usar:

$$N = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (3.2)$$

em que:

VC = velocidade de corte (m/min)

D = diâmetro de torneamento (mm)

$\pi = 3,14$  (constante)

$N$  = rotação do eixo-árvore (rpm)

Para o cálculo da velocidade de avanço (VA) em torneamento, usar:

$$V_a = f \cdot N \quad (3.3)$$

com VA = mm/min;

$f$  é o avanço da ferramenta em mm por rpm.

O cálculo do tempo ( $t$ ) de usinagem, em minutos, é dado pelo espaço percorrido pela ferramenta em milímetros dividido pela velocidade de avanço:

$$t = L/l \quad (3.4)$$

Fresamento:

Os principais parâmetros de corte no fresamento são:

VC = velocidade de corte (m/min);

$f_z$  = avanço por dente (mm/z) ;

Avanço por dente ( $f_z$ ).

Vf = avanço da mesa (mm/min);

$f_n$  = avanço por rotação (mm/rpm);

$a_e$  = profundidade de corte radial (mm) ;

$a_p$  = profundidade de corte axial (mm)

### **C:Control:Controlar**

Foi estabelecido um Plano de Controle, pensando em formas de garantir que esses resultados obtidos não se percam, como treinamentos de padronização, de revisão de procedimentos e definir como vai ser feita a medição dos resultados a partir desse momento. Para o controle das etapas estabelecidas foi criado um documento padrão.

## 4. RESULTADOS

Utilizou-se um eixo de tração de aço inox 304 de um projeto da fábrica para mostrar a aplicação da proposta de planejamento de usinagem.

### 4.1. Análise da estrutura da peça

Para iniciar o planejamento, iniciou-se a análise do projeto de eixo, a partir de suas formas, foi possível decidir a máquina de usinagem que seria utilizada. No caso da peça analisada, a primeira máquina a ser utilizada foi a serra para a retirada do tarugo, base do eixo. A partir daí foi escolhido o torno convencional para as operações de faceamento e torneamento externo cilíndrico. E por último, foi selecionada a fresadora, para abrir o rasgo da chaveta.

Figura 4.1 . Eixo de tração no programa SolidWorks 2017

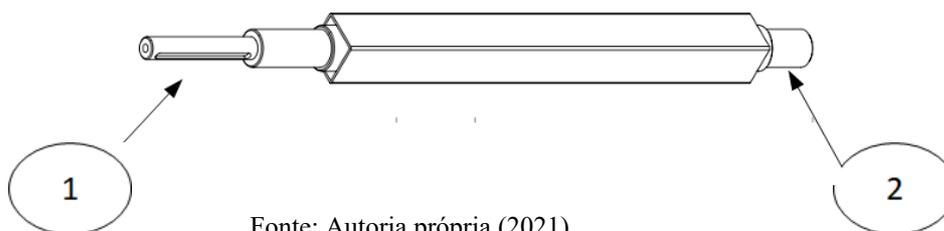


Fonte: Autoria própria (2021).

### 4.2 Definição das superfícies críticas

Para a definição das superfícies críticas, foi analisada a funcionalidade da peça, que é um eixo de tração, e suas extremidades, que são as partes que mantêm contato com o mancal e o motor, foram priorizadas como superfícies críticas, onde havia a necessidade de maior precisão dimensional e forma. De acordo com a norma ABNT/NBR 6158 e ABNT/NBR 8404 o grau de tolerância e rugosidade foram definidos como na figura 4.2.

Figura 4.2. Definição de superfícies críticas.



Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 4.1. Indicação de superfícies críticas.

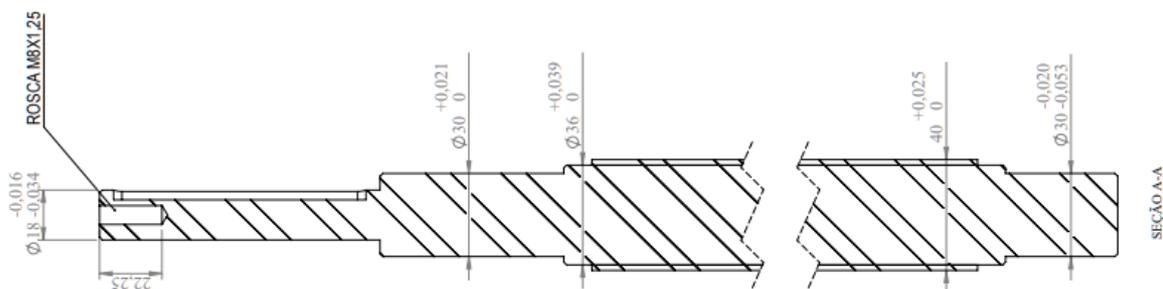
Superfície	Contato	Tolerância	Rugosidade
1.	Acoplada à engrenagem	IT7	N9
2.	Acoplada ao motor	IT7	N9

Fonte: Autoria própria (2021).

#### 4.2.1 Tolerâncias

Cada processo tem uma faixa de tolerância dimensional que podem variar de acordo com as condições de trabalho das máquinas, das ferramentas e condições de corte, além do operador, é necessário um cuidado maior em superfícies críticas, para o eixo em questão a tolerância dimensional indicada foi IT7 no diâmetro 18mm, com ajuste H7j6, e para o eixo de 30mm, tolerância de IT8 e ajuste H8f8, conforme indicado na ABNT/NBR 6158.

Figura 4.3. Indicação de tolerância de eixo de tração de inox 304.

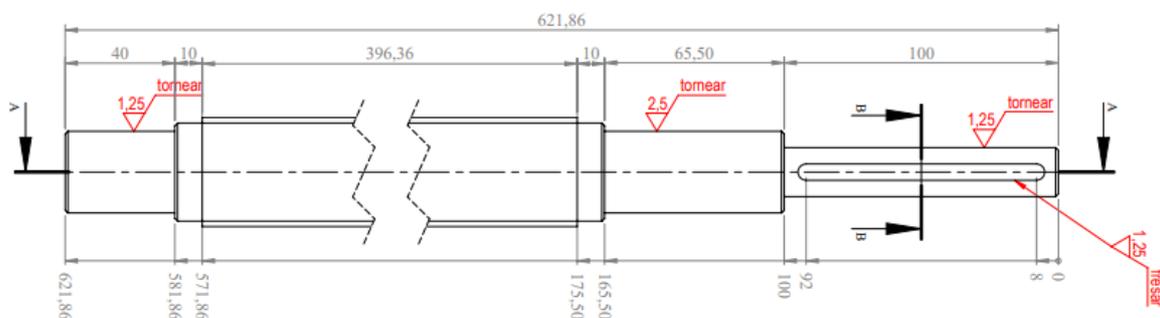


Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.2 Rugosidade

A rugosidade da peça também pode ser verificada de acordo com tabelas de indicação, quanto mais crítica a superfície, menor o valor de rugosidade requerido, logo para o eixo em questão, as extremidades necessitam de maior cuidado. O grau de tolerância indicado para acabamento de torneamento externo cilíndrico está entre N7-N9, com a rugosidade entre 1,25 e 2,5  $\mu\text{m}$ , baseado na ABNT/NBR 8004 e ISO 1302.

Figura 4.4. Indicação de rugosidade de eixo de tração de inox 304.

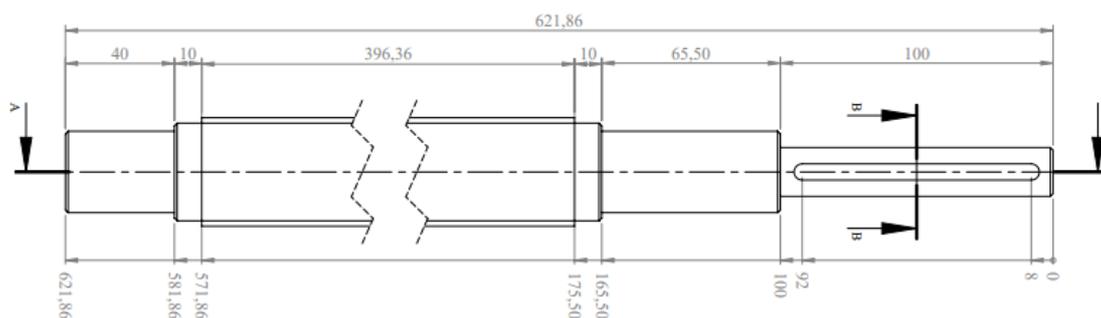


Fonte: Autoria própria.

### 4.3 Dimensões da superfície

Ter as dimensões da peça de forma clara, é de suma importância para a otimização do tempo na hora do processo de usinagem. Logo, padronizou-se o modelo de cotas em cotas adjacentes.

Figura 4.5. Cotas adjacentes.



Fonte: Autoria própria. (2021)

### 4.4 Sub-operações de Usinagem

A partir das tolerâncias dimensionais e rugosidade exigidas, foi possível definir as sub-operações de usinagem, que são desbaste, semi-desbaste e acabamento. No desbaste, foi retirada a parte mais bruta da peça, é a primeira sub-operação e possui maiores faixas de tolerâncias. O semi-desbaste foi sugerido para as superfícies intermediárias, que não têm contato com outras peças, nas superfícies críticas, serviu de preparação para o acabamento, que foi o último passo, com retirada mínima de material e melhor acabamento superficial.

Figura 4.6. Separação de operação



. Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 4.2. Sub-operações de usinagem.

Superfície	Operação
1.	Acabamento
2	Acabamento
3.	Desbaste
4.	Desbaste

Fonte: Autoria própria (2021).

#### 4.5 Separação de operações

Visando minimizar o tempo, as mudanças de fixação, máquinas-ferramentas e ferramentas e fabricação de muitos detalhes antes da inspeção, foi definida a separação de operações e suboperações.

Para Halevi e Weill (1995), as operações devem ser colocadas em uma certa ordem, de acordo com relacionamentos precedentes ou das prioridades relevantes, que se classificam da seguinte maneira:

- Dimensões com uma referência como prioridade;
- Tolerâncias geométricas com uma referência de dados como prioridade;
- Obstáculos tecnológicos em ordem para executar as sequências de operações corretamente;
- Obstáculos econômicos nos quais reduzem os custos da produção e desgaste ou ruptura de ferramentas caras, entre outros.

#### 4.6 Seleção Máquina-Ferramenta

Levando em consideração a forma das peças, as tolerâncias requeridas, máquinas disponíveis e suas potências, definiu-se as máquinas a serem utilizadas, o torno para o eixo,

chaveteira para o rasgo da chaveta e rosqueadeira para a rosca. Em seguida, foi necessário calcular a potência requerida na operação, esta que deve ser menor que a potência da máquina.

Tabela 4.3. Seleção de máquinas.

Desbaste e acabamento de eixo	Torno universal ND325
Furo	Torno universal ND325
Rosca interna	Rosqueadeira
Rasgo da chaveta	Fresadora

Fonte: Autoria própria (2021).

#### 4.7 Seleção de ferramentas

Para a seleção das ferramentas de corte, foi necessário conhecimento do tipo de material, no caso do aço inoxidável, as ferramentas recomendadas são do material metal-duro, para aço carbono, podem ser definidas ferramentas de metal duro e aço rápido. Outros parâmetros que deve-se atentar são a forma do inserto, tipo de inserto, suporte da ferramenta, método de fixação do inserto no porta-ferramentas, entre outros. A fim de diminuir a diversidade de opções, foi necessário adotar alguns critérios, seguindo as normas ISO e ANSI.

O primeiro passo a ser tomado foi verificar quais operações utilizavam a mesma ferramenta, sendo separadas em externas, internas e de segmentos específicos, como o rosqueamento.

As ferramentas selecionadas foram insertos de metal duro Sandvik Coromant, por possuírem maior tempo de vida útil, e pelo melhor controle dos parâmetros de corte.

Tabela 4.4. Material a ser usinado.

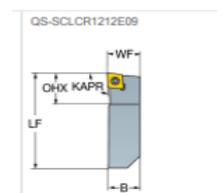
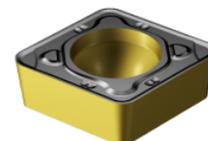
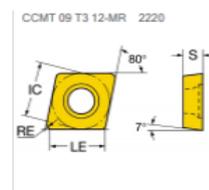
Barra	Material	Diâmetro	Dureza
Aço Inoxidável	304	38,10	176 HB

Fonte: Autoria própria (2021).

## FACEAMENTO

Figura 4.7. Indicação de inserto.

PASTILHA COROTURN 107 PARA TORNEAMENTO	
ISO	CCMT 09 T3 12-MR 2220
CLASSIFICAÇÃO PARA MATERIAL	M
FORMATO	CC09T3
NUMERO DE ARESTA DE CORTE	2
CODIGO DO FORMATO DA PASTILHA	C
RAIO DE CANTO	1.1906 mm
COBERTURA	CVD TICN+AL2O3+TIN
ANGULO PRINCIPAL	80°
ANGULO DE FOLGA	7°
SENTIDO	N
PORTA FERRAMENTA CONVENCIONAL COROTURN® 107 QS PARA TORNEAMENTO	
ISO	QS-SCLCR1212E09
ÂNGULO DA ARESTA DE CORTE DA FERRAMENTA	95°
ÂNGULO DE ATAQUE DA FERRAMENTA	-5°
CÓDIGO DO TIPO DE FIXAÇÃO	S
SENTIDO	R
TORQUE	3 Nm



Fonte: Sandvik Coromant (2021)

Figura 4.8. Indicação de parâmetros do inserto CCMT 09 T3 12-MR 2220 .

M	ap 2 mm(1.2-4)
	fn 0.3 mm/r(0.15-0.42)
	vc 195 m/min(255-160)

Fonte: Sandvik Coromant (2021)

Tabela 4.5. Dados de corte do inserto CCMT 09 T3 12-MR 2220.

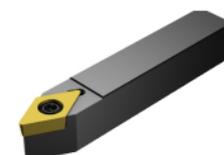
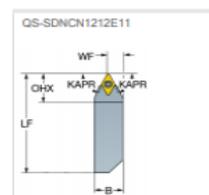
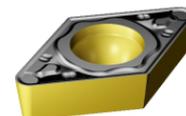
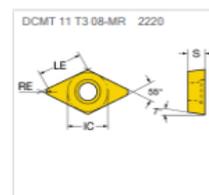
Dados de corte	
	1
Velocidade de corte (VC)	194 m/min
Avanço por rotação (FN)	0,244 mm
Velocidade de fuso (N)	1620 1/min
	1
Número de passes na direção AP (NOPAP)	1
Profundidade de corte (AP)	1,5 mm
Rotação máxima (RPM MAX)	10000 1/min
Rotação máxima (RPM MAX)	3,39 kW
Torque máximo de corte (MC MAX)	20 Nm
Vida útil da ferramenta (LIFETIME)	15 min
Vida útil da ferramenta em unidade de comprimento (LIFELENGTH)	2906,62 m

Fonte: Sandvik Coromant (2021)

## DESBASTE

Figura 4.9. Indicação de inserto.

DESBASTE 621,86	
Pastilha CoroTurn® 107 para torneamento	
ISO	DCMT 11 T3 08-MR 2220
CLASSIFICAÇÃO PARA MATERIAL	M
FORMATO	DC11T3
NUMERO DE ARESTA DE CORTE	2
CODIGO DO FORMATO DA PASTILHA	D
RAIO DE CANTO	0.7938 mm
COBERTURA	CVD TiCN+AL2O3+TiN
ANGULO PRINCIPAL	55°
ANGULO DE FOLGA	7°
SENTIDO	N
<b>PORTA FERRAMENTA CONVENCIONAL COROTURN® 107 QS PARA TORNEAMENTO</b>	
ÂNGULO DA ARESTA DE CORTE DA FERRAMENTA	62,5
ÂNGULO DE ATAQUE DA FERRAMENTA	27,5
CÓDIGO DO TIPO DE FIXAÇÃO	S
SENTIDO	N
TORQUE	3 Nm



Fonte: Sandvik Coromant (2021)

Figura 4.10. Indicação de parâmetros do inserto DCMT 11 T3 08-MR 2220

M	ap 2 mm(0.8-4)
	fn 0.25 mm/r(0.12-0.35)
	vc 210 m/min(275-180)

Fonte: Sandvik Coromant (2021)

Tabela 4.6. Dados de corte do inserto DCMT 11 T3 08-MR 2220.

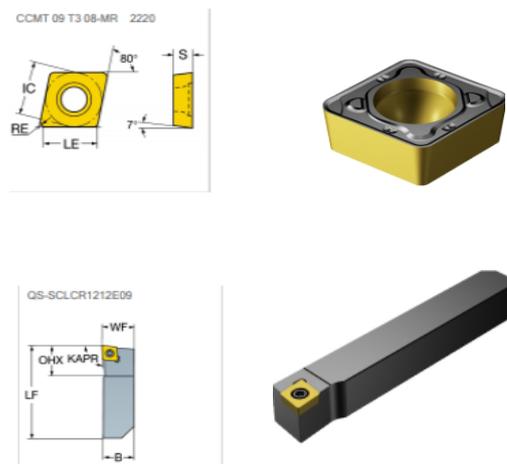
Dados de corte	
	1
Velocidade de corte (VC)	211 m/min
Avanço por rotação (FN)	0,282 mm
Velocidade de fuso (N)	1870 1/min
Número de passes na direção AP (NOPAP)	1
Diâmetro inicial usinado (DMS)	38,1mm
Diâmetro final usinado (DME)	36 mm
Profundidade de corte (AP)	1,05 mm
Rotação máxima (RPM MAX)	1870 1/min
Rotação máxima (RPM MAX)	3,08 kW
Torque máximo de corte (MC MAX)	15,7 Nm
Vida útil da ferramenta (LIFETIME)	15 min
Vida útil da ferramenta em unidade de comprimento (LIFELENGTH)	3170,8 m

Fonte: Sandvik Coromant (2021)

## SEMI ACABAMENTO

Figura 4.11. Indicação de inserto

PASTILHA COROTURN 107 PARA TORNEAMENTO	
ISO	CCMT 09 T3 08-MR 2220
CLASSIFICAÇÃO PARA MATERIAL	M
FORMATO	CC09T3
NUMERO DE ARESTA DE CORTE	2
CODIGO DO FORMATO DA PASTILHA	C
RAIO DE CANTO	0.7938 mm
COBERTURA	CVD TICN+AL2O3+TIN
ANGULO PRINCIPAL	80°
ANGULO DE FOLGA	7°
SENTIDO	N
PORTA FERRAMENTA CONVENCIONAL COROTURN® 107 QS PARA TORNEAMENTO	
ISO	QS-SCLCR1212E09
ÂNGULO DA ARESTA DE CORTE DA FERRAMENTA	95°
ÂNGULO DE ATAQUE DA FERRAMENTA	-5°
CÓDIGO DO TIPO DE FIXAÇÃO	S
SENTIDO	R
TORQUE	3 Nm



Fonte: Sandvik Coromant (2021)

Figura 4.12. Indicação de parâmetros do inserto CCMT 09 T3 08-MR 2020.

## Valores iniciais

M	ap 2 mm(0.8-4)
	fn 0.25 mm/r(0.12-0.35)
	vc 210 m/min(275-180)

Fonte: Sandvik Coromant (2021).

Tabela 4.7. Dados de corte do inserto DCMT 11 T3 08-MR 2220.

	Dados de corte		
	1	2	3
Velocidade de corte (VC)	181	192	211m/min
Avanço por rotação (FN)	0.25	0.25	0.226mm
Velocidade de fuso (N)	1750	2040	1870 1/min
Número de passes na direção AP (NOPAP)	1	1	1
Diâmetro inicial usinado (DMS)	36	32,88	36mm
Diâmetro final usinado (DME)	32,88	30	30mm
Profundidade de corte (AP)	1.56	1.44	1.44mm
Rotação máxima (RPM MAX)	1750	2040	2240 1/min
Rotação máxima (RPM MAX)	3.45	3.4	3.5kW
Torque máximo de corte (MC MAX)	18.8	15.9	17.9Nm
Vida útil da ferramenta (LIFETIME)	28	22	18min
Vida útil da ferramenta em unidade de comprimento (LIFELENGTH)	5050.88	4231.55	3803.38m

Fonte: Sandvik Coromant (2021)

## ACABAMENTO

ACABAMENTO 100	
<b>PASTILHA COROTURN 107 PARA TORNEAMENTO</b>	
ISO	CCMT 09 T3 08-MR 2220
CLASSIFICAÇÃO PARA MATERIAL	M
FORMATO	CC09T3
NUMERO DE ARESTA DE CORTE	2
CODIGO DO FORMATO DA PASTILHA	C
RAIO DE CANTO	0.7938 mm
COBERTURA	CVD TICN+AL2O3+TIN
ANGULO PRINCIPAL	80°
ANGULO DE FOLGA	7°
SENTIDO	N
<b>PORTA FERRAMENTA CONVENCIONAL COROTURN® 107 QS PARA TORNEAMENTO</b>	
ISO	QS-SCLCR1212E09
ÂNGULO DA ARESTA DE CORTE DA FERRAMENTA	95 °
ÂNGULO DE ATAQUE DA FERRAMENTA	-5 °
CÓDIGO DO TIPO DE FIXAÇÃO	S
SENTIDO	R
TORQUE	3 Nm

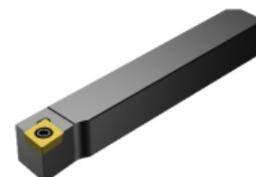
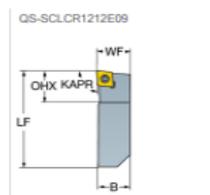
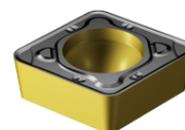
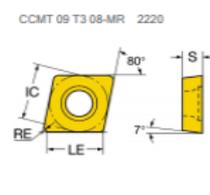


Figura 4.13. Indicação de inserto. Fonte: Sandvik Coromant (2021)

### Valores iniciais

M	ap 2 mm(0.8-4)
	fn 0.25 mm/r(0.12-0.35)
	vc 210 m/min(275-180)

Figura 4.14. Indicação de parâmetros do inserto DCMT 11 T3 08-MR 2220. Fonte: Sandvik Coromant (2021).

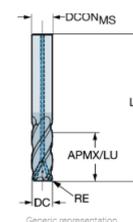
	Dados de corte		
	1	2	3
Velocidade de corte (VC)	186	240	211m/min
Avanço por rotação (FN)	0.25	0,183	0.234mm
Velocidade de fuso (N)	2200	4240	2240 1/min
Número de passes na direção AP (NOPAP)	3	1	1
Diâmetro inicial usinado (DMS)	30	20,88	30mm
Diâmetro final usinado (DME)	20,88	18	18mm
Profundidade de corte (AP)	1,52	1,44	1.44mm
Rotação máxima (RPM MAX)	2840	4240	3740 1/min
Rotação máxima (RPM MAX)	3.46	3.47	3.5kW
Torque máximo de corte (MC MAX)	15	7,82	14.9Nm
Vida útil da ferramenta (LIFETIME)	25	15	15 min
Vida útil da ferramenta em unidade de comprimento (LIFELENGTH)	4652,87	3596,87	3170,8m

Tabela 4.8. Dados de corte do inserto DCMT 11 T3 08-MR 2220. Fonte: Sandvik Coromant (2021)

## RASGO DA CHAVETA

Figura 4.15. Indicação de inserto.

FRESA DE TOPO COROMILL® PLURA INTEIRIÇA DE METAL DURO	
ISO	2S342-0600-100CMA 1740
CLASSIFICAÇÃO PARA MATERIAL	M
FORMATO	CC09T3
NUMERO DE ARESTA DE CORTE	4
CODIGO DO FORMATO DA PASTILHA	C
RAIO DE CANTO	1 MM
COBERTURA	PVD ALTIM



Fonte: Sandvik Coromant (2021)

Tabela 4.9. Dados de corte do inserto 2S342-0600-100 CMA 1740

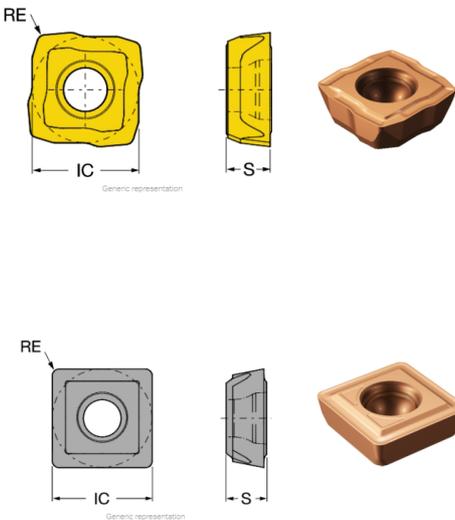
Dados de corte	
	1
Velocidade de corte (VC)	73 m/min
Avanço por dente (FZ)	0,0203 mm
Velocidade de fuso (N)	1620 1/min
Número de passes na direção AP (NOPAP)	1
Largura de corte (AP)	1,5 mm
Rotação máxima (RPM MAX)	3890 1/min
Potência máxima (RPM MAX)	0,481kW
Taxa de Remoção QQ	8,3 cm <sup>3</sup> /mm
Vida útil da ferramenta (LIFETIME)	15 min
Vida útil da ferramenta em unidade de comprimento (LIFELENGTH)	2906,62 m

Fonte: Sandvik Coromant (2021)

## FURAÇÃO

Figura 4.16. Indicação de inserto.

FRESA DE TOPO COROMILL® PLURA INTEIRIÇA DE METAL DURO (CENTRAL)	
ISO	880-03 03 05H-C-LM 1144
CLASSIFICAÇÃO PARA MATERIAL	M/S
FORMATO	CoroDrill 880 -0303-C
NUMERO DE ARESTA DE CORTE	4
CODIGO DO FORMATO DA PASTILHA	C
RAIO DE CANTO	0,5 MM
COBERTURA	PVD TIALN+ALCR2O3+TIALN
PASTILHAS CORODRILL® 880 PARA FURAÇÃO (PERIFÉRICA)	
ISO	880-03 03 W06H-P-MS 2044
CLASSIFICAÇÃO PARA MATERIAL	M/S
FORMATO	CoroDrill 880 -0303-P
NUMERO DE ARESTA DE CORTE	4
CODIGO DO FORMATO DA PASTILHA	S
RAIO DE CANTO	
COBERTURA	PVD TIALN+ALCR2O3+TIALN



Fonte: Sandvik Coromant (2021)

Figura 4.17. Indicação de parâmetros do inserto 880-03 0 05H-C-LM 1144 e 880-03 03 W06H-P-MS 2044.

M	$f_n$ 0.11 mm/r(0.06-0.14)
	$vc$ 155 m/min(180-115)

Fonte: Sandvik Coromant (2021).

Tabela 4.9. Dados de corte .

Dados de corte	
	1
Velocidade de corte (VC)	115 m/min
Avanço por rotação FZ)	0,0616 mm
Velocidade de fuso (N)	2030 1/min
Número de passes na direção AP (NOPAP)	1
Largura de corte (AP)	1,5 mm
Rotação máxima (RPM MAX)	3890 1/min
Potência máxima (RPM MAX)	3,5 kW
Taxa de Remoção QQ	8,3 cm <sup>3</sup> /mm
Vida útil da ferramenta (LIFETIME)	15 min
Vida útil da ferramenta em unidade de comprimento (LIFELENGTH)	2906,62 m

Fonte: Sandvik Coromant (2021)

#### 4.8 Dispositivo de fixação

Os dispositivos de fixação são necessários de acordo com a rigidez da peça, são utilizados

somente quando absolutamente necessário, para garantir tolerâncias e aumentar produtividade. De acordo com Halevi e Weill (1995), um dispositivo de fixação deve ter dureza e rigidez suficiente para não romper a peça com a carga menor que a do projeto, não sofra flexões além da permissível e não mude de posição. A qualidade da fixação tem influência direta nas dimensões.

Para o eixo em questão, indicou-se a utilização da placa de três castanhas, pois o eixo a ser usinado é cilíndrico, uma luneta móvel para evitar flexão, e contrapontas.

#### 4.9 Superfície de referência

A superfície de referência, que é utilizada para fixação e inspeção pós usinagem, é definida no projeto, quando se estabelece as cotas e tolerâncias. Conseqüentemente, define sua posição e direção de fabricação.

#### 4.10 Determinação sobremetal

A cada operação, a superfície está associada a uma dimensão que deve ser obtida. O sobremetal retirado numa operação depende das tolerâncias desta operação, assim como das tolerâncias da operação anterior. Para não ter consumo exagerado de metal, foi determinado o diâmetro comercial acima mais próximo do eixo a ser usinado.

Tabela 4.10. Indicação de sobremetal.

DIÂMETRO (mm)	SOBREMETAL NO DIÂMETRO				OPERAÇÃO ANTERIOR	
	DESBASTE		SEMI-ACABAMENTO			
	COMPRIMENTO (mm)				TORNEAMENTO DA CASCA	TORNEAMENTO DE DESBASTE
	<=200	>200 -400	<=200	>200 -400		
<=10	1,5	1,7	0,8	1,0	IT14	IT12-13
>10-18	1,5	1,7	1,0	1,3		
>18-30	2,0	2,2	1,3	1,3		
>30-50	2,0	2,2	1,4	1,5		
>50-80	2,3	2,5	1,5	1,8		
>80-120	2,5	2,8	1,5	1,8		
>120-180	2,5	2,8	1,8	2,0		
>180-260	2,8	3,0	2,0	2,3		
>260-360	3,0	3,3	2,0	2,3		

Fonte: Alvares, 2001.

#### 4.11 Condições de corte

As condições de corte envolveram os seguintes parâmetros:

Velocidade de corte ( $V_c$ )

Barrios (2011), descreve alguns fatores para a seleção da velocidade de corte:

- Material da peça – com maior dureza do material, geralmente aplica-se menor  $V_c$ ;

material da ferramenta – materiais mais resistentes suportam maior  $V_c$ ; por exemplo, o metal duro é mais resistente que o aço rápido e permite maior  $V_c$ ;

- Seção e formato da peça – formas delgadas (torneamento fino), maior velocidade; formas espessas (desbaste), menor velocidade; para corte interrompido em torneamento, é recomendado o uso de menor velocidade do que para corte contínuo;

- Refrigeração de corte – com refrigeração, principalmente em corte contínuo, admite-se velocidade de corte até 40% maior – em fresamentos por via seca é comum maior velocidades de corte do que em via úmida; • modelo construtivo da máquina – máquinas robustas e rígidas permitem maior velocidade de corte;

- Fixação da peça e ferramenta – procura-se fixação estável para aplicar maior velocidade de corte.

O valor da  $V_c$  para cada aplicação e operação é sugerido pelos fabricantes de ferramentas em faixas de valores obtidos de dados experimentais para certo tempo de vida da ferramenta, em corte realmente efetivo. Pode ser calculada a rotação (rpm) com esse valor sugerido de  $V_c$ , por exemplo, para o uso de uma broca. Pode ser calculada a  $V_c$  quando são conhecidos a rotação (rpm) e o diâmetro. Ou seja, podemos calcular e definir a rotação a ser usada, bem como podemos calcular a  $V_c$  ao ver uma aplicação, para conferir com valores sugeridos.

Profundidade (ap)

Barrios (2011) define a seleção da profundidade ideal iniciando com a verificação da necessidade de usinagem, o tamanho da aresta da ferramenta (pastilha) e as recomendações para o quebra-cavaco escolhido. A profundidade de corte máxima ideal é o resultado dessas informações, e a adoção do valor real depende da potência disponível no motor. É preciso evitar que a profundidade de corte mínima seja menor que o tamanho do raio de ponta da ferramenta. Em operações de acabamento no torneamento, principalmente interno, usa-se o mínimo raio de ponta possível e ângulo de saída positivo, para obter menor pressão de corte, o que evita a deformação da geometria usinada, como os desvios de circularidade e

cilindricidade. A utilização de grandes profundidades de corte aumenta a quantidade de metal removido por unidade de tempo, mas, em compensação, provoca significativos acréscimos na potência de corte e no desgaste e quebra das ferramentas. Usar uma profundidade muito pequena causa perda do controle dos cavacos, possíveis vibrações, além de não ser econômico, por precisar passar a ferramenta mais vezes para remover a quantidade de material requerida.

#### Avanço (f)

O avanço é indicado nas recomendações do fabricante para cada tipo de ferramenta.. O avanço máximo deve ser sempre menor que o tamanho do raio de quina. Avanços muito pequenos normalmente resultam em um fluxo de cavacos ruim, uma vida da ferramenta mais curta e maior tempo de usinagem. Se o avanço for muito alto, produz aumento de esforços e maior potência de corte, o que prejudica o acabamento superficial e causa avarias na ferramenta, como as trincas mecânicas e deformação plástica. Em geral, no torneamento utiliza-se o avanço em mm/rpm. Com ferramentas multicortantes (fresas), é comum a especificação do avanço por dente ou aresta da fresa (fz), mas regulam-se ou programam-se as máquinas pela velocidade de avanço (BARRIOS, 2011).

#### Tempo padrão

Foi calculado o tempo padrão de cada operação, para servir como base para a produção. Os parâmetros de corte são responsáveis pelo tempo efetivo de corte na usinagem. Pode-se calcular o tempo efetivo de usinagem  $t$  pela seguinte equação:

$$t = \frac{L}{Fn.N} \quad (4.1)$$

Onde:

$t$ : tempo (min)

$L$ : espaço percorrido pela ferramenta (mm)

$Fn$ : Avanço (mm/min)

$N$ : Rotação Nm

Foi elaborado uma calculadora para determinar as condições de corte necessárias, onde são inseridas as informações necessárias para o processo de usinagem. Os dados:

Velocidade de corte, avanço e profundidade são indicados na ferramenta, e a rotação, potência de corte e tempo de corte são calculados.

Figura 18. Calculadora de parâmetros.

Dados do eixo		Dados máquina	
Comprimento total da peça		Fresadora	
Comprimento a ser usinado			
Diâmetro inicial			
Diâmetro final			
Operação	Faceamento		
	1. Rugosidade (NBR 8404)		
	2. Tolerância e ajustes (NBR 6158/NBR 14646)		
	3. Dispositivos de fixação		
	Parâmetros		
	Material (Kc)	Aço Inox	
Dados da ferramenta	Velocidade de corte VC (mm/min)	mm/min	
	Avanço FN (mm/rev)	mm/rev	
	Profundidade de corte AP (mm)	mm	
Dados Calculados	Rotação N (rpm)	#DIV/0!	rpm
	Potência de corte PC (kw)	0	kW
	Tempo de corte TC (min ou s)	#DIV/0!	s

Fresadora  
**Fresadora**  
 Torno

Faceamento  
 Desbaste  
 Semi acabamento  
 Acabamento  
**Faceamento**  
 Sangramento  
 Rosca

Aço Inox  
**Aço Inox**  
 Aço Carbono

Fonte: Autoria própria (2021).

Nesta calculadora são inseridas as informações de cada operação, um ponto importante a ser observado é a potência de corte exigida pela ferramenta, que deve ser sempre menor que a potência da máquina a ser utilizada, fresadora ou torno.

Figura 19. Calculadora de parâmetros com os dados.

Dados do eixo			
Comprimento total da peça	621,86	Dados máquina	
Comprimento a ser usinado	165,5	Torno	3,7 kW
Diâmetro inicial	36		
Diâmetro final	30		
Operação	Faceamento		
	1. Rugosidade (NBR 8404)	10 µm	
	2. Tolerância e ajustes (NBR 6158/NBR 14646)	H7j6	
	3. Dispositivos de fixação	Placa de 3 castanhas/contrapontas	
	3.	Parâmetros	
	Material (Kc)	Aço Inox	3677
Dados da ferramenta	Velocidade de corte VC (mm/min)	186	mm/min
	Avanço FN (mm/rev)	0,25	mm/rev
	Profundidade de corte AP (mm)	1,5	mm
Dados Calculados	Rotação N (rpm)	1645	rpm
	Potência de corte PC (kw)	3,41961	kW
	Tempo de corte TC (s)	24	s

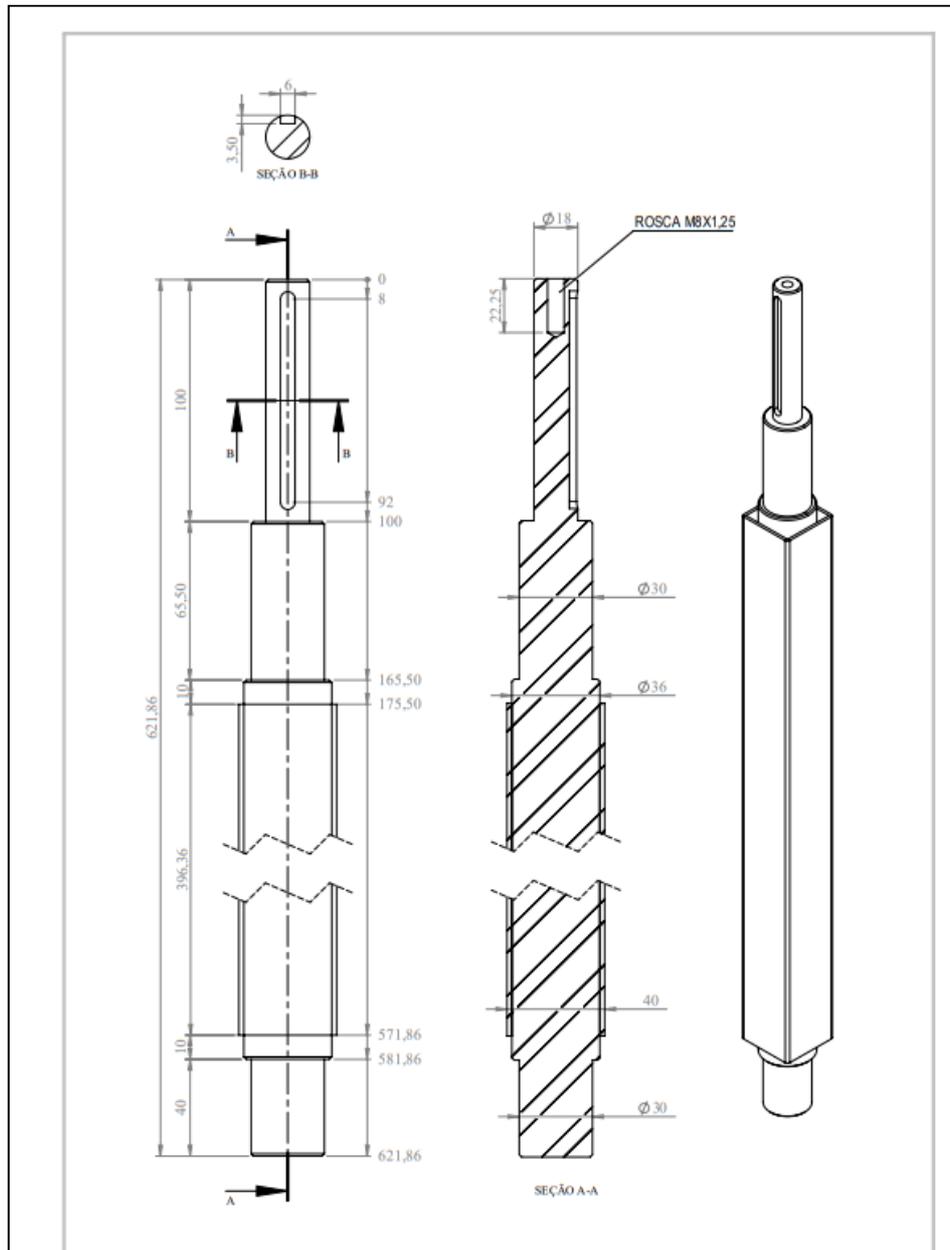
Fonte: Autoria própria (2021).

#### 4.12 Documentação plano de processo

Após concluído cada passo da operação, foi planejado o documento padrão, para ser utilizado como base para a realização na produção. Este, que contém a seleção de processos de fabricação por usinagem e das máquinas-ferramenta, os roteiros e a descrição de atividades de cada etapa da fabricação, a definição do material em bruto, a dimensão, o sobremetal e a rugosidade das superfícies para a usinagem inicial e entre as operações intermediárias. Deve garantir que a última operação do roteiro gere a peça, atendendo exatamente às especificações do desenho.

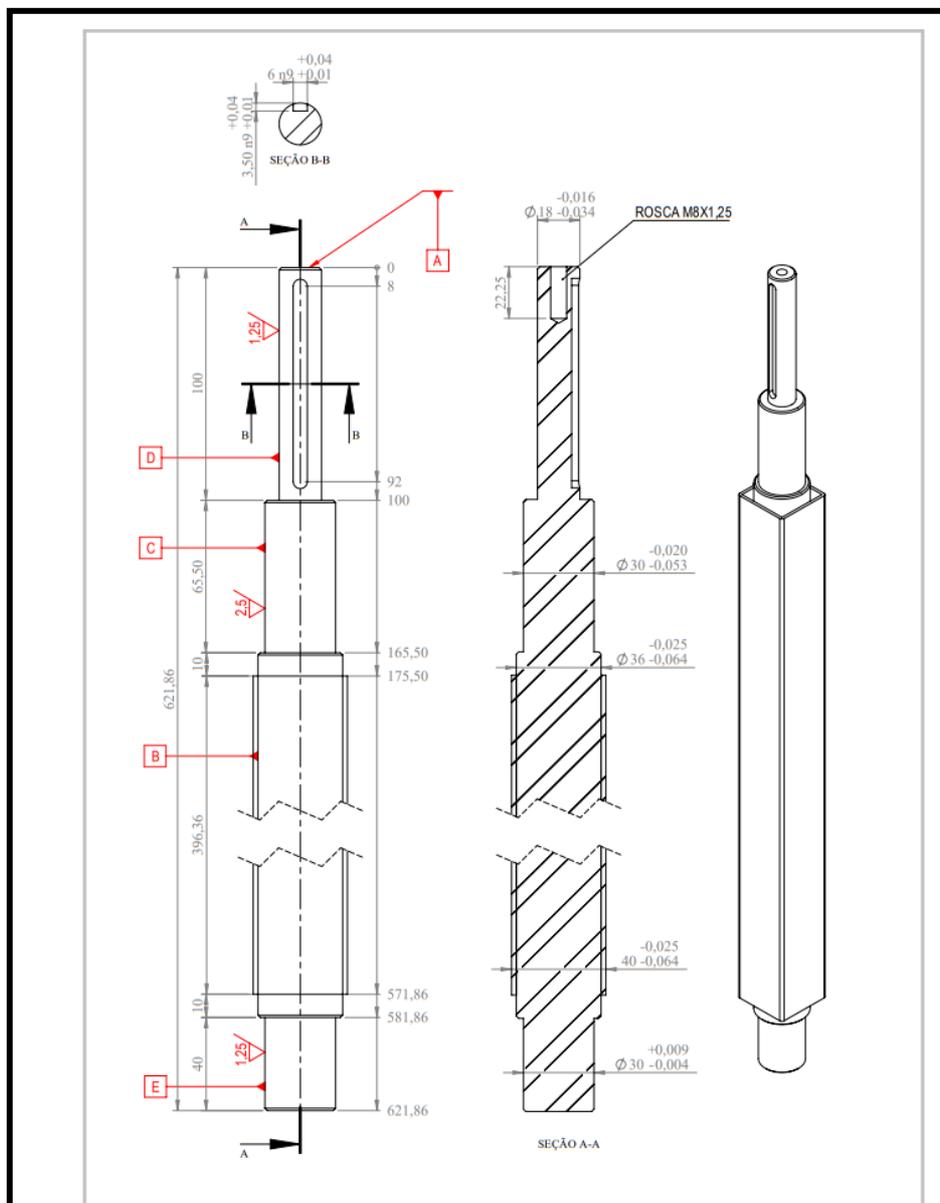
Quando o projeto é enviado em folha A4, vai com o sequenciamento de usinagem em outra folha de processo. Quando enviado em formato A3, o sequenciamento de usinagem vai na mesma folha. É possível ver as folhas de projeto antes e depois da implementação de planejamento a seguir.

Figura 20. Folha A4 antes da implantação do planejamento.



Fonte: Autoria própria.

Figura 21. Folha A4 após a implantação do planeamento.



Fonte: Autoria própria. (2021)

	PLANO DE PROCESSOS DE USINAGEM		N° do produto					
			N° da peça					
			Nome da peça					
Material		Matéria prima		Dureza				
N° da operação	Nome da operação	Equipamento	Disp. De fixação	Ferramenta	Instr. De medição	Tempos padrões	Obs.	
N° da sequencia	Operação Elementar	Espec. Ferramenta	VC	f(mm/v)	ap(mm)-maximo	tp(s)	Rotação (rpm)	Rugosidade (µm)
10								
20								
40								
50								
60								
70								
80								
90								
100			Processista		Aprovação			
			Data		Data			
N° da Alteração	Aprovação	Data	N° da alteração		Data da alteração			

Figura 22. Folha de processo. Fonte: Autoria própria (2021).



Tabela 4.11. Descrição de operação inserida na folha A3

OP	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO	Passes	VC	f(mm/v)	ap(mm)- maximo	tp(s)	Rotação(rpm)	Rugosidade (um)	Vida Util
1ª FIXAÇÃO: Fixar eixo na placa de 3 castanhas na superfície B e utilizar contrapontas									
10	FACEAMENTO SUPERFÍCIE A	1	194	0,25	1,5	6	1620	2,5	1390
20	TORNEAR- DESBASTE INICIAL B	1	211	0,3	1	92	1763	10	30,6
30	TORNEAR- SEMI DESBASTE ATÉ 165,5 SUPERFÍCIE C E CHANFRAR 45°	1	181	0,25	1	25	1600	2,5	88,1
40	ACABAMENTO ATÉ 100 SUPERFÍCIE D E CHANFRAR 45°	3	186	0,25	1,5	15	1974	1,25	106
2ª FIXAÇÃO: Fixar eixo na placa de 3 castanhas na superfície B e utilizar contrapontas									
50	TORNEAR- ACABAMENTO ATÉ 100 SUPERFÍCIE E e CHANFRAR 45°	1	186	0,25	1,5	15	1645	1,25	132
60	FRESAR- RASGO CHAVETA SUPERFÍCIE D	1	73	0,0203	13	6,12	1620	1,25	379
	FURAR SUPERFÍCIE A	-	115	0,0616	-	10,8	2030		
70	ROSQUEAMENTO DO FURO		100	6	0,72	0			499

Fonte: Autoria Própria. (2021)

Tabela 4.12. Descrição de operação inserida na folha A3

OP	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO	FERRAMENTA	PORTA FERRAMENTA	CLASSE IT	ACABAMENTO SUPERFICIAL
1ª FIXAÇÃO					
20	FACEAMENTO SUPERFÍCIE A	CCMT 09 T3 12-PR 4335	QS-SCLCR1212E09	IT7	IT11
30	DESBASTE INICIAL B	DCMT 11 T3 08-PR 4325	QS-SDNCN1212E11	IT7	IT10
40	SEMI DESBASTE ATÉ 165,5 SUPERFÍCIE C	CCMT 09 T3 08-PR 4425	QS-SCLCR1212E09	IT8	IT10
50	ACABAMENTO ATÉ 100 SUPERFÍCIE D	CCMT 09 T3 08-PR 4425	QS-SCLCR1212E09	IT8	IT10
2ª FIXAÇÃO					
70	ACABAMENTO ATÉ 100 SUPERFÍCIE E	CCMT 09 T3 08-PR 4335	QS-SCLCR1212E09		
80	RASGO CHAVETA	2S342-0600-100CMA 1740	-	IT7	IT7
90	FURAÇÃO	880-03 03 W06H-P-MS 2044 - PERIFÉRICA	880-03 03 05H-C-LM 1144 - CENTRAL		
100	ROSQUEAMENTO	CXS-06TH125MM-6215R 1025	INTEIRIÇA	IT9	IT9

Fonte: Autoria Própria. (2021)

## 5. CONCLUSÃO

Através dos resultados apresentados, por meio do estudo em questão, pode-se concluir que a implementação da proposta de planejamento do processo de usinagem elaborada a fim de definir um sequenciamento do projeto, evitando escolhas inadequadas, foi alcançada. A padronização é importante, uma vez que o estudo e reorganização dos processos permitem que os responsáveis pelo setor possam executar suas atividades de forma mais confiável e segura.

Foi possível identificar e propor soluções para os problemas identificados através da metodologia DMAIC, bem como criar ferramentas e padrões que podem trazer futuramente, quando aplicadas de forma prática, redução de custos e melhoria na qualidade das peças usinadas.

Para a aplicação de tolerâncias foi necessário o entendimento da ABNT NBR 6158:1995-sistemas de tolerâncias e ajustes, com ajustes H7j6 nas superfícies críticas e H8f8, nas demais superfícies, e rugosidades indicadas da ABNT NBR 8404:1984- Indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos, que variam entre N6 e N10, dependendo da operação, visando peças dentro dos parâmetros de qualidade requeridos. Para a decisão das ferramentas adequadas, foi levado em consideração o material dos eixos usinados e a capacidade do maquinário já existente na fábrica, o material dos insertos indicados para aços de acordo com sua dureza, são de metal duro, com os parâmetros Velocidade de Corte, Profundidade de corte e Avanço, tanto para insertos de torneamento, quanto para insertos de fresamento, indicados pelo fabricante, com isso um ponto importante a ser verificado é a potência de corte gerada pela ferramenta, que deve ser menor que a potência da máquina, caso não ocorra, deve-se escolher o parâmetro que menos afeta na qualidade final para a mudança dentro da faixa indicada. Para otimização no tempo de usinagem, também foi proposto inserir no plano o sequenciamento de acordo com a similaridade de processos, evitando troca de ferramentas e máquinas. Espera-se com a implantação da padronização do processo, redução nos problemas identificados, evitar trabalhos desnecessários, complementar o projeto de usinagem.

Com a gestão do setor de projetos de usinagem, acredita-se que a sugestão aqui desenvolvida é aplicável e apresenta resultados satisfatórios. Aplicando-se futuramente, será possível mensurar a mudança no resultado final do eixos em questão.

Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se aplicação do processo, mensurando os dados atuais da empresa a ser estudada, e os valores após a implantação, para identificar melhoria da qualidade e redução de falhas, custos e tempo de produção.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. 3ª edição. Editora: Edgard Blucher Ltda, 2015

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 18ª reimpressão. Editora: Edgard Blucher Ltda, 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ABNT NBR 8404:1984: Indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos - Procedimento**. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6158:199: Sistema de tolerâncias e ajustes**. 1995

Barrios, Daniel Benítez; **Mecânica: métodos e processos industriais** - São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011 (Coleção Técnica Interativa. Série Mecânica, v. 5)

**Torneamento geral, Sandvik Coromant.**  
<<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general-turning/pages/default.aspx>>  
Acesso em: 17/05/2021 (14:05)

**O que é um fresamento bem-sucedido?, Sandvik Coromant**  
<<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/pages/default.aspx>>  
Acesso em: 17/05/2021 (14:30)

Antunes, Luciana & Sehnem, Simone & Lima, Mauricio. (2014). **Análise do planejamento e controle de produção no setor de usinagem, corte e conformação em indústria Metal-mecânica**. Navus - Revista de Gestão e Tecnologia. 22-34. 10.22279/navus.2014.v4n1.p22-34.99.

PELLENZ, Julio Nathan. **Benefícios para vida do inserto com a utilização de fluido de corte no processo de torneamento**. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 06 a 10 de Novembro de 2016, Natal, RN, Brasil

BAPTISTA, André Luís de Brito. **Aspectos metalúrgicos na avaliação da usinabilidade de aços**. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 55, n. 2, p. 103-109, abr. 2002. Disponível em  
<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672002000200006&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672002000200006&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 20 maio 2021.  
<https://doi.org/10.1590/S0370-44672002000200006>.

PELEGRINI, Felipe Tadeu. **Análise do acabamento de peças de alumínio torneadas por bits e insertos de metal duro**. 2019. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2019.

ANTES, Regis Heitor. **Estudo da influência do avanço e da diluição de fluido biolubrificante isento de óleos na rugosidade no torneamento do aço inox AISI 304**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade do Vale do Taquari -Univates, Lajeado, 2019.

SOUZA, Lucas Callado. **Inibidores de corrosão naturais: uma comparação com substâncias de uso comercial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

VILELA, Larissa de Barros. **Efeito da Deformação a Frio e da Temperatura de Recozimento Final Sobre a Evolução Estrutural de um Aço Inoxidável Ferrítico ASTM 410**. Dissertação de Mestrado. UFOP – UEMG. Ouro Preto. 2017.

LUDWIG, Gustavo Alberto. **PPGE3m revestimentos de wc-10co-4cr obtidos por aspersão térmica (hvof) sobre aço inoxidável martensítico visando melhorar a resistência à corrosão e a erosão**. universidade federal do rio grande do sul – UFRGS Escola de Engenharia Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais Porto Alegre. 2020

DE SOUZA, Dr. Andre João. **Processo de fabricação por usinagem- Apostila**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS. 2011.

PÓVOA, Paulo Victor Nogueira. **Aço inoxidável como material para equipamentos da indústria de alimentos** Monografia. Universidade Federal De Uberlândia Faculdade De Engenharia Química Curso De Graduação em Engenharia Química. 2017.

BORGES, E.; DA TRINDADE SANTIS, C.; GABRIEL WIEDENHOFT, A. **A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO E GESTÃO ESTRATÉGICA NO GERENCIAMENTO DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO POR USINAGEM**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 8, n. 1, 14 fev. 2020.

FARIAS, Samuel Souza. **Método de furação profunda para fabricação de cilindro externo dos amortecedores dianteiros dos veículos de duas rodas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará- UFPA .2017.

OLIVEIRA, José Eduardo Ferreira; MESQUITA, Noemia Gomes de Mattos; YADAVA, Yogendra Prasad; **Tolerâncias dimensionais de peças usinadas com pastilhas cerâmicas – um estudo de caso**. Artigo Científico. Universidade Federal de Pernambuco- UFPE. 2007.

CELANI, G.. **A Importância Da Pesquisa Na Formação De Docentes: O Caso Da “Informática Aplicada À Arquitetura E Urbanismo”**, 2007. 10 f. Notas de Aula. Digitalizada.

## 7. ANEXOS

## Coeficiente de potência de corte: Torneamento

Kc

Material	Resistência à Tração e Dureza (MPa)	Coeficiente de Força Específica de Corte Kc (MPa)				
		0.1 (mm/rot)	0.2 (mm/rot)	0.3 (mm/rot)	0.4 (mm/rot)	0.6 (mm/rot)
Aço Baixo Carbono (com ligas especiais)	520	3610	3100	2720	2500	2280
Aço Baixo Carbono	620	3080	2700	2570	2450	2300
Aço Duro	720	4050	3600	3250	2950	2640
Aço Ferramenta	670	3040	2800	2630	2500	2400
Aço Ferramenta	770	3150	2850	2620	2450	2340
Aço Cromo-Manganês	770	3830	3250	2900	2650	2400
Aço Cromo-Manganês	630	4510	3900	3240	2900	2630
Aço Cromo-Molibdênio	730	4500	3900	3400	3150	2850
Aço Cromo-Molibdênio	600	3610	3200	2880	2700	2500
Aço Níquel Cromo-Molibdênio	900	3070	2650	2350	2200	1980
Aço Níquel Cromo-Molibdênio	352HB	3310	2900	2580	2400	2200
Ferro Fundido Duro	46HRC	3190	2800	2600	2450	2270
Ferro Fundido Meehanite	360	2300	1930	1730	1600	1450
Ferro Fundido Cinzento	200HB	2110	1800	1600	1400	1330

Fonte: Mitsubishi Carbide.

## Coeficiente de potência de corte: Fresamento

Kc

Material	Resistência à Tração e Dureza (MPa)	Coeficiente de Força Específica Kc (MPa)				
		0.1 (mm/dente)	0.2 (mm/dente)	0.3 (mm/dente)	0.4 mm/dente)	0.6 (mm/dente)
Aço Baixo Carbono (com ligas especiais)	520	2200	1950	1820	1700	1580
Aço Baixo Carbono	620	1980	1800	1730	1600	1570
Aço Duro	720	2520	2200	2040	1850	1740
Aço Ferramenta	670	1980	1800	1730	1700	1600
Aço Ferramenta	770	2030	1800	1750	1700	1580
Aço Cromo-Manganês	770	2300	2000	1880	1750	1660
Aço Cromo-Manganês	630	2750	2300	2060	1800	1780
Aço Cromo-Molibdênio	730	2540	2250	2140	2000	1800
Aço Cromo-Molibdênio	600	2180	2000	1860	1800	1670
Aço Níquel Cromo-Molibdênio	940	2000	1800	1680	1600	1500
Aço Níquel Cromo-Molibdênio	352HB	2100	1900	1760	1700	1530
Aço Inoxidável Austenítico	155HB	2030	1970	1900	1770	1710
Ferro Fundido	520	2800	2500	2320	2200	2040
Ferro Fundido Meehanite	48HRC	3000	2700	2500	2400	2200
Ferro Fundido Duro	360	2180	2000	1750	1600	1470
Ferro Fundido Cinzento	200HB	1750	1400	1240	1050	970
Latão	500	1150	950	800	700	630
Ligas Leves (Al-Mg)	160	580	480	400	350	320
Ligas Leves (Al-Si)	200	700	600	490	450	390
Ligas Leves (Al-Zn-Mg-Cu)	570	880	840	840	810	720

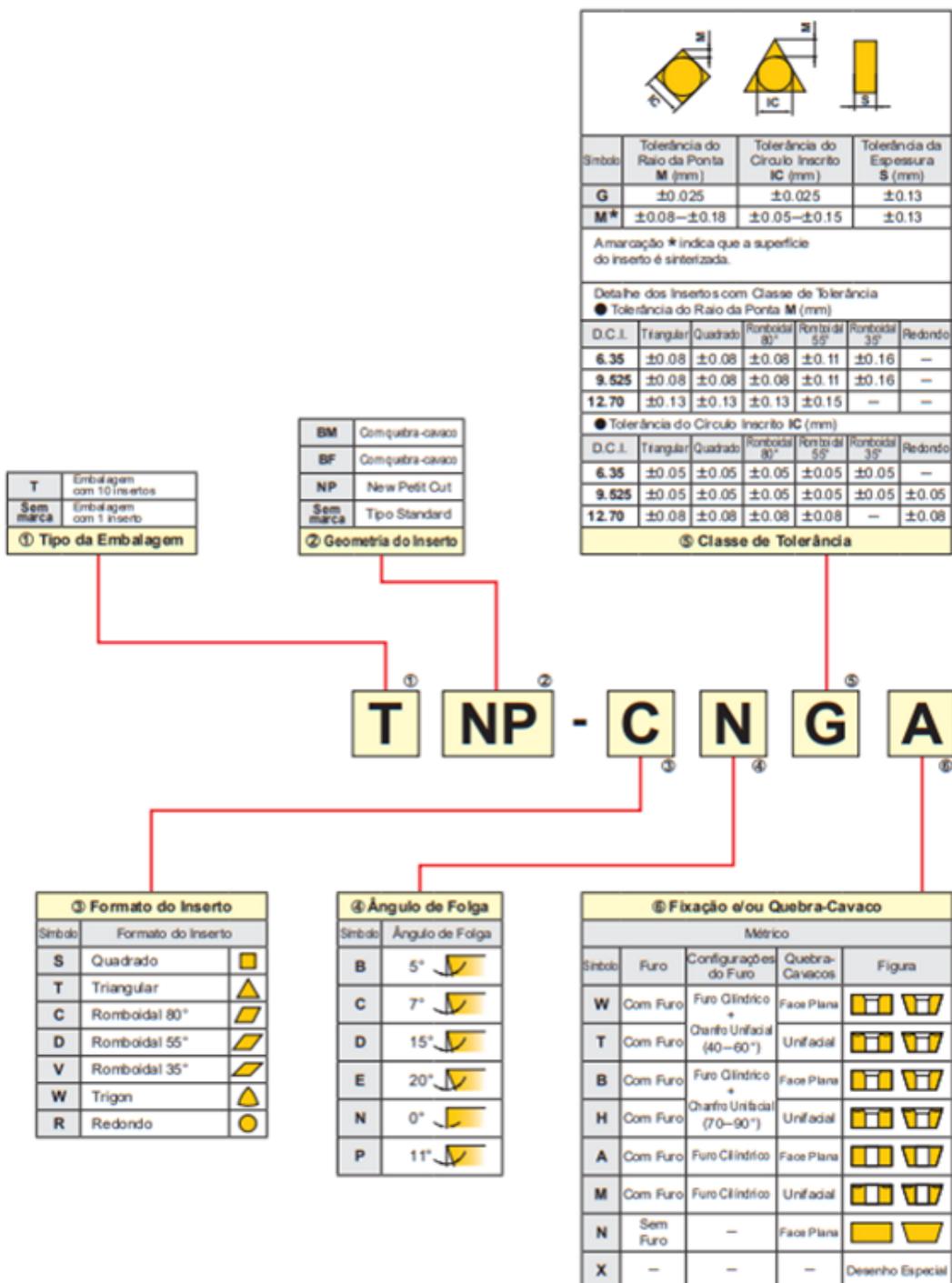
Fonte: Mitsubishi Carbide.

## INSERTOS DE TORNEAMENTO (CBN / PCD)

# IDENTIFICAÇÃO

B

INSERTOS DE TORNEAMENTO (CBN / PCD)



Diâmetro do Círculo Inscrito (mm)	Símbolo						
3.97		02		04	03	03	06
4.76		L3	08	05	04	04	08
5.56		03	09	06	05	05	09
6.35		04	11	07	06	06	11
7.94		05	13	09	08	07	13
9.525	09	06	16	11	09	09	16
12.70	12	08	22	15	12	12	22



\*A espessura é medida do assento do inserto até o topo da aresta de corte.

Símbolo	Espessura (mm)
S1	1.39
01	1.59
T0	1.79
02	2.38
T2	2.78
03	3.18
T3	3.97
04	4.76

Símbolo	Raio da Ponta (mm)
02	0.2
04	0.4
08	0.8
12	1.2
16	1.6

⑦ Tamanho do Inserto      ⑧ Espessura do Inserto      ⑨ Configuração do raio de ponta

**12 04 04 G WS 2 J R**

⑩ Preparação da aresta	
Símbolo	Aplicação
GS GA GB GH GN G	Usinagem Geral
FS FA FB F	Corte Contínuo
TS TA TH T	Corte Interrompido
SF SE	Usinagem de ligas sinterizadas

⑪ Alisador	
WS	Para peças de alta rigidez
WL	Para controle de deflexão e vibração
Sem marca	Sem Alisador

⑫ Número de Dentes	
2	2
3	3
4	4
6	6
Sem marca	1

⑬ Ângulo da Aresta de Corte	
F	91°
J	93°
Sem marca	Sem Restrição

Atenção especial quando utilizar um inserto alisador.

⑭ Sentido de corte		
Figura	Símbolo	Símbolo
	Direito	R
	Esquerdo	L
	Neutro	N

Consulte detalhes na seção "PREPARAÇÃO DE ARESTA".