



**Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba  
Escola de Engenharia de Piracicaba  
Curso de Engenharia Mecânica**



Gabriel Henrique Zambuzi

# **Otimização no processo de usinagem de roscas de parafusos ortopédicos através de Turbilhonamento**

Piracicaba  
2015

Gabriel Henrique Zambuzi

## **Otimização no processo de usinagem de roscas de parafusos ortopédicos através de Turbilhonamento**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de Piracicaba como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Marcelo Eurípedes da Silva

Piracicaba  
2015

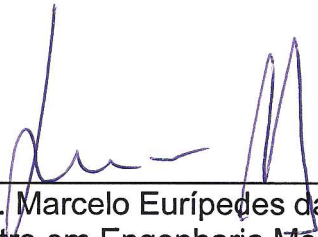
Gabriel Henrique Zambuzi

## **Otimização no processo de usinagem de roscas de parafusos ortopédicos através de Turbilhonamento**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de Piracicaba como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

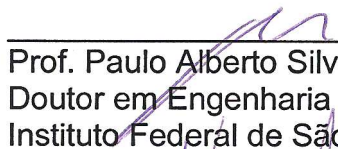
Piracicaba, 28 de novembro de 2015

### **Banca Examinadora:**



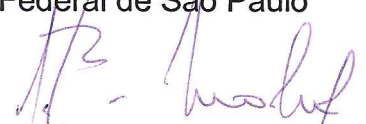
---

Prof. Marcelo Eurípedes da Silva – (Presidente)  
Mestre em Engenharia Mecânica  
Escola de Engenharia de Piracicaba



---

Prof. Paulo Alberto Silveira Wrege – (Membro)  
Doutor em Engenharia Mecânica  
Instituto Federal de São Paulo



---

Prof. Aristides Bobroff Maluf – (Membro)  
Doutor em Engenharia Mecânica  
Escola de Engenharia de Piracicaba

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar essa conquista.

Ao meu orientador Marcelo Eurípedes pela orientação compartilhada para a realização desse trabalho.

Em especial a minha família pelo apoio e incentivo e principalmente pela compressão nos momentos em que estive ausente.

A minha namorada Nathalia pelos momentos de companheirismo e motivação para conclusão deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos de classe Bruno Morimoto, Guilherme Lopes, Gabriel de Castro, Gustavo Andrade, Kevin Boldrin, Leandro Filier, Rhenan Prata e Rodrigo Brigati por me acompanharem nessa longa jornada com momentos de descontração e estudo.

Aos meus amigos da empresa Carolinne do Prado, Estefania Segura, Daniele Metzker, Felipe Degasperi, Fernando Schiavon, Gabriel Romin, Kaio Arruda, Mayckon Baumgartner, Silvia Botelho, Tiago Garcia, e em especial Emanuel Botelho, Fabiano Francisco, Fábio Macedo, Lucas Bovo, e Leonardo Batista dentre outros pelo apoio para confecção deste trabalho.

A todos os professores da Escola de Engenharia de Piracicaba pelos conhecimentos compartilhados durante minha graduação.

Por fim, agradeço a todos que me ajudaram diretamente e indiretamente para realização deste trabalho.

*“O começo de todas as ciências é o espanto de as coisas serem o que são”*

*Aristóteles*

***Dedico esse trabalho aos meus pais Maurício Zambuzi e Raquel S. C. Zambuzi e a minha irmã Sabrina F. Zambuzi, que não mediram esforços na formação de minha conduta.***

## RESUMO

A competitividade atual leva as indústrias a buscarem meios de aperfeiçoar os processos produtivos, de modo a reduzir os custos provenientes dos mesmos e aumentar a produtividade. Nessa linha de raciocínio, a indústria de implantes ortopédicos não é diferente, ela produz mensalmente uma considerável quantidade de parafusos ortopédicos, em que os mesmos são destinados ao tratamento de fraturas ósseas. Como meio de elevar a produtividade, o presente trabalho compara dois processos de usinagem destinados à confecção da rosca desses parafusos, sendo eles: o processo convencional de rosqueamento externo e o processo de turbilhonamento de roscas. Os resultados dessa comparação são baseados no tempo de confecção da rosca, tempo total de ciclo de usinagem, qualidade superficial da peça e investimento necessário.

**Palavras Chave:** Produtividade, Turbilhonamento de roscas, Parafuso ortopédico.

## **ABSTRACT**

The current competitiveness leads industries to seek ways to improve the production processes, in order to reduce the costs and increase their productivity. This line of reasoning, the orthopedic implant industry monthly produces a considerable amount of orthopedic screws, where they are used to treatment of bone fractures. As a means of raising productivity, this study compares two machining processes for the manufacture of these screws, as follows: The conventional process of external threading and thread whirling process. The results of this comparison are based on the time of making the thread, the total machining time cycle, the workpiece surface quality and necessary investment.

**Keywords:** Productivity, Thread whirling, Orthopedic screw



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Principais operações realizadas em um torno.....	20
<b>Figura 2:</b> Principais operações realizadas em uma furadeira.....	20
<b>Figura 3:</b> Principais operações realizadas em uma fresadora.....	21
<b>Figura 4:</b> Direção dos movimentos ativos realizados na operação no torneamento	23
<b>Figura 5:</b> Direção dos movimentos ativos realizados na operação de furação .....	24
<b>Figura 6:</b> Movimentos ativos realizados na operação de fresamento.....	24
<b>Figura 7:</b> Ilustração das penetrações durante a operação de fresamento. ....	27
<b>Figura 8:</b> Cunha de corte em uma ferramenta de torneamento.....	29
<b>Figura 9:</b> Superfícies e arestas em uma ferramenta de torneamento. ....	30
<b>Figura 10:</b> Componentes de um torno mecânico e seus movimentos.....	32
<b>Figura 11:</b> Operações de torneamento.....	33
<b>Figura 12:</b> Exemplo de tambor de torno automático com 8 fusos. ....	35
<b>Figura 13:</b> Torno automático com fuso vertical.....	36
<b>Figura 14:</b> Alimentador de barras por gravidade .....	37
<b>Figura 15:</b> Alimentador hidráulico de barras.....	38
<b>Figura 16:</b> Turbilhonador de rosca com 12 insertos .....	39
<b>Figura 17:</b> Turbilhonador usinando rosca do parafuso .....	40
<b>Figura 18:</b> Parafuso Industrial cabeça Sextavada .....	43
<b>Figura 19:</b> Exemplo de aplicação de um parafuso ortopédico de tração.....	44
<b>Figura 20:</b> Desenho esquemático de um parafuso cortical e suas forças vetoriais. .	45
<b>Figura 21:</b> Representação de uma rosca externa, interna e detalhe do filete. ....	46
<b>Figura 22:</b> Rosca normativa HA .....	47
<b>Figura 23:</b> Rosca normativa HB .....	48
<b>Figura 24:</b> Parafuso esponjoso rosca completa Ø 6,5 mm x 50 mm .....	50
<b>Figura 25:</b> Centro de torneamento STAR SR-20J Type C .....	52
<b>Figura 26:</b> Posicionamento da barra .....	53
<b>Figura 27:</b> Cabeçote móvel 1 (A) e bucha guia (B). ....	53
<b>Figura 28:</b> Cabeçote móvel 2. ....	54
<b>Figura 29:</b> Ferramentas fixadas no magazine nº1.....	55
<b>Figura 30:</b> Ferramentas fixadas no magazine nº2.....	55
<b>Figura 31:</b> Cabeçote móvel 1 (A); Cabeçote móvel 2 (B) .....	56
<b>Figura 32:</b> Processo convencional de rosqueamento externo.....	57

**Figura 33:** Ferramentas: Torneamento convencional (A); Turbilhonamento (B).....58  
**Figura 34:** Superfície: Turbilhonamento (A); Torneamento convencional (B).....70

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Custos por hora: Usinagem completa e demais processos.....	62
<b>Gráfico 2:</b> Comparação do investimento dos processos.....	64
<b>Gráfico 3:</b> Comparação do tempo necessário para usinagem da rosca.....	66
<b>Gráfico 4:</b> Comparação do tempo necessário para usinagem do ciclo por peça .....	66
<b>Gráfico 5:</b> Tempo de processamento por peça.....	67

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Dimensões da rosca HA.....	48
<b>Quadro 2:</b> Dimensões da rosca HB.....	48
<b>Quadro 3:</b> Custo por hora dos processos envolvidos.....	61
<b>Quadro 4:</b> Investimento em ferramentas – Processo convencional .....	63
<b>Quadro 5:</b> Investimento em ferramentas – Processo de turbilhonamento.....	63
<b>Quadro 6:</b> Comparativo do tempo de usinagem.....	65
<b>Quadro 7:</b> Tempo unitário dos demais processos.....	65
<b>Quadro 8:</b> Custos dos insumos necessários para os processos.....	68

## **ABREVIATURAS E SIGLAS**

**Aa:** Superfície de folga

**A'a:** Superfície secundária de folga

**ABAL:** Associação brasileira do alumínio

**ABDI:** Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

**ABIMO:** Associação Brasileira da Indústria de Artigos e Equipamentos Médicos, Odontológicos, Hospitalares e de Laboratórios.

**ae:** Penetração da ferramenta

**af:** Penetração de avanço

**ap:** Profundidade ou largura de usinagem

**ASTM:** *American Society for Testing and Materials*

**Ay:** Superfície de saída

**CNC:** Comando numérico computadorizado

**d:** Diâmetro

**f:** Avanço

**HA:** Código normativo de rosca

**HB:** Código normativo de rosca

**Hex.:** Hexágono

**h11:** Tolerância dimensional normativa

**ISO:** *International Organization for Standardization*

**Lc:** Percurso de corte

**Le:** Percurso efetivo de corte

**Lf:** Percurso de avanço

**mm:** Milímetros

**m/min:** Metros por minuto

**mm/min:** Milímetros por minuto

**mm/revolução:** Milímetros por revolução

**mm/volta:** Milímetros por volta

**n:** Número de rotações por minuto

**NBR:** Norma Brasileira

**PCP:** Planejamento e controle da produção

**rpm:** Rotações por minuto

**S:** Aresta principal de corte

**S'**: Aresta secundária de corte

**vc**: Velocidade de corte

**ve**: Velocidade efetiva de corte

**vf**: Velocidade de avanço

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\pi$ : PI

$\emptyset$ : Diámetro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>USINAGEM DOS MATERIAIS</b>	<b>19</b>
2.1	Principais operações de usinagem	19
2.2	Movimentos, direções e plano de trabalho nos processos de usinagem	22
2.3	Percursos nos processos de usinagem	24
2.4	Velocidades e tempos no processo	25
2.5	Grandezas relacionadas ao corte	27
2.6	Geometria da ferramenta de corte	28
2.6.1	Conceitos e definições	28
<b>3</b>	<b>MÁQUINAS - FERRAMENTAS</b>	<b>31</b>
3.1	Torno Mecânico	31
3.2	Tornos Automáticos	33
3.2.1	Classificação dos tornos automáticos	34
3.2.2	Alimentação de Matéria Prima	36
<b>4</b>	<b>TURBILHONADOR DE ROSCAS</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>PARAFUSO ORTOPÉDICO</b>	<b>43</b>
5.1	Características dos parafusos	46
<b>6</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b>	<b>49</b>
6.1	Materiais e métodos	49
6.2	Processo de fabricação	50
6.2.1	Usinagem completa	51
6.2.1.1	Descrição da usinagem	56
6.2.2	Tamboreamento	58
6.2.3	Lavagem	59
6.2.4	Anodização	59
6.2.5	Inspeção	59
6.2.6	Gravar	60
6.2.7	Liberação dos produtos do controle de qualidade	60
6.2.8	Embalar e Rotular	60
6.2.9	Expedir	61
6.3	Resultados	61
6.3.1	Custos dos processos em geral	61



6.3.2	Custos do investimento com relação ao processo de usinagem completa--	62
6.3.3	Tempos de fabricação -----	64
6.3.4	Discussão dos resultados-----	65
6.3.5	Retorno do investimento ( <i>Payback</i> )-----	68
6.3.6	Qualidade superficial -----	70
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> -----	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> -----	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por uma manufatura mais eficiente tem sido intensificada nas últimas décadas, isso se deve ao aumento da competitividade do mercado industrial. Os fatores chaves para essa competitividade são a qualidade e a produtividade, e devido a isso, as indústrias buscam sempre uma forma de redução de custos e otimização em seus processos, a fim de alcançar esses fatores (LOBO, 2003).

Essa característica leva as indústrias a sempre estarem atualizadas com relação aos seus processos produtivos, pois assim, seus produtos manufaturados acompanham a evolução industrial garantindo a equivalência dos demais produtos concorrentes.

O ramo industrial da área médica representa uma considerável fatia no cenário econômico elevando os valores referentes à economia do país, pois segundo a ABIMO (2015), o segmento de equipamentos médicos exportou cerca de US\$ 58.433.887 no período de janeiro a setembro de 2015. Nesse mesmo contexto, o segmento de implantes exportou US\$ 109.993.283 com uma variação positiva de 11,4% com relação ao mesmo período do ano passado.

A indústria do ramo de implantes ortopédicos possui uma gama diversificada de produtos para fornecer ao cliente final (paciente), uma recuperação física e psicológica, melhorando significativamente a qualidade de vida.

Segundo ABDI (2010), os implantes ortopédicos são caracterizados como todos os produtos médicos implantáveis. Esses implantes podem ser aplicados na substituição de articulações, reconstruções ligamentares, consolidação de fragmentos ósseos e preservação funcional da coluna vertebral humana.

Um dos principais produtos utilizados são os parafusos ortopédicos. Eles são comumente utilizados no tratamento de fraturas ósseas. A usinagem das roscas desses parafusos é considerada uma etapa importante do processo, onde na mesma pode ser estudada uma oportunidade para o ganho de produtividade.

No presente trabalho, é feita a análise dos benefícios da alteração das ferramentas para usinagem de roscas de parafusos ortopédicos, onde o método convencional de rosqueamento externo é comparado ao método de turbilhamento de roscas.

O capítulo 2 demonstra de uma maneira geral os princípios básicos associados ao processo de usinagem.

O capítulo 3 faz referência as máquinas ferramentas e suas principais características. Essas máquinas são responsáveis pela produção dos parafusos ortopédicos.

Focado no processo de turbilhonamento, o capítulo 4, comenta sobre esse novo processo de usinagem demonstrando em seus principais ganhos.

O capítulo 5 faz uma breve introdução sobre a funcionalidade e características do parafuso ortopédico, onde o mesmo é largamente utilizado para o tratamento de fraturas ósseas.

O capítulo 6 é destinado à descrição e os resultados obtidos no estudo de caso através da comparação desses processos de usinagem de roscas.

Por fim o último capítulo é o responsável pela conclusão do presente trabalho.

## 2 USINAGEM DOS MATERIAIS

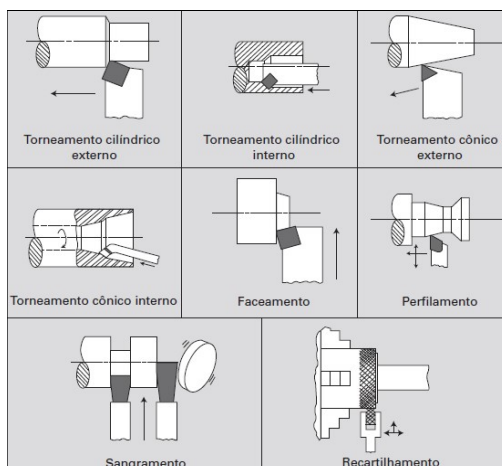
Segundo Ferraresi (1977), a palavra “*Usinagem*” tem como definição o conjunto de operações que confere a peça a forma, dimensões, ou o acabamento, ou ainda a combinação desses três itens. Nesse processo ocorre a produção de cavaco. Ele pode ser definido como a porção de material da peça retirado pela ferramenta de usinagem e caracterizado por apresentar forma geométrica irregular.

Existem inúmeros processos de usinagem, conforme relatado por Machado et. al., (2011), essas operações podem ser agrupadas e apresentadas de acordo com a máquina-ferramenta utilizada. Os processos de usinagem podem ser subdivididos em operações de desbaste e acabamento. A operação de desbaste consiste em uma elevada taxa de remoção de material, sendo este limitado pela potência da máquina-ferramenta, já na operação de acabamento a prioridade é a qualidade superficial final do componente/peça, assim a taxa de remoção de material é consideravelmente menor.

### 2.1 Principais operações de usinagem

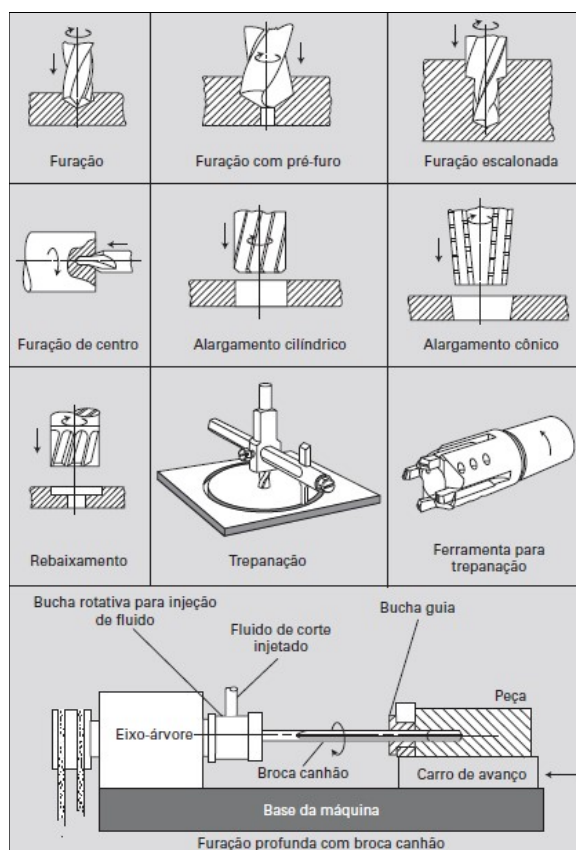
Os princípios de usinagem são relacionados comumente a três tipos de operações, e respectivamente alinhados a exemplos de máquinas ferramentas. São elas: Torneamento, fresamento e furação.

Na figura 1 são apresentadas as principais operações de usinagem realizadas em um torno. Nesta operação, “a peça gira em torno de seu eixo enquanto a ferramenta de corte realiza os movimentos de avanço longitudinal e/ou transversal” (MACHADO et. al., 2011, p. 20).

**Figura 1:** Principais operações realizadas em um torno

Fonte: Machado et. al., 2011, p. 20

As principais operações realizadas em uma furadeira são apresentadas na figura 2. Nesta “A ferramenta gira e realiza o movimento de avanço, que pode ser manual ou automático” (MACHADO et. al., 2011, pag. 21).

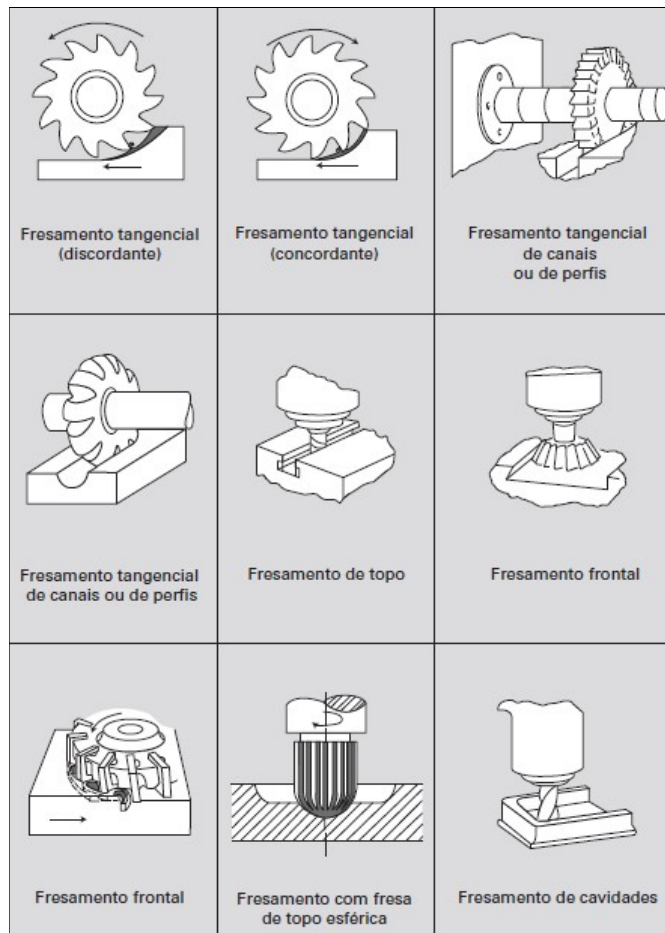
**Figura 2:** Principais operações realizadas em uma furadeira

Fonte: Machado et. al., 2011, p. 22

Na figura 3, são apresentadas as principais operações de fresamento.

A operação de fresamento é reconhecida pela versatilidade na produção de geometrias diversas, além de garantir elevadas taxas de remoção de material, visto que a ferramenta (fresa) possui múltiplas arestas de corte. Nesse grupo de operações, a ferramenta gira enquanto a peça, presa à mesa, é responsável pelos movimentos de avanço longitudinal e transversal. Em situações especiais, a peça pode ficar estática enquanto a ferramenta realiza todos os movimentos. (MACHADO et. al., 2011, p. 21)

**Figura 3:** Principais operações realizadas em uma fresadora



Fonte: Machado et. al., 2011, p. 23

## 2.2 Movimentos, direções e plano de trabalho nos processos de usinagem

Para que ocorra a usinagem de uma peça é necessário que ocorra uma interação entre a mesma e a ferramenta de corte, nessa interação podem ou não ocorrer interferências que são caracterizadas de acordo com os movimentos realizados durante o processo.

Diniz et. al., (2010) afirma que para o planejamento e execução do projeto de fabricação de máquinas-ferramenta, os movimentos do processo de usinagem devem ser considerados. Por questão de convenção, todos os movimentos são considerados realizados pela ferramenta de corte, e é suposto que a peça permaneça estática atuando como referencial do sistema, com isso o estudo dos movimentos são simplificados, sendo possível padronizar os seus sinais algébricos.

Com relação aos movimentos, esses podem ser subdivididos em dois grupos principais, sendo os movimentos que promovem a retirada de material da peça (Cavaco), e aqueles que não promovem a remoção de material (FERARESI, 1977).

Por definição os movimentos que promovem a retirada de material podem ser classificados como movimentos ativos (Diniz et. al., 2010), são eles:

Movimento de corte – Ocorre entre a peça e a ferramenta de corte, onde, sem a participação do movimento de avanço, ele promove a retirada de material em apenas uma rotação da peça.

Movimento de avanço – Ocorre entre a peça e a ferramenta de corte, onde, em conjunto com o movimento de corte promove uma remoção contínua de material (Cavaco).

Movimento efetivo de corte – Ocorre entre a peça e a ferramenta de corte, onde, este é a resultante entre o movimento de corte e o de avanço, ou seja, quando os dois são realizados ao mesmo tempo.

Os movimentos que não promovem a retirada de material da peça são definidos como movimentos passivos, e são essenciais para realização do processo de usinagem (Diniz et. al., 2010), são eles:

Movimento de ajuste – Ocorre entre a peça e a ferramenta, nesse movimento é determinada a espessura da camada a ser usinada do material.

Movimento de correção – Ocorre entre a peça e a ferramenta, é utilizado quando existem avarias no processo, como por exemplo, desgaste da ferramenta, variações térmicas, entre outras.

Movimento de aproximação – Ocorre entre a peça e a ferramenta, onde depois de realizado o ciclo de usinagem, ocorre o afastamento entre a ferramenta de corte e a peça.

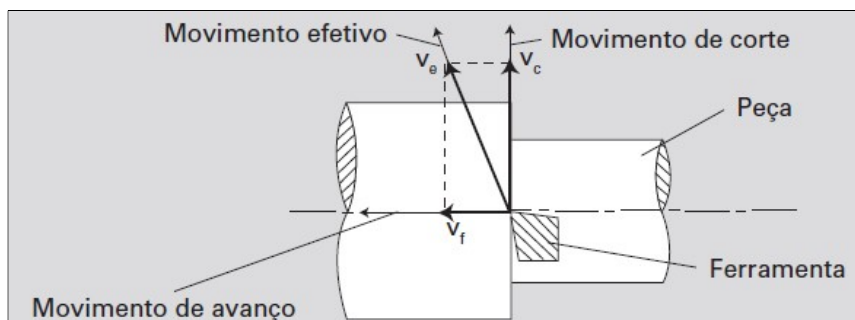
Diniz et. al., (2010) afirma que para todos os movimentos no processo de usinagem existe uma associação de direções, velocidades, sentidos e percursos. Complementando essa informação, Machado et. al. (2011) menciona que as direções para os movimentos ativos podem ser subdivididas em:

- “Direção de corte: direção instantânea do movimento de corte”.
- “Direção de avanço: direção instantânea do movimento de avanço”.
- “Direção efetiva: direção instantânea do movimento efetivo de corte”

Com relação ao plano de trabalho, Ferraresi (1997) afirma que é o plano onde ocorrem todos os movimentos que atuam na formação de cavaco, ou seja, esse plano contempla as direções de avanço e as de corte considerando que estas passem pelo ponto de referência da aresta de corte.

As figuras 4, 5 e 6 ilustram as direções dos movimentos.

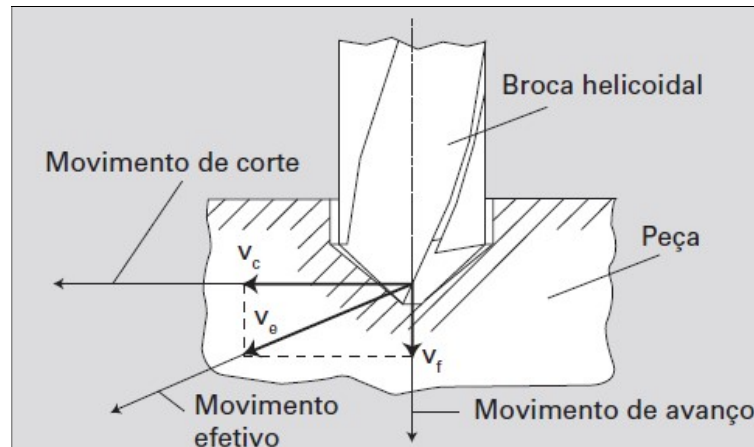
**Figura 4:** Direção dos movimentos ativos realizados na operação no torneamento



Fonte: Machado et. al., 2011, p. 19

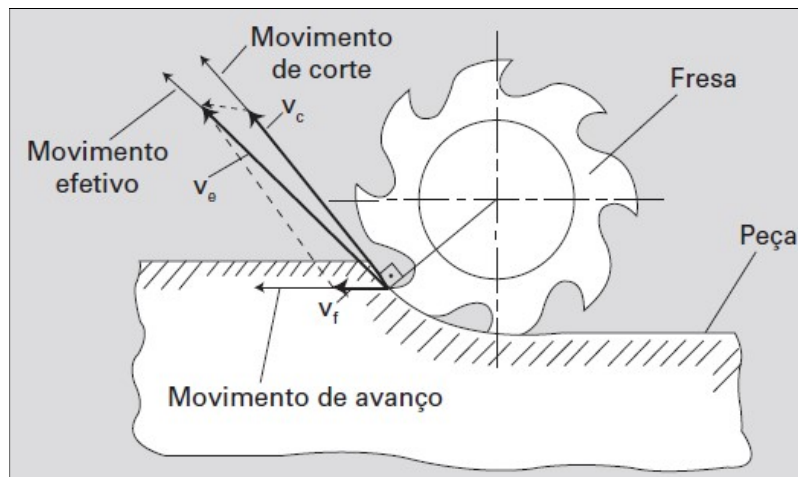


**Figura 5:** Direção dos movimentos ativos realizados na operação de furação



Fonte: Machado et. al., 2011, p. 19

**Figura 6:** Movimentos ativos realizados na operação de fresamento



Fonte: Machado et. al., 2011, p. 19

### 2.3 Percursos nos processos de usinagem

Os percursos percorridos nos processos de usinagem que retiram material da peça podem ser definidos como:

- Percurso de corte ( $L_c$ ): é o espaço percorrido pelo ponto de referência da aresta cortante sobre a peça, segundo a direção de corte.
- Percurso de avanço ( $L_f$ ): é o espaço percorrido pelo ponto de referência da aresta cortante sobre a peça, segundo a direção de

avanço. Nos casos em que há movimento de avanço principal e lateral, devem-se distinguir os componentes do percurso de avanço.

- Percurso efetivo de corte ( $L_e$ ): é o espaço percorrido pelo ponto de referência da aresta cortante sobre a peça, segundo a direção efetiva de corte. (MACHADO et. al., 2011, p. 30).

## 2.4 Velocidades e tempos no processo

Para operações que o movimento de corte e o movimento de avanço não ocorrem simultaneamente, como é o caso do aplainamento e brochamento, a velocidade de corte é definida como o resultado do deslocamento da ferramenta perante a peça (DINIZ et. al., 2011).

Para operações que o movimento de corte e o movimento de avanço ocorrem simultaneamente, como é o caso do torneamento, furação e fresamento, a velocidade de corte pode ser definida como “a velocidade instantânea do ponto de referencia da aresta cortante, segundo a direção e sentido de corte” (FERRARESI, 1977, p. 5).

A velocidade de corte para operações rotativas pode ser calculada de acordo com a equação matemática (1).

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

(1)

Onde:

$v_c$ : velocidade de corte [m/min]

$d$ : diâmetro da peça ou ferramenta [mm]

$n$ : número de rotações por minuto [rpm]

A velocidade de avanço pode ser definida como “a velocidade instantânea da ferramenta segundo a direção e sentido de avanço” (Ferraresi, 1977, p. 5). Diniz et. Al., (2010) apresenta a equação (2) para calculá-la:

$$vf = f \cdot n = \frac{1000 \cdot vc}{\pi \cdot d} \cdot f \quad (2)$$

Onde:

$f$  : avanço [mm/volta]

$vf$  : velocidade de avanço [mm/min]

De acordo com Machado et. al., (2011), a velocidade efetiva de corte é a soma vetorial da velocidade de corte e a velocidade de avanço e pode ser expressa pela equação (3).

$$ve = vc + vf \quad (3)$$

Onde:

$ve$  : velocidade efetiva de corte [mm/min]

A escolha das velocidades de avanço e de corte e por consequência a velocidade efetiva, depende dos materiais empregados nas peças a serem usinadas, na ferramenta a ser utilizada e também do tipo de operação a ser realizada. Existem também as velocidades relacionadas aos movimentos passivos, são elas: velocidade de aproximação, de correção, de recuo e de ajuste. Essas velocidades não estão associadas à retirada de cavaco da peça, porém contribuem com o tempo total de fabricação da peça (MACHADO et. al. 2011).

Para confecção de qualquer peça é muito importante que se faça as considerações dos tempos de processos de fabricação, sempre em busca da forma mais econômica possível.

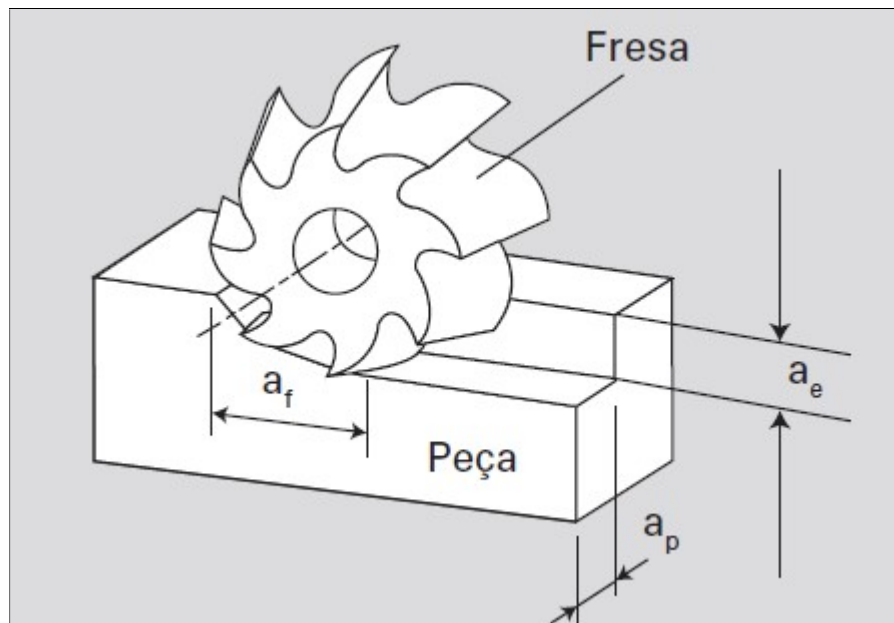
Os tempos relacionados aos movimentos passivos geralmente não podem ser calculados. Eles podem ser estimados através de técnicas específicas que dependem da operação. Essas técnicas cronometram os tempos e estudam seus movimentos relacionados, estabelecendo os titulados tempos padrões, visto que são essenciais para o estudo econômico de fabricação. (DINIZ et. al., 2010).

## 2.5 Grandezas relacionadas ao corte

Na preparação da máquina ferramenta para realização da usinagem de uma peça, é essencial a determinação das grandezas relacionadas ao corte para o ajuste das operações do processo. O avanço ( $f$ ) pode ser definido como o percurso de avanço por volta, expresso na unidade ( $mm/revolução$ ). A profundidade ou largura de usinagem ( $a_p$ ) tem como definição a profundidade ou largura de penetração feita pela ferramenta na peça, considerando uma direção perpendicular ao plano de trabalho. A penetração de trabalho ( $a_e$ ) é entendida como a penetração da ferramenta em relação à peça, onde sua dimensão é obtida no plano de trabalho e perpendicular a direção do avanço. E por fim, existe também a penetração de avanço ( $a_f$ ), que é a penetração da ferramenta na direção do avanço, medida no plano de trabalho (MACHADO et. al., 2011).

Como exemplo, demonstram-se essas grandezas descritas acima, através da operação de fresamento. (Figura 7).

**Figura 7:** Ilustração das penetrações durante a operação de fresamento.



Fonte: Machado et. al., 2011, p. 35

## 2.6 Geometria da ferramenta de corte

O desempenho dos processos de usinagem está completamente relacionado com a geometria da ferramenta de corte, visto que a mesma desempenha um papel fundamental durante a fabricação de uma peça. Devido a essa importância todos os ângulos da cunha cortante foram normalizados e uniformizados para atender de forma padronizada os profissionais e estudiosos da área. A norma brasileira que contempla esse assunto é a *NBR 6163 – Conceitos da Técnica de Usinagem: Geometria da Cunha de Corte* (MACHADO et. al., 2011).

### 2.6.1 Conceitos e definições

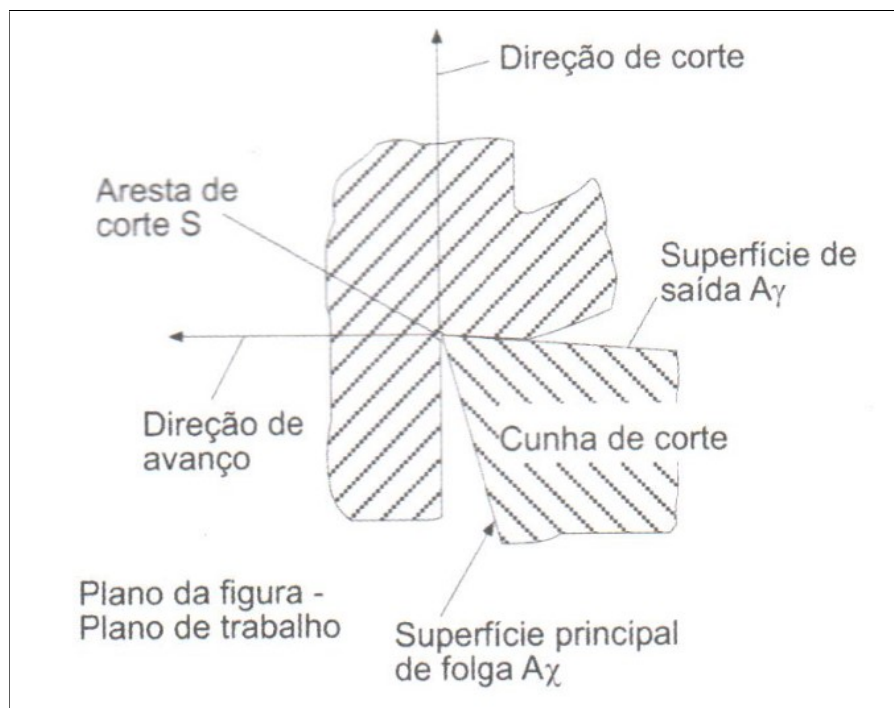
Diniz et. al., (2010), apresenta as seguintes descrições como partes construtivas das ferramentas de usinagem:

- Ponta de corte – constituída pelas cunhas de corte, parte ativa responsável pela remoção de material da peça, a parte ativa é acoplada em um cabo ou suporte, onde o mesmo tem a função de fixar a ferramenta para a operação de trabalho, controle ou até mesmo o seu reparo ou afiação.
- Cunha de corte – como a própria descrição sugere, é a cunha da ferramenta formada pela intersecção da superfície de folga e a superfície de saída.
- Superfície de saída ( $A_y$ ) – é a superfície da cunha de corte, onde o material retirado da peça (Cavaco) é formado e escoado durante o processo de corte.
- Superfície principal de folga ( $A_a$ ) – é a superfície da cunha de corte, onde está contida a aresta principal de corte que defronta com a superfície em usinagem da peça.

- Superfície secundária de folga ( $A'a$ ) - é a superfície da cunha de corte, onde está contida a aresta secundária de corte que defronta com a superfície secundária em usinagem da peça.
- Aresta principal de corte  $S$  - é a aresta da cunha de corte da ferramenta, ela é responsável pela formação da superfície em usinagem principal. Ela é formada pela intersecção das superfícies de saída e folga principal.
- Aresta secundária de corte  $S'$  - é a aresta da cunha de corte da ferramenta, ela é responsável pela formação da superfície em usinagem secundária. Ela é formada pela intersecção das superfícies de saída e folga secundária.
- Ponta de corte - é a parte da cunha de corte da ferramenta, onde ocorrem as interseções das arestas principal e secundária de corte, essa ponta pode ser caracterizada por um chanfro ou arredondamento.

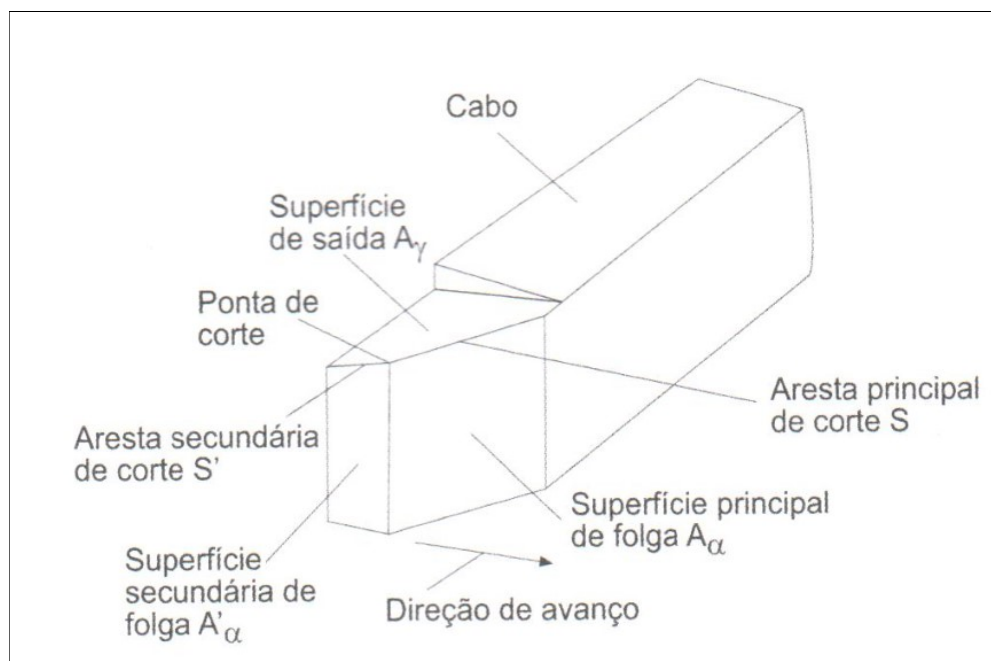
As figuras 8 e 9, ilustram as definições descritas acima:

**Figura 8:** Cunha de corte em uma ferramenta de torneamento.



**Fonte:** Diniz et. al., 2010, p. 26

**Figura 9:** Superfícies e arestas em uma ferramenta de torneamento.



**Fonte:** Diniz et. al., 2010, p. 26

### 3 MÁQUINAS - FERRAMENTAS

No contexto atual de fabricação através de usinagem dos materiais, é imprescindível a demonstração dos instrumentos que fazem esse processo ser possível. Juntamente com as ferramentas de corte descritas anteriormente, este capítulo pretende explicar sobre as máquinas que comportam essas ferramentas. Essas máquinas são denominadas máquinas-ferramentas.

Uma das definições descritas para máquina ferramenta é:

“Máquina estacionária, não portátil, acionada por uma fonte de energia externa – não humana nem animal – que modifica a forma de peças metálicas sólidas, ou de materiais alternativos com finalidades similares, por deformação plástica ou por natureza de corte mecânica, abrasiva, eletrofísica, eletroquímica ou fotônica, com decorrente remoção de massa” (ABIMAQ, 2006, p. 10).

#### 3.1 Torno Mecânico

O torno é responsável pela realização do torneamento de uma peça, na qual essa peça gira ao redor do eixo da máquina (torno), a mesma efetua o trabalho de usinagem juntamente com o ferramental de corte, atribuindo assim forma definida a peça (CHIAVERINI, 1986).

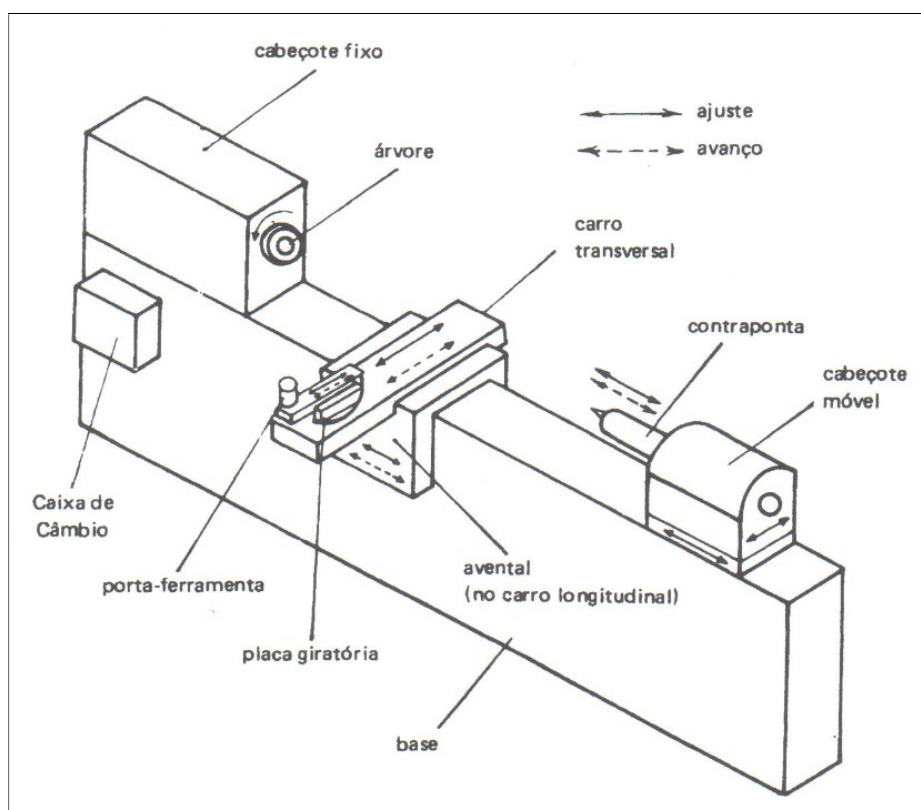
O torno é capaz de realizar diversas operações de usinagem. Segundo Chiaverini (1986), ele é constituído de uma base rígida e maciça que é responsável por suportar as vibrações decorrentes nos processos de usinagem. Ele é composto também por uma placa de castanhas que fixa a peça a ser trabalhada, essa placa é suportada pela árvore principal que por sua vez, faz parte do cabeçote fixo. A árvore principal transfere para a peça o movimento contínuo de rotação. A peça tem material arrancado pela ação de uma ou mais ferramentas. A árvore principal tem diferentes velocidades periféricas, que são obtidas através de uma caixa de engrenagens. Essas velocidades são previamente estabelecidas dependendo do tipo de processo a ser executado, diâmetro do material a ser usinado, tipo de acabamento, entre outros fatores.



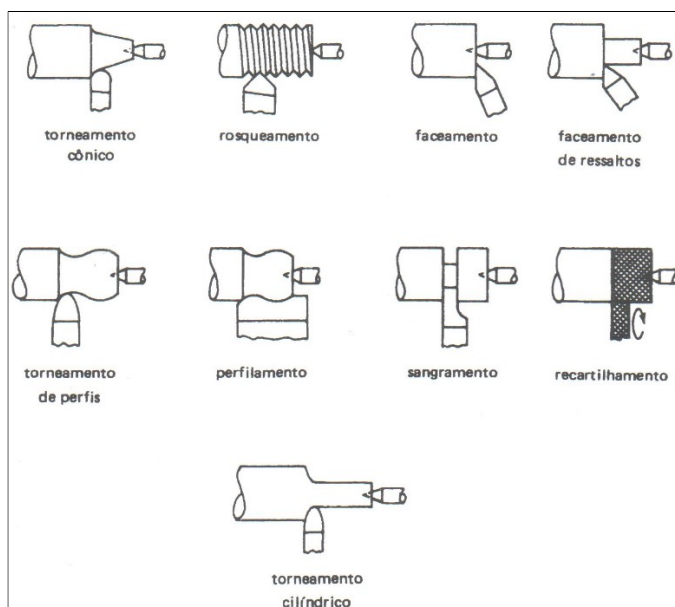
No centro do torno está contido o carro porta ferramentas juntamente com o avental. Esse conjunto é projetado de modo que possa se movimentar tanto no sentido transversal como no sentido longitudinal. Desse modo a ferramenta de corte se desloca no sentido desses movimentos ou de forma oblíqua como consequência da resultante desses movimentos. Juntamente com o conjunto porta ferramentas e avental, encontra-se uma placa giratória, que gira em um eixo vertical podendo ser colocada em qualquer ângulo com relação ao eixo da peça que está sendo usinada no processo (CHIAVERINI, 1986).

A parte denominada cabeçote móvel que é responsável pelo suporte das peças que giram, é encontrado na outra extremidade do torno. O cabeçote é composto por um suporte fundido, juntamente com contra ponta, mangote, volante etc. O cabeçote móvel possui um cone interno oco, onde podem ser acopladas ferramentas de usinagem como machos de rosqueamento, brocas helicoidais que são normalmente utilizadas no processo de usinagem (CHIAVERINI, 1986).

**Figura 10:** Componentes de um torno mecânico e seus movimentos.



**Fonte:** CHIAVERINI, 1986, p. 199

**Figura 11:** Operações de torneamento.

Fonte: CHIAVERINI, 1986, p. 201

### 3.2 Tornos Automáticos

Com o avanço tecnológico, máquinas mais sofisticadas surgiram. Essas máquinas são utilizadas em larga escala no contexto industrial atual, sendo responsáveis pela fabricação seriada de uma grande variedade de peças, alinhando vantagens nos tempos e custos de fabricação, atendendo diversas fatias de mercado.

O torno automático não necessita da interferência humana para fabricação de um produto, ou seja, ele executa as tarefas de usinagem desde a entrada de matéria prima até a forma final da peça. Essas máquinas são aplicadas na produção de médios e grandes lotes, porém atualmente, devido a sua rapidez e facilidade de preparação da máquina, estão sendo utilizados na fabricação de pequenos lotes também (FERRARI, 2002).

Segundo Ferrari (2002), as principais vantagens obtidas através da aplicação dos tornos automáticos de forma geral são:

Economia de mão de obra, nesta, um único operador pode realizar trabalhos em um conjunto de máquinas simultaneamente. Claro que isso dependerá de alguns fatores, como por exemplo, tipo de torno automático, grau de dificuldade de

usinagem da peça, tipo de material a ser usinado, ferramental empregado, entre outros fatores de importância secundária.

Produção constante, após a realização de toda preparação necessária da máquina, o número de peças fabricadas é praticamente idêntico ao número de peças que foram planejadas a serem fabricadas. No planejamento dessa fabricação os parâmetros considerados são: O rendimento da operação, tempos de parada de máquina para troca de matéria prima, ferramentas, etc.

Qualidade constante das peças usinadas, após o ajuste dos parâmetros de usinagem da máquina, as peças são fabricadas dentro de um padrão de qualidade e tolerâncias. Nesse caso é necessário que se faça a previsão do desgaste da ferramenta.

Desgaste constante das ferramentas de corte, isso ocorre, pois os tornos automáticos trabalham nas condições de usinagem ideais. Ocorre a programação de avanços e velocidades corte ideais que não variam de peça para peça.

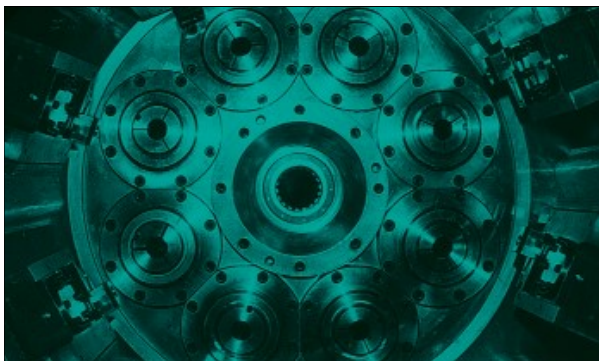
### **3.2.1 Classificação dos tornos automáticos**

Existem diversas configurações de tornos automáticos. Segundo Ferrari, (2002), essas máquinas podem ser classificadas de acordo com:

Número de fusos: O fuso conhecido também como eixo árvore é a parte do torno em que se fixa a peça a ser trabalhada. Os Tornos podem ser monofusos, bifusos ou multifusos.

Os tornos multifusos são aplicados para fabricação de grandes séries, uma vez que os tempos dos ciclos de usinagem são significativamente menores que aqueles de um torno monofuso para fabricação de uma mesma peça. Na prática, em média, o tempo do ciclo de usinagem em um torno multifuso com seis fusos é um quinto do tempo do ciclo em um torno monofuso para fabricação de uma mesma peça. (FERRARI, 2002, p.3).

**Figura 12:** Exemplo de tambor de torno automático com 8 fusos.



**Fonte:** Ferrari, 2002, p. 3

Tipo de cabeçote do fuso: Os tornos automáticos podem ser classificados pelo tipo de construção de seu cabeçote que aloja o fuso principal. O torno automático de cabeçote fixo é dos tornos em geral o princípio clássico. Nesta configuração a peça depois de fixada, gira em balanço e as ferramentas de usinagem se deslocam de forma automática, conforme velocidades e avanços definidos removendo cavaco e atribuindo forma a peça. Já o torno automático de cabeçote móvel, é normalmente utilizado em usinagem instável para fabricação de peças delgadas, quando a relação comprimento/diâmetro é grande, é utilizado na fabricação de peças complexas e/ou pequenas peças de alta precisão. No seu princípio de funcionamento, é a peça a ser trabalhada que se desloca contra as ferramentas de corte, as mesmas permanecem fixas. É importante ressaltar que os tornos automáticos de cabeçote móvel são exclusivamente aplicados para fabricação de peças a partir de barras.

Posição do fuso: Os tornos automáticos podem ser subdivididos quanto a posição do fuso, eles podem ser verticais ou horizontais. No cenário atual os fusos na posição horizontal são largamente mais utilizados, porém está ocorrendo um crescimento na utilização de fusos verticais para usinagem de peças tipo flange, visando atender as demandas da indústria automobilística (FERRARI, 2002).

**Figura 13:** Torno automático com fuso vertical.



**Fonte:** Ferrari, 2002, p. 6

Tipos de acionamento: São classificados por dois grupos de acionamentos: mecânicos acionados por cames ou acionamento hidráulico e os comando numérico computadorizado (CNC). Existem tornos automáticos de acionamento hidráulico ainda em funcionamento no contexto industrial, mas estão sendo gradativamente substituídos pelos tornos com acionamento CNC. Os tornos CNC são máquinas mais flexíveis e possuem tempo de preparação muito menor, podendo ser de até um terço em comparação com tornos acionado por cames (FERRARI, 2002).

### **3.2.2 Alimentação de Matéria Prima**

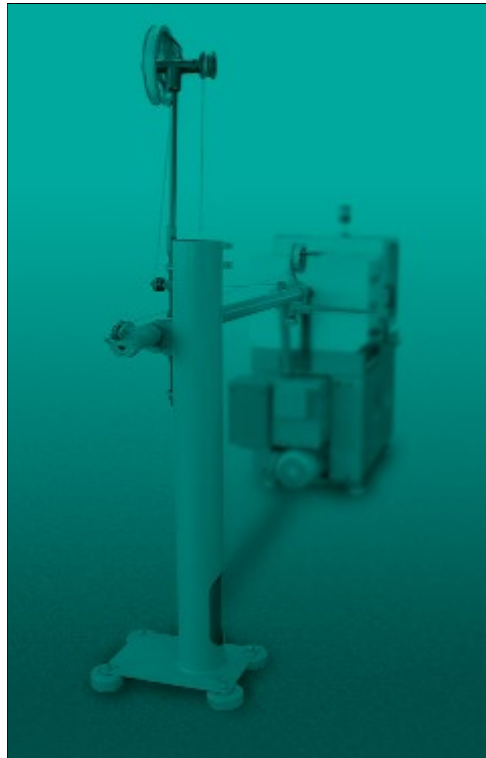
Essa é uma questão que exige cautela para se obter melhor rendimento do torno automático. A fixação do material em bruto é feito através de pinças e a usinagem em geral é feita através de barras de 3 metros de comprimento. Essas barras devem possuir uma extraordinária retinidade para diminuir os índices de vibração durante o processo, além disso, devem possuir uma excelente qualidade superficial, com sugestão de serem trefiladas com tolerâncias h11 ou menores, para

que não ocorra desgaste da pinça de fixação, além de evitar esforços excessivos nos elementos de máquinas relacionados, (FERRARI, 2002).

FERRARI, (2002), aponta três tipos de alimentadores de barras que são:

Alimentadores de barras por gravidade: Nesse tipo de alimentador as barras são colocadas manualmente pelo operador, toda vez que a barra anterior é consumida. A barra avança através de uma força gerada por pesos e um empurrador com ponta giratória. Esse sistema é normalmente aplicado em tornos automáticos monofusos. Sua vantagem é de ser um sistema relativamente econômico, porém não realiza trabalhos em alta rotação.

**Figura 14:** Alimentador de barras por gravidade



**Fonte:** Ferrari, 2002, p. 7

Alimentadores hidráulicos de barras: Nessa configuração, como no caso do alimentador de barras por gravidade, as barras são colocadas de forma manual dentro do tubo de avanço pelo operador, porém é um pistão hidráulico que exerce a força de avanço e a barra gira banhada em óleo. Esse sistema pode trabalhar com rotações mais elevadas no fuso principal, que é uma vantagem em relação aos

alimentadores por gravidade, além de aumentarem a produtividade, diminuir ruídos e minimizar vibrações, porém seu investimento é maior.

**Figura 15:** Alimentador hidráulico de barras



**Fonte:** Autor

Magazines de alimentação automática de barras: Esse tipo de alimentação permite o armazenamento de diversas barras, onde são substituídas automaticamente após a anterior ter sido consumida, aumentando consideravelmente a produtividade e o rendimento do torno automático. Essa configuração é recomendada para usinagens de ciclos rápidos onde ocorre com frequência a troca de barras. Os magazines de alimentação automática além de garantir o aumento da produtividade, diminui também o número de operadores podendo trabalhar turnos sem necessidade de supervisão. Dentre todas as configurações é a que requer maior investimento.

#### 4 TURBILHONADOR DE ROSCAS

O turbilhoador de rosca que em inglês também é conhecido como *Thread Whirling* (figura 16) é um sistema de ferramentas de corte múltiplo que melhora significativamente a produtividade e a qualidade superficial de peças usinadas. Ao contrário do processo convencional de torneamento externo de rosca que requer vários passes, o turbilhoador efetua o rosqueamento externo com um único avanço (UTILIS, 2010).

Segundo Utilis (2010), o processo de turbilhonar aparenta as seguintes especialidades e vantagens:

- Com o aumento da quantidade de insertos, ocorre também um aumento da produtividade e redução da vibração durante o processo.
- Valores de tolerância concêntrica baixos, aliado a uma alta precisão na troca dos insertos, garantindo assim, uma melhoria de qualidade no processo.
- Troca rápida e simples do dispositivo gerando redução no tempo de setup do processo.
- Menor tempo de fabricação dos produtos.

**Figura 16:** Turbilhoador de rosca com 12 insertos



Fonte: UTILIS, 2010, p. 233



Em máquinas de cabeçote móvel, o turbilhonador se tornou popular na fabricação de implantes ortopédicos e ortodônticos. Grande parte dos engenheiros de máquinas de cabeçote móvel, afirmam que a técnica de turbilhonamento de rosca tem uma excepcional produtividade se comparada ao rosqueamento de ponto único (denominado popularmente de processo de “pentear”), (DECOMAGAZINE, 2013).

Feres (2012) afirma também que para usinagem de peças de pequenas dimensões como é o caso de parafusos e implantes dentários a técnica de turbilhonamento é ideal.

Segundo Feres (2012), a técnica de turbilhonamento aprimora a produção de parafusos e peças roscadas. Essa técnica é aplicada quando há necessidade de fabricação de roscas padrão ou especiais quando a operação convencional se torna instável devido à relação comprimento/diâmetro da peça.

Os parafusos implantáveis possuem roscas bem específicas se comparada aos demais parafusos industriais, como passo mais largo, comprimento e profundidade maiores. Isso faz com eles se tornem uma importante peça produzida através do turbilhonamento de roscas (DECOMAGAZINE, 2013).

**Figura 17:** Turbilhonador usinando rosca do parafuso



**Fonte:** UTILIS, 2010, p. 231

A técnica de turbilhonamento também é indicada para usinar peças que possuem alta resistência ao corte, como o titânio e o aço inoxidável. No Brasil o turbilhonamento é empregado em usinagem de peças que possuem micro roscas, atendendo uma grande fatia dos componentes voltados a área médica (FERES, 2012).

Feres (2012), afirma que para a usinagem de peças roscadas e materiais de difícil usinabilidade, poucas técnicas são tão eficientes como a do turbilhonador de roscas. Através do turbilhonamento as operações durante o processo de usinagem podem ser até nove vezes mais rápidas em comparação com os principais processos convencionais, e não apenas isso, em certos casos o turbilhonamento dispensa as operações de acabamento.

O turbilhonador pode ser instalado em qualquer máquina ferramenta que possua ferramenta acionada, mas é mais comum a sua instalação em tornos automáticos CNC de cabeçote móvel (FERES, 2012).

Ter uma imagem do processo turbilhonamento de roscas em mente é extremamente difícil. Os insertos para turbilhonamento de roscas são ajustadas no corpo do anel de corte fixada a um turbilhonador que é inclinado no ângulo da hélice acionado pelo fuso da máquina. Então, o fuso gira a uma rotação mais elevada (3000 rpm), enquanto no eixo principal a barra gira na mesma direção, mas a uma taxa muito mais lenta, como 10-30 rpm. Neste processo de rotação, cada pastilha para turbilhonamento de roscas usina a barra enquanto gira muito mais rapidamente do que ela. Os insertos são inclinados pelo turbilhonador para criar o perfil da rosca e os insertos cortam a barra não apenas no centro, mas também no lado superior e inferior da barra. (DECOMAGAZINE, 2013; p.43).

Feres (2012) divide o turbilhonamento em dois processos distintos, o de rosqueamento interno e o de rosqueamento externo. Esse dispositivo é instalado na estação rotativa da máquina, o cabeçote móvel porta ferramentas dotado de múltiplos insertos de corte gira ao redor da peça a ser usinada.

A usinagem de roscas externas se inicia com o movimento longitudinal da peça para dentro do porta-ferramentas, momento em que a rotação do turbilhonador alcança aproximadamente três mil rpm, enquanto a do material em operação estará entre 10 e 20 rpm. Durante o processo, é

importante que o avanço do material (eixo Z) e a rotação do fuso ao qual a peça está fixada (eixo C) estejam sincronizados para que se obtenha o passo da rosca no comprimento programado desejado, atendendo assim as especificações de desenho da peça. (FERES, 2012, pg. 20).

Havendo instalado esse dispositivo na máquina ferramenta, a rosca é obtida em um único passe. Isso comparado a outros processos convencionais de usinagem gera aproximadamente uma redução de 50% no tempo de ciclo de usinagem. A forma circular das pastilhas de corte gera maior resistência para a ferramenta de corte, juntamente com a garantia de espaço para saída de cavaco aumentando assim o rendimento econômico da operação (FERES, 2012).

O volume de remoção de cavaco é alto nas operações de turbilhonamento externo, devido a isso, é muito comum que seja utilizada uma bomba de alta pressão para aplicação do fluido refrigerante. Essa aplicação melhora consideravelmente o processo, pois melhora a saída de cavacos e evita a formação de arestas postiças nas arestas de corte da ferramenta, garantindo assim uma excelente qualidade final da rosca (FERES, 2012).

Para confecção de roscas internas, o turbilhonador pode ser acionado de forma pneumática ou elétrica. Nessa operação o porta-ferramentas tem uma rotação de aproximadamente 30000 rpm e a peça uma rotação de cerca de 20 rpm (FERES, 2012).

Entre muitas qualidades referentes ao processo de turbilhonamento como a redução do tempo do ciclo de usinagem, Feres (2012), aponta também que com a aplicação dessa técnica as roscas usinadas saem da máquina isentas de rebarbas, e baixa produção de cavaco. A usinagem através de turbilhonamento amplia a vida útil das ferramentas de corte empregadas por ser uma usinagem mais suave, isso se deve ao fato dessa técnica ter mais arestas em contato com o material usinado durante o corte.

A técnica de turbilhonamento é relativamente nova, porém está obtendo uma boa aceitação no mercado industrial, pois é uma grande alternativa para usinagem de roscas ao invés do investimento em máquinas específicas para esse processo. Devido ao seu custo x benefício a tendência é o aumento da aplicação desse sistema na usinagem de roscas de alta precisão (FERES, 2012).

## 5 PARAFUSO ORTOPÉDICO

No cenário atual da área médica, é observada uma crescente no emprego de materiais biocompatíveis na substituição ou reconstrução de discontinuidades ou anomalias ósseas que são causadas por doenças congênitas, deformações ou algum tipo de fratura. A partir disso, torna-se de extrema importância uma análise geral desses tipos de materiais, pois os mesmos se tornam parte da anatomia humana.

Um dos principais materiais é o parafuso ortopédico, ele é largamente utilizado pela comunidade médica em diversas técnicas de tratamento de fraturas ósseas. Esse capítulo pretende demonstrar quais são suas principais características.

O parafuso é composto por duas regiões: Corpo cilíndrico roscado e uma cabeça que pode possuir geometrias variadas como: redonda, hexagonal, quadrada, etc., (PAULI E ULIANA, 1996)

**Figura 18:** Parafuso Industrial cabeça Sextavada



**Fonte:** Adaptado de Pakmóvel, 2015.

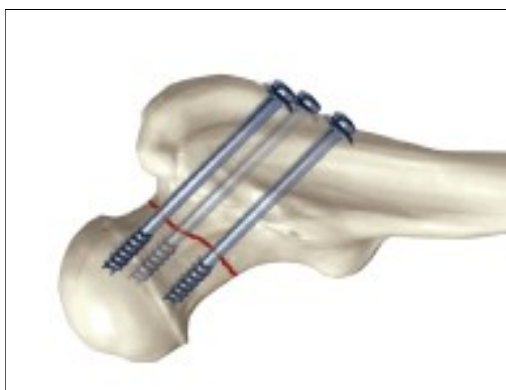
Segundo Messmer et. al., (2009), o parafuso converte a rotação em movimento linear, e é considerado um poderoso dispositivo mecânico. Os parafusos utilizados no tratamento de fraturas ósseas compartilham os seguintes aspectos em seu projeto:

- Núcleo central;
- Rosca que converte rotação em movimento linear no osso;

- Ponta afiada ou não cortante;
- Cabeça que se encaixa numa placa ou no osso;
- Encaixe para prender a ponta de uma chave de inserção.

O parafuso ortopédico possui diversos tipos de aplicação na área médica. São utilizados na compressão de uma superfície que sofreu algum tipo de fratura, fixação de uma placa comprimindo-a ao osso, entre outras aplicações. Um parafuso denominado de posição tem a função de segurar dois fragmentos juntos sem compressão. O parafuso de tração possui essa denominação devido a sua função de comprimir dois fragmentos, eles são introduzidos independentemente ou através de placas (MESSMER et. al., 2009).

**Figura 19:** Exemplo de aplicação de um parafuso ortopédico de tração



Fonte: JMR, 2015.

O movimento rotacional do parafuso é convertido pela sua rosca em movimento linear. De acordo com o avanço do parafuso, sua cabeça é pressionada contra a cortical óssea (região externa do osso), essa compressão gera uma pré-carga. Essa pré-carga é responsável pela compressão da fratura prevenindo a sua separação. Nesse mesmo contexto há fricção entre as superfícies da fratura, assim como entre o parafuso e o osso, fazendo com que haja a oposição do deslocamento por cisalhamento (MESSMER et. al., 2009).

De acordo com Messmer et. al., (2009), para fixação de uma fratura por compressão intrafragmentar ou para fixação de um dispositivo de imobilização, o parafuso é uma ferramenta muito eficaz. Para utilização de suas diversas possibilidades, é recomendado que o cirurgião possua um entendimento de todas as

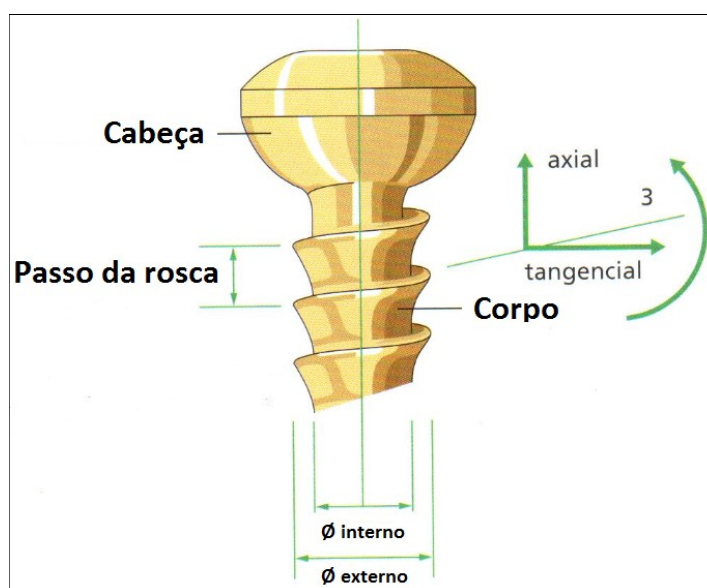
características do parafuso. É necessário que se faça uma ponderação entre as propriedades biológicas e mecânicas.

A força axial produzida por um parafuso resulta de sua rotação em sentido horário, na qual a superfície inclinada de sua rosca desliza ao longo de uma superfície correspondente do osso. A inclinação da rosca – o passo – deve ser pequena o suficiente para prever o pega do parafuso no osso, ou seja, prevenir que se desenrosque e fique solto. Entretanto, o passo deve ser grande o suficiente para permitir a inserção completa com um número aceitavelmente baixo de revoluções. Para melhorar o avanço em cada virada de um parafuso no osso, os parafusos de hélice dupla podem ser usados. (MESSMER et. al., 2009, p.239).

A soma do aperto e das cargas impostas das peças que estão unidas por um parafuso gera a soma de tensão inicial, que é entendido como a carga total que o parafuso pode suportar, e através desta, é estabelecido um torque-limite de aperto para que o parafuso não venha a falhar, (PAULI E ULIANA, 1996).

Ao longo da circunferência da rosca do parafuso ocorre a ativação de uma força tangencial, devido ao seu torque de inserção. É ativada também a força axial, devido ao deslocamento que descreve a superfície inclinada da rosca do parafuso no osso, produzindo tensão axial (MESSMER et. al., 2009).

**Figura 20:** Desenho esquemático de um parafuso cortical e suas forças vetoriais.



**Fonte:** Adaptado de MESSMER et. al., 2009, p. 240

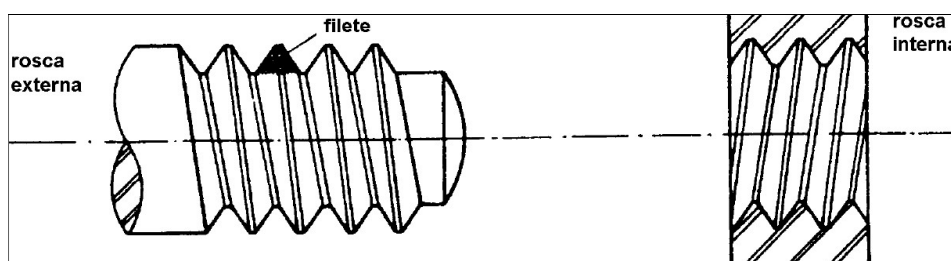
Ainda segundo Messmer (2009), é dividido em três componentes o torque aplicado durante o aperto de um parafuso ortopédico. Utilizando o parafuso convencional de 4,5mm de diâmetro como exemplo, o torque é dividido em:

- 50% são usados para superar a fricção na interface da cabeça do parafuso;
- 40% são transformados em força axial;
- 10% superam a fricção da rosca. (MESSMER et. al., 2009, p.240).

## 5.1 Características dos parafusos

Todo parafuso possui um corpo cilíndrico roscado. “Rosca é uma saliência de perfil constante, helicoidal, que se desenvolve de forma uniforme, externa ou internamente, ao redor de uma superfície cilíndrica ou cônica. Essa saliência é denominada filete.” (PAULI E ULIANA, p.13, 1996).

**Figura 21:** Representação de uma rosca externa, interna e detalhe do filete.



**Fonte:** Pauli e Uliana, 1996, p.13

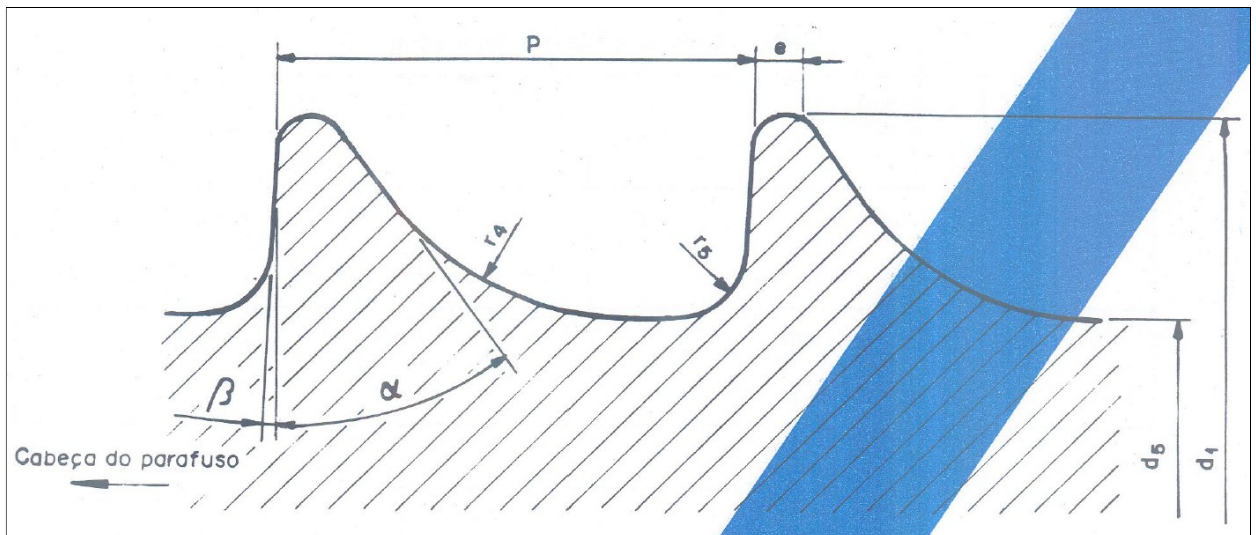
Os parafusos ortopédicos possuem roscas bem específicas devido a sua aplicação. A norma brasileira que rege os padrões das roscas empregadas, dimensões e tolerâncias dimensionais nesses tipos de parafusos metálicos usados como implantes é norma *NBR ISO 5835 – Implantes para cirurgia – Parafusos ósseos metálicos com conexão para chave hexagonal, parte inferior da cabeça de forma esférica e rosca assimétrica - Dimensões*.

De acordo com a norma NBR ISO 5835 (1996), os códigos de identificação das roscas dos parafusos metálicos utilizados como implante cirúrgico são divididos em:

- Código HA. Utilizado para identificação de parafusos aplicados na cortical óssea, rosca rasa, onde a cortical é entendida como região externa do osso.
- Código HB, Utilizado para identificação de parafusos aplicados na parte esponjosa óssea, rosca profunda, onde a parte esponjosa é entendida como região interna do osso.

A norma NBR ISO 5835 (1996) normatizou as dimensões dos parafusos que possuem roscas HA e HB. Os quadros 1 e 2, juntamente com as figuras 22 e 23 demonstram essas dimensões normatizadas. As unidades de medida utilizadas são em milímetros (mm) e graus (°).

**Figura 22:** Rosca normativa HA



Fonte: NBR ISO 5835, 1996, p.3

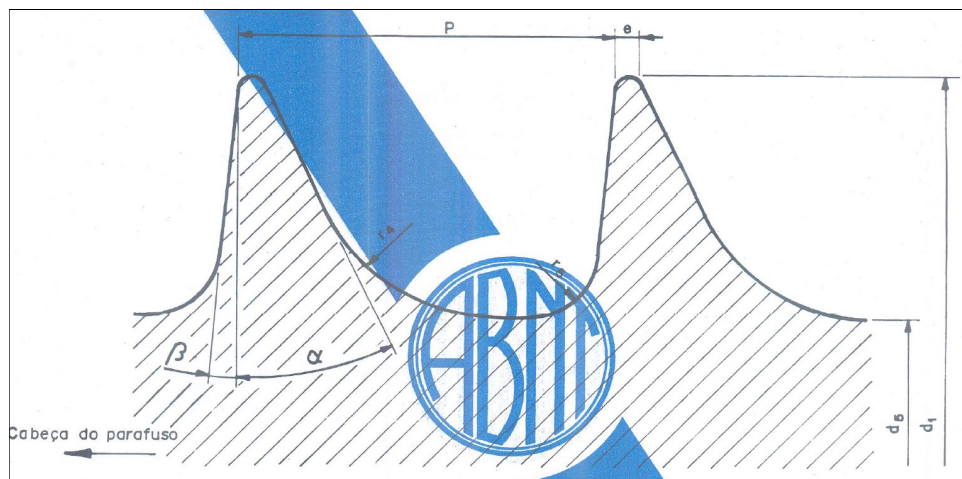


**Quadro 1: Dimensões da rosca HA**

Código e diâmetro de rosca	$d_{1-0,15}^0$	$d_5$		e	P	$r_4$	$r_5$	$\alpha$	$\beta$
			tol.						
HA 1,5	1,5	1,1	0		0,5	0,3	0,1	35°	3°
HA 2,0	2	1,3	-0,10		0,6	0,4	0,1		
HA 2,7	2,7	1,9		0,1	1	0,6	0,2		
HA 3,5	3,5	2,4	0		1,25	0,8	0,2		
HA 4	4	2,9	-0,15		1,5 <sup>1), 2)</sup>	0,8	0,2		
HA 4,5	4,5	3			1,75	1	0,3		
HA 5	5	3,5			1,75	1	0,3		

Fonte: NBR ISO 5835, 1996, p.3

**Figura 23: Rosca normativa HB**



Fonte: NBR ISO 5835, 1996, p.4

**Quadro 2: Dimensões da rosca HB**

Código e diâmetro de rosca	$d_{1-0,15}^0$	$d_{5-0,15}^0$	e	P	$r_4$	$r_5$	$\alpha$	$\beta$
HB 4	4	1,9	0,1	1,75 <sup>1), 2)</sup>	0,8	0,3	25°	5°
HB 6,5	6,5	3	0,2	2,75	1,2	0,8	25°	5°

Fonte: NBR ISO 5835, 1996, p.4

## 6 ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso foi realizado em uma empresa do ramo de Implantes Ortopédicos. Ela está situada na cidade de Rio Claro, no estado de São Paulo. Esse grupo empresarial é composto por um grupo de empresas que já estão à cerca 30 anos no mercado de implantes ortopédicos, atendendo todo o território brasileiro e mais 10 países.

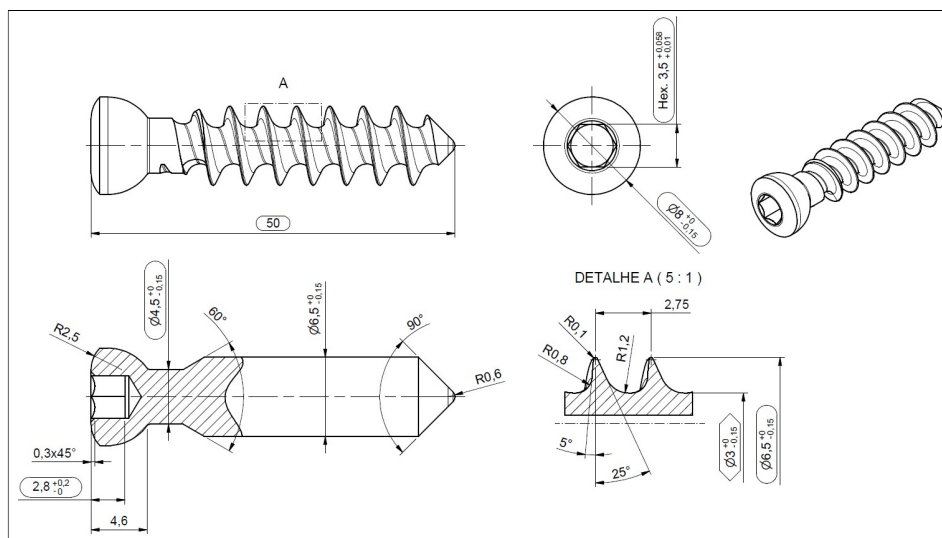
Como já descrito anteriormente, este trabalho tem o intuito de apresentar a comparação entre dois processos distintos de usinagem de rosca externa, o processo convencional de usinagem, comumente chamado de processo de “pentear”, e o processo de turbilhonamento de roscas.

Para realizar essa comparação, foram abertas duas ordens de fabricação do mesmo produto, onde a primeira recebeu o processo de usinagem convencional e a segunda recebeu o processo de turbilhonamento. Durante essa produção foram levantados: o tempo de usinagem por peça, o custos dos processos, o acabamento e a qualidade superficial das peças, além de quantificar os dispositivos / investimento necessário para cada processo.

### 6.1 Materiais e métodos

O objeto de estudo foi o parafuso ortopédico denominado: parafuso esponjoso rosca completa Ø 6,5 mm x 50 mm. Como função biomecânica seu propósito é promover a redução anatômica (junção de duas partes ósseas que sofreram uma determinada fratura), e estável fixação, permitindo uma imobilização na região da fratura a fim de alcançar à rápida osteossíntese (consolidação dos fragmentos ósseos), mantendo o apropriado alinhamento ósseo. A figura 24 representa o desenho técnico do parafuso em questão.

**Figura 24:** Parafuso esponjoso rosca completa  $\varnothing 6,5$  mm x 50 mm



Fonte: Autor

A matéria prima utilizada para fabricação desse produto foi a Liga de titânio ASTM F136. Esse material foi disponibilizado na forma de barras com diâmetro de 3/8". Essa liga de titânio é largamente utilizada para fabricação de implantes por apresentar um alto índice de biocompatibilidade.

“Biocompatibilidade é a capacidade de um material apresentar uma resposta apropriada em um hospedeiro para uma aplicação específica” (Brunette et. al., 2001, p. 2). Ainda segundo Brunette et al., a palavra “Biocompatibilidade” é comumente utilizada na comunidade de biomateriais, e pela população em geral também. Quase que universalmente, titânio é dito ser “biocompatível”.

## 6.2 Processo de fabricação

O processo de fabricação do parafuso base desse estudo de caso apresenta macro etapas de fabricação. A ordem dessas macro etapas é a seguinte:

- Usinagem Completa
- Tamborear
- Lavar

- Anodizar
- Inspeccionar
- Gravar
- Liberar produtos do controle de qualidade
- Embalar e Rotular
- Expedir

O estudo realizado focou na macro etapa de usinagem completa. É nessa etapa que ocorreu a comparação entre o processo convencional de rosqueamento externo e o processo de turbilhonamento. Para entender essa diferença entre os processos, são descritos a seguir as peculiaridades envolvidas na etapa de usinagem completa e as demais etapas de fabricação do objeto do estudo de caso.

### **6.2.1 Usinagem completa**

Nessa etapa ocorre a principal transformação da matéria prima, como descrito por Ferraresi (1997) é nesta em que a peça recebe a forma, dimensão e o acabamento, onde essas características são previamente determinadas no projeto do produto.

Nesse subcapítulo é descrito como foi realizado o procedimento de usinagem completa considerando as operações comuns de cada processo e as operações individuais.

Para realização do estudo em questão, foi utilizado o centro de torneamento: STAR, SR-20J Type C, (Figura 25). Essa configuração de máquina é largamente utilizada para confecção de materiais cujo perfil é cilíndrico, garantindo alta precisão, economia e adaptações dependendo da necessidade de fabricação.

**Figura 25:** Centro de torneamento STAR SR-20J Type C



**Fonte:** Autor

Primeiramente foi gerada uma ordem de fabricação referente ao parafuso em questão pelo setor de PCP (*Planejamento e Controle da Produção*). Como o próprio nome sugere, esse setor é o responsável pela programação e planejamento dos itens que são produzidos no decorrer de cada mês. A partir da abertura da ordem de fabricação, foi separada a quantidade de matéria prima que foi consumida. Essa quantidade é calculada através da equação (4):

$$\text{Quantidade de matéria prima} = (\text{Comprimento} + 2,5) \times n^{\circ} \text{ de peças} + 300 \quad (4)$$

O calculo é a somatória do comprimento total do parafuso (corpo e cabeça) com um acréscimo de 2,5mm para trabalho das ferramentas de corte (bedame), multiplicado pela quantidade de peças. A partir desse resultado é somado também o valor de 300 mm, que é o comprimento que o alimentador de barras necessita para suportar a barra durante a usinagem. Esse valor de material não se transforma em produto.

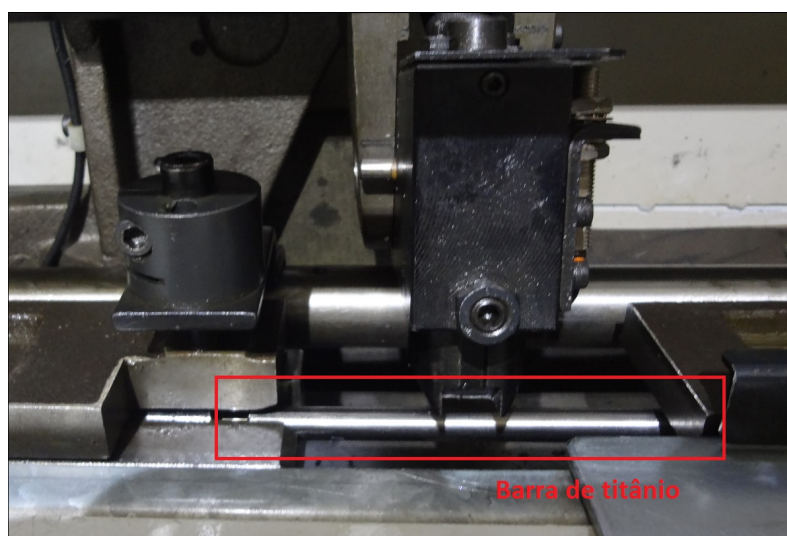
Após o calculo e a separação da matéria prima, foi realizado o *setup* da máquina. O *setup* consiste em realizar a preparação da máquina com os insumos e ferramentas necessárias para que ela consiga atender o processo esperado, que nesse caso, é a confecção do parafuso ortopédico.

O procedimento de *setup* para este estudo dividiu-se nas seguintes etapas:

1ª: Confeção do programa CNC. Para este estudo foram confeccionados dois programas distintos: Programa para usinagem convencional de rosqueamento externo e usinagem através de turbilhonamento de roscas.

2ª: Posicionamento da barra no alimentador de barras (figura 26). Na máquina utilizada existem dois módulos de alimentação: barras com  $\varnothing$  maiores que 11 mm e  $\varnothing$  menores que 11 mm;

**Figura 26:** Posicionamento da barra

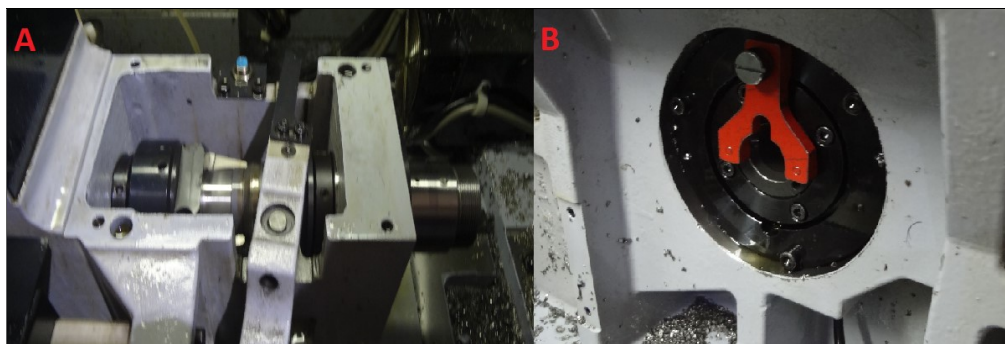


Fonte: Autor

3ª: Alocação da pinça de fixação da barra  $\varnothing$  3/8" no cabeçote móvel 1 (figura 27);

4ª: Posicionamento da bucha guia  $\varnothing$  3/8" na interface entre o cabeçote móvel 1 e o cabeçote móvel 2 (figura 27);

**Figura 27:** Cabeçote móvel 1 (A) e bucha guia (B).

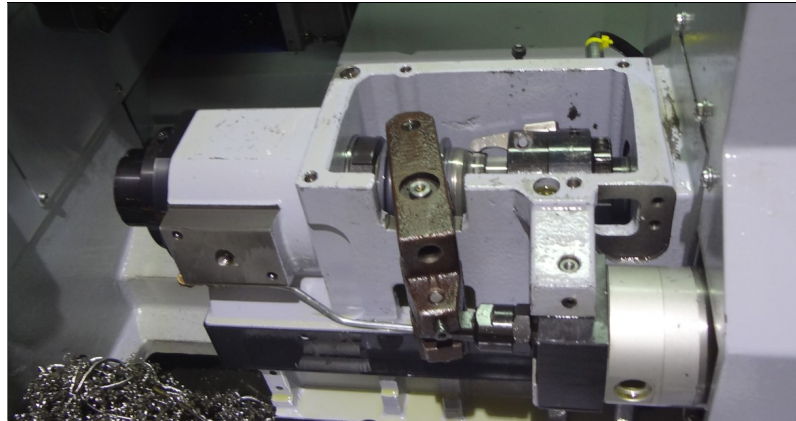


Fonte: Autor



5ª: Montagem da pinça de fixação no cabeçote móvel 2. Neste caso com diâmetro de 6,5 mm, pois a pinça agarra o parafuso com a rosca já usinada (figura 28);

**Figura 28:** Cabeçote móvel 2.



**Fonte:** Autor

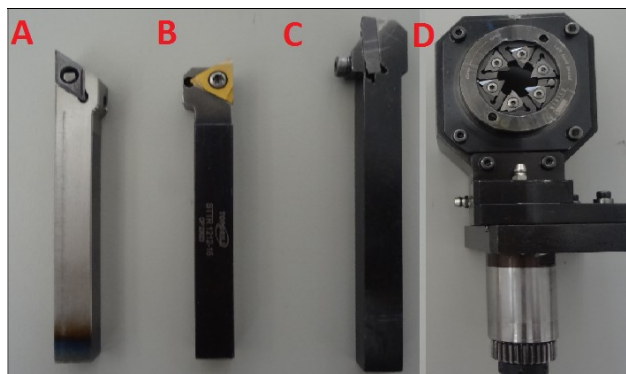
6ª: Montagem das ferramentas no Magazine número 1 (figura 29). Neste momento ocorre a principal diferença física entre o processo convencional de rosqueamento externo e o processo de turbilhonamento. Para o processo convencional de rosqueamento externo utilizou-se as seguintes ferramentas:

- Ferramenta de Desbaste (A);
- Pastilha para rosqueamento externo (B).
- Bedame (C);

Para o processo de Turbilhonamento de roscas, utilizou-se as seguintes ferramentas:

- Ferramenta de Desbaste (A);
- Bedame (C);
- Turbilhonador de roscas (D).

**Figura 29:** Ferramentas fixadas no magazine nº1.

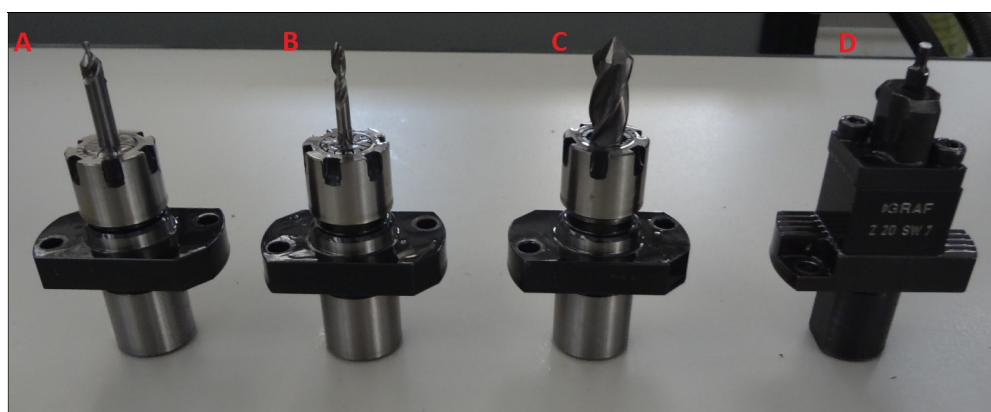


Fonte: Autor

7ª: Montagem do Magazine número 2 com as seguintes ferramentas (figura 30):

- Escareador 90° (A);
- Broca metal duro Ø 2 mm (B);
- Broca metal duro Ø 3,5 mm (C);
- Punção *Horn* (D).

**Figura 30:** Ferramentas fixadas no magazine nº2.



Fonte: Autor

Depois de finalizada a preparação dos insumos e ferramentais, a máquina é acionada e é feita a verificação da usinagem da peça, essa verificação consiste em comparar às dimensões da peça usinada, com as dimensões especificadas no projeto do produto.



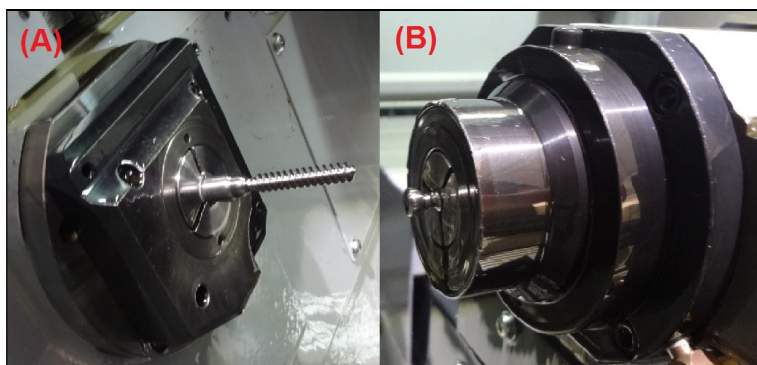
Através do histórico da produção, para este tipo de produto, normalmente três peças são suficientes para que se atinja o ajuste necessário/pretendido da máquina.

### 6.2.1.1 Descrição da usinagem

Finalizada a preparação e o ajuste da máquina, a mesma entra em processo de fabricação contínua. Como descrito no capítulo 2, são as ferramentas de corte que fornecem dimensões e acabamento na peça através da remoção de cavacos.

A usinagem do produto do estudo de caso em questão se divide em duas etapas: Primeiramente ocorre a usinagem no cabeçote móvel 1, e em seguida, a usinagem no cabeçote móvel 2. A figura 31 demonstra essas duas etapas.

**Figura 31:** Cabeçote móvel 1 (A); Cabeçote móvel 2 (B)



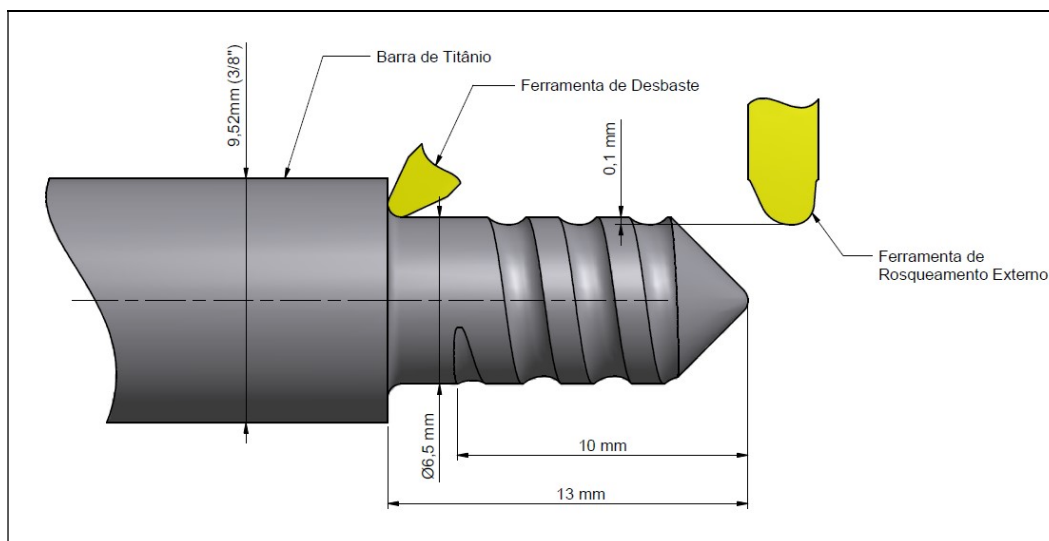
Fonte: Autor

A usinagem no cabeçote móvel 1 inicia-se com a ferramenta de desbaste faceando a ponta da barra e confeccionando o ângulo de 90° da peça conforme indicado no desenho técnico (Figura 24).

Em seguida, no processo convencional, a ferramenta de desbaste usina a barra de diâmetro de 3/8" (9,52 mm) deixando-a com diâmetro de 6,5 mm através do comprimento de 13 mm. Depois, a ferramenta que participa do processo é a pastilha para rosqueamento externo. Nessa etapa ela efetua a usinagem da rosca no comprimento de 10 mm a partir da ponta de 90° com uma profundidade de corte de 0,1 mm. Após percorrer os 10 mm, ela repete a usinagem até atingir o diâmetro interno do parafuso especificado em projeto (3 mm). Realizada a usinagem da rosca

por 10 mm, a ferramenta de desbaste usina o comprimento da barra de 3/8" por mais 13 mm, deixando-a com diâmetro externo de 6,5 mm e novamente a pastilha de rosqueamento externo participa do processo usinando a rosca por mais 10 mm. Repete-se esse processo até a confecção do último filete de rosca. A figura 32 exemplifica o processo convencional de rosqueamento externo.

**Figura 32:** Processo convencional de rosqueamento externo



**Fonte:** Autor

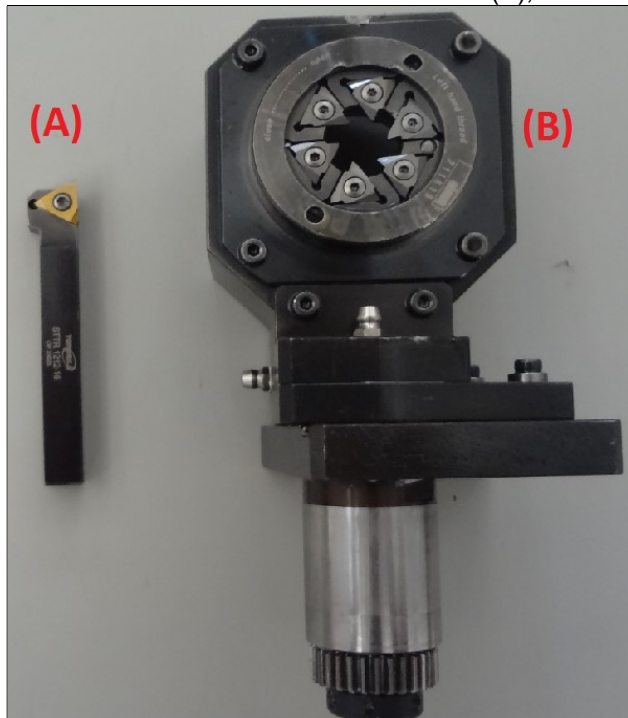
Já no processo de turbilhonamento, após o faceamento e a angulação de 90° confeccionada na ponta da barra pela ferramenta de desbaste, o Turbilhonador usina a barra por completo através do comprimento de 45 mm (comprimento da rosca do parafuso) em um único movimento de avanço.

Confeccionada a rosca, as operações de usinagem voltam a ser idênticas. A ferramenta de desbaste novamente participa do processo usinando o “pescoço” e a parte inferior da cabeça do parafuso. Após esse processo o cabeçote móvel 2 agarra a peça e o Bedame faz a interpolação da cabeça do parafuso juntamente com o corte da peça da barra oriunda do alimentador.

A peça fixada ao cabeçote móvel 2 é levada ao magazine número 2. Nele ocorre a confecção dos detalhes internos da cabeça do parafuso. É feito um furo de centro com a broca metal duro Ø 2 mm, em seguida é feito o furo Ø 3,5 mm com a broca metal duro de diâmetro correspondente, esse furo é utilizado para facilitar a confecção do hexágono. Após as furações o Escareador 90° usina o chanfro interno e por fim o punção Horn conforma o hexágono interno de 3,5mm.

Além do programa CNC a principal diferença entre os dois processos é a ferramenta de confecção da rosca. A figura 33 demonstra essas ferramentas lado a lado.

**Figura 33:** Ferramentas: Torneamento convencional (A); Turbilhonamento (B)



Fonte: Autor

Após o processo de usinagem, os parafusos passam por outros processos, a fim de atingirem as dimensões finais e acabamento estipulados em projeto.

### 6.2.2 Tamboreamento

Em seguida do processo de usinagem completa, os parafusos foram submetidos ao processo de tamboreamento rotativo. Este pode ser definido como um processo mecânico de acabamento, no qual as peças são colocadas no interior de um tambor rotativo contendo chips (cerâmicos ou plásticos). Através da rotação do tambor os chips chocam-se contra as peças com o objetivo de eliminar os cantos vivos, e conferir uniformidade ao acabamento superficial das peças.

Os parâmetros de controle para o processo de tamboreamento são: Tipo de solução abrasiva, volume de chips (abrasivos), velocidade de rotação, volume de peças e tempo de processo.

### **6.2.3 Lavagem**

Essa etapa tem objetivo remover as impurezas deixadas nas peças pelos processos de usinagem e tamboreamento.

A lavagem foi feita com a alocação das peças em um tanque ultrassônico contendo solução desengraxante por um determinado tempo. Conseqüentemente as peças foram retiradas e limpas manualmente com o auxílio de escovas e esponjas. Por fim o lote foi exposto à água corrente.

### **6.2.4 Anodização**

A anodização é um processo eletroquímico ou eletrolítico, que ocasiona a formação controlada e uniforme de uma camada de óxido na superfície do material a ser anodizado. Esse processo proporciona ao material durabilidade e acabamento, (ABAL – Associação Brasileira do Alumínio, 2005).

As peças foram mergulhadas em um tanque contendo uma solução ácida. Foi realizado um contato de um terminal anódico (positivo) na peça de forma a permitir a passagem de corrente elétrica através da solução até o terminal catódico (negativo), Isso produziu uma camada de óxido no material através da reação eletroquímica.

### **6.2.5 Inspeção**

Após as etapas de acabamento/tratamento superficial, as peças foram enviadas ao controle de qualidade. Nesse ponto as cotas críticas estipuladas no projeto do produto foram inspecionadas e foi verificado o acabamento superficial.

A inspeção no setor de controle da qualidade é realizada através de instrumentos de medição e/ou calibradores. Caso a peça não esteja de acordo com as especificações a mesma, é sucateada ou retrabalhada dependendo do grau da divergência encontrada.

#### **6.2.6 Gravar**

Todos os produtos comercializados no ramo da medicina devem possuir rastreabilidade. O processo de gravação consiste em demarcar o produto com o seu Lote de fabricação. Esse processo é realizado no controle de qualidade através de um equipamento de gravação a laser.

Foi feita uma programação das informações necessárias a serem gravadas no produto e através do equipamento foi realizada essa gravação.

#### **6.2.7 Liberação dos produtos do controle de qualidade**

Depois de realizado os processos de inspeção e gravação, as peças foram conferidas no que diz respeito à quantidade de peças que o lote deve apresentar, juntamente com as informações que foram gravadas. Depois de conferidos, os produtos foram encaminhados para o processo seguinte.

#### **6.2.8 Embalar e Rotular**

Nessa etapa os produtos foram acondicionados em embalagens plásticas que foram posteriormente seladas. Após a selagem foi adicionado um rótulo que possui as informações comerciais e técnicas do produto.

Essas embalagens protegem os produtos com relação ao meio exterior e os deixam aptos a serem utilizados no procedimento cirúrgico.

### 6.2.9 Expedir

Essa é a última etapa que os produtos passaram antes de entrar no estoque para serem comercializados. Nesse processo foi feita a última inspeção com relação à quantidade de peças, embalagem e rótulo.

## 6.3 Resultados

Como descrito anteriormente, o objetivo deste trabalho consiste em comparar dois processos de usinagem tendo como foco principal o tempo de ciclo desses processos e os insumos necessários para que o mesmo se torne possível.

Além do foco do processo de usinagem completa foram também estipulados os valores do custo por hora de todos os processos que fazem parte da fabricação do parafuso em questão.

### 6.3.1 Custos dos processos em geral

Através de estudos realizados através de engenharia de manufatura e controladoria econômica, foram estimados os valores médios do custo da hora dos processos responsáveis pela confecção do Parafuso esponjoso rosca completa Ø 6,5 mm x 50 mm. Esses valores estão representados através do quadro 3.

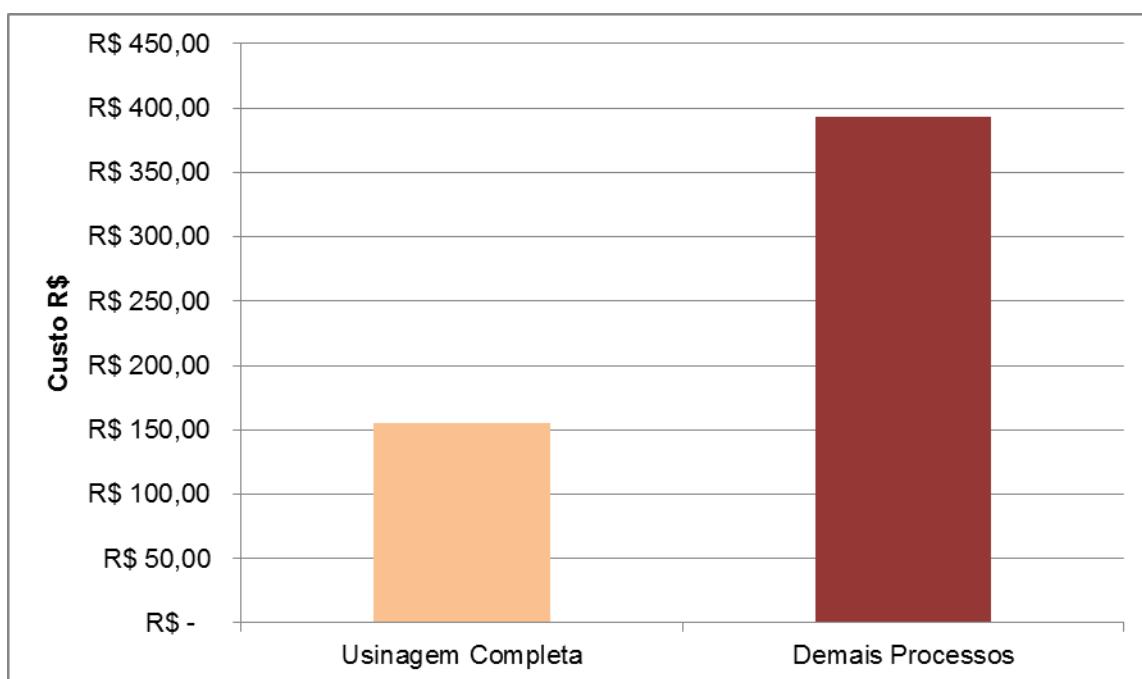
**Quadro 3:** Custo por hora dos processos envolvidos.

Processo	Custo da hora (R\$)
Usinagem completa	155,33
Tamborear	78,67
Lavar	53,68
Anodizar	36,89
Inspeccionar	76,55
Gravar	51,21
Embalar e rotular	95,88

Fonte: Empresa

Através da tabela acima, é visto que o custo por hora da usinagem completa representa um valor elevado de custo se comparado aos demais processos, justificando o alvo do estudo do processo de usinagem analisado neste trabalho. O gráfico 1 representa essa comparação.

**Gráfico 1:** Custos por hora: Usinagem completa e demais processos.



Fonte: Empresa

### 6.3.2 Custos do investimento com relação ao processo de usinagem completa

O custo da hora máquina para o processo de usinagem completa é de aproximadamente R\$ 155,33. No valor da hora máquina estão incluídos os custos operacionais (máquina e operador), manutenção, depreciação, entre outros. Contudo, existe também o valor do investimento necessário para que ocorra a usinagem do material. Foram levantados estes valores levando em consideração os custos das ferramentas necessárias. Os valores estão evidenciados no quadro 4 para o processo convencional e no quadro 5 para o processo de turbilhonamento.

**Quadro 4:** Investimento em ferramentas – Processo convencional

<b>Ferramenta</b>	<b>Custo (R\$)</b>
Broca de centro metal duro diâmetro 2mm	92,00
Escareador 90° - diâmetro 10mm	227,00
Punção Horn	166,72
Broca metal duro diâmetro 3,5mm	25,50
Ferramenta de desbaste raio 0,4mm	23,41
Pastilha de rosca - Passo 2,75	61,90
Suporte para ferramenta de rosca	285,61
Bedame metal duro 2mm ponta reta	57,71
<b>Total</b>	<b>939,85</b>

Fonte: Empresa

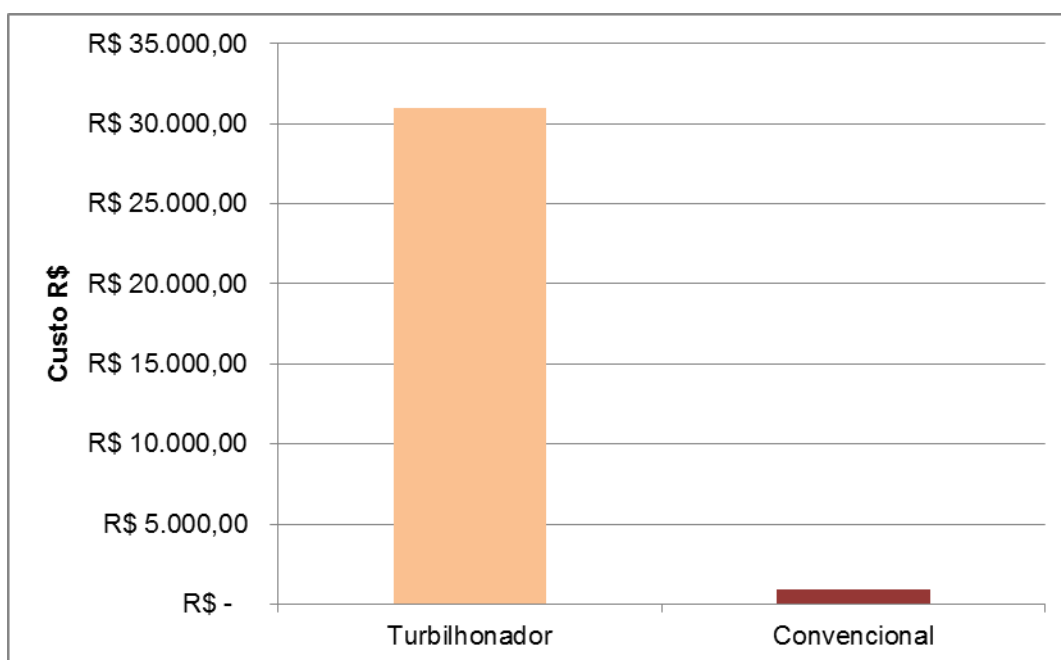
**Quadro 5:** Investimento em ferramentas – Processo de turbilhonamento

<b>Ferramenta</b>	<b>Custo (R\$)</b>
Broca de centro metal duro diâmetro 2mm	92,00
Escareador 90° - diâmetro 10mm	227,00
Punção Horn	166,72
Broca metal duro diâmetro 3,5mm	25,50
Ferramenta de desbaste raio 0,4mm	23,41
Pastilhas para turbilhonamento	480,72
Suporte (Turbilhoador)	30.000,00
<b>Total</b>	<b>31.015,35</b>

Fonte: Empresa

Graficamente nota-se que o processo de turbilhonamento requer um investimento consideravelmente maior se comparado ao processo convencional de rosqueamento externo.



**Gráfico 2:** Comparação do investimento dos processos.

Fonte: Autor

### 6.3.3 Tempos de fabricação

Durante o estudo de caso, foi realizado um levantamento dos tempos consumidos durante os processos de fabricação. O quadro 6 demonstra os tempos obtidos durante a usinagem da peça no processo convencional e no processo de turbilhonamento, com a peça fixada no cabeçote móvel 1 e, posteriormente, no cabeçote móvel 2. Em ambos os processos, é importante ressaltar que as operações nos cabeçotes são realizadas simultaneamente, ou seja, o tempo de ciclo da máquina é o maior tempo em que um dos cabeçotes realiza a operação de usinagem. No caso do parafuso ortopédico, enquanto o cabeçote móvel 2 confecciona o entalhe da cabeça do “parafuso 1”, o cabeçote móvel 1 confecciona a rosca do “parafuso 2”. Assim, o tempo de ciclo é referente a operação mais demorada comparando os dois cabeçotes da máquina.

**Quadro 6:** Comparativo do tempo de usinagem

<b>Tempo de usinagem</b>			
Cabeçote da máquina utilizado	Característica usinada	Tempo de usinagem (Convencional) – (segundos)	Tempo de usinagem (Turbilhonamento) - (segundos)
Móvel 1	Rosca do parafuso	760	147
Móvel 2	Cabeça do parafuso	250	250
Móvel 1 + Móvel 2	Parafuso completo	1010	397
<b>Tempo de ciclo</b>		<b>760</b>	<b>250</b>

Fonte: Autor

Os tempos unitários obtidos nos demais processos se encontram abaixo no quadro 7.

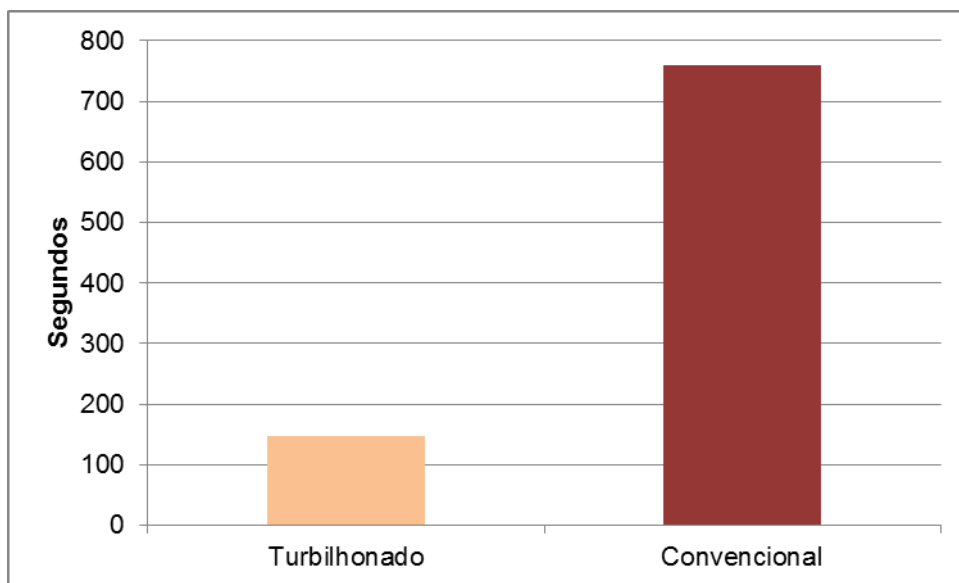
**Quadro 7:** Tempo unitário dos demais processos.

<b>Demais processos</b>	
Processo	Tempo por peça (segundos)
Tamborear	7,2
Lavar	36
Anodizar	14,4
Inspecionar	158,4
Gravar	28,8
Embalar e Rotular	61,2
<b>Total</b>	<b>306</b>

Fonte: Empresa

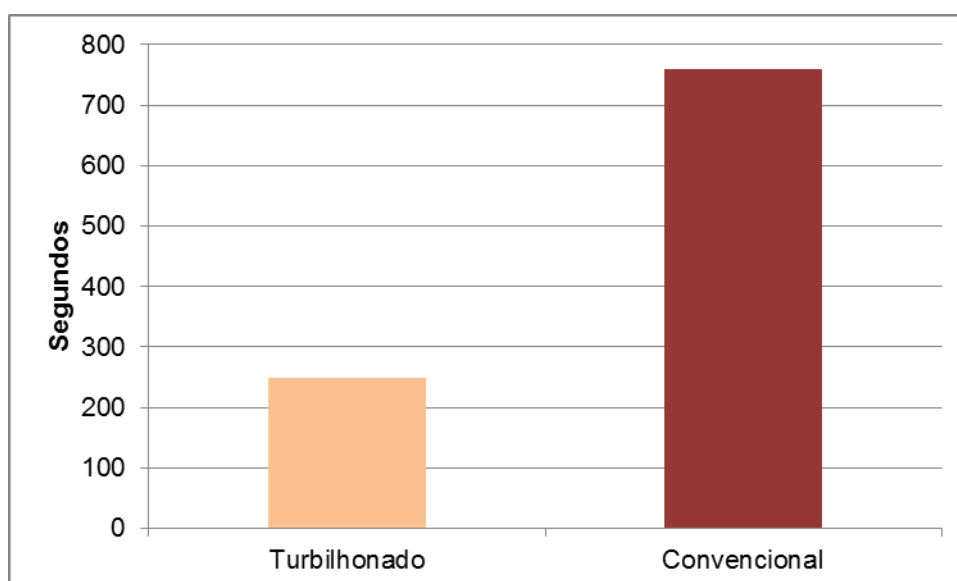
#### 6.3.4 Discussão dos resultados

Através dos dados acima, é visto que a diferença do tempo de usinagem é considerável. No processo convencional o tempo necessário para confeccionar a rosca durante a usinagem foi de 760 segundos, já no processo de turbilhonamento esse valor caiu para 147 segundos. O gráfico 3 representa esses valores.

**Gráfico 3:** Comparação do tempo necessário para usinagem da rosca

Fonte: Autor

Como descrito anteriormente, durante a produção contínua das peças, os cabeçotes trabalham simultaneamente, ou seja, enquanto está sendo realizada a usinagem da cabeça do parafuso no cabeçote móvel 2, no cabeçote móvel 1 ocorre a usinagem da rosca de outra peça no mesmo instante. O tempo total de fabricação encontrado (tempo de ciclo) para o processo convencional foi de 760 segundos. Para o processo de turbilhonamento foi de 250 segundos. O gráfico 4 demonstra esses valores.

**Gráfico 4:** Comparação do tempo necessário para usinagem do ciclo por peça

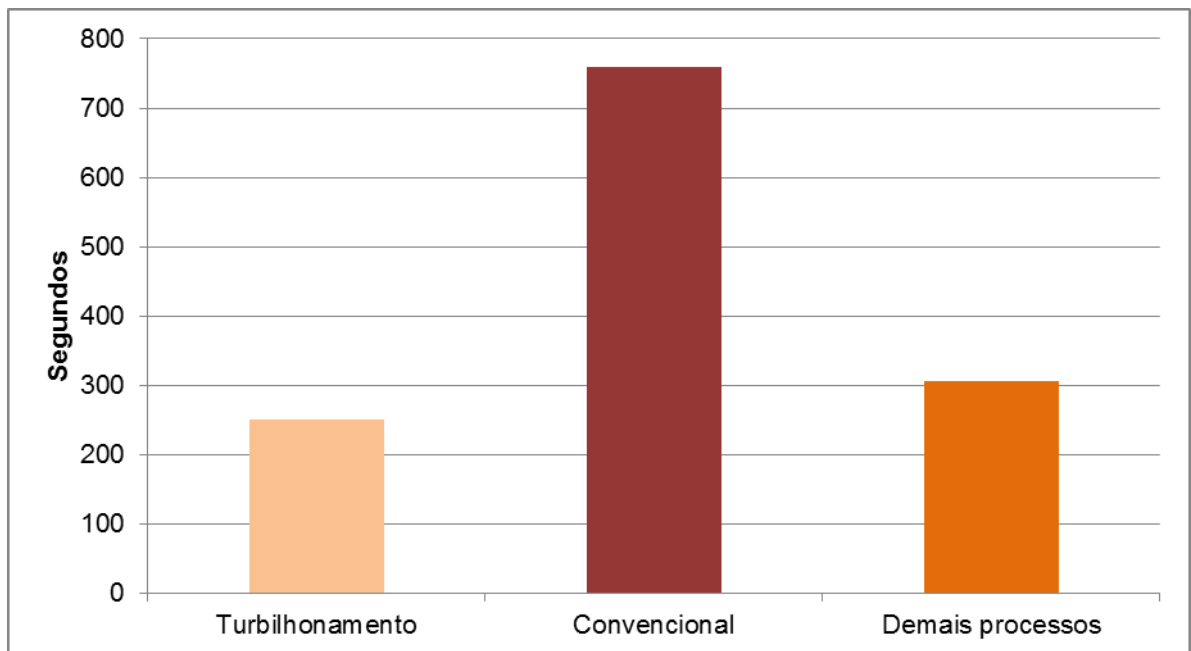
Fonte: Autor

Comparando as macro etapas de fabricação, dividindo-as em usinagem completa e demais processos, foram obtidos os seguintes valores de tempo de processamento:

- Usinagem (convencional) 760 segundos por peça;
- Usinagem (turbilhonamento) 250 segundos por peça;
- Demais processos: 306 segundos por peça.

Através do gráfico 5, é observada a comparação dos tempos de processamento.

**Gráfico 5:** Tempo de processamento por peça.



**Fonte:** Autor

O gráfico 5, demonstra que o processo de usinagem convencional possui um tempo de processamento por peça muito superior ao somatório do tempo de processamento unitário dos demais processos. Aplicando o Turbilhonador esse valor reduz drasticamente chegando a ser inferior ao somatório dos tempos de processamento dos demais processos.

### 6.3.5 Retorno do investimento (*Payback*)

Para o presente trabalho, foi realizada uma estimativa de qual o valor de investimento necessário, para implantação dessas duas modalidades de processos de usinagem. O quadro 8 exibe a diferença desses valores.

**Quadro 8:** Custos dos insumos necessários para os processos.

Custos insumos	
Processo	Reais
Turbilhoador	R\$ 31.015,35
Convencional	R\$ 939,85
<b>Diferença</b>	<b>R\$ 30.075,50</b>

Fonte: Empresa

Visto que o processo convencional de rosqueamento externo representa apenas aproximadamente 3% do investimento necessário para implantação do processo de turbilhonamento, é essencial que seja realizado um cálculo de retorno de investimento.

Através da coleta de dados e parâmetros de usinagem pré-estabelecidos, foi determinado que após o *setup* da máquina, isto é, onde ela entra em processo de fabricação contínua, o processo de turbilhonamento produz 14,4 peças por hora contra 4,73 peças por hora do processo convencional de rosqueamento externo. Utilizando o valor do custo da hora máquina e a quantidade de peças produzidas por hora é possível determinar o custo do processo de usinagem da peça unitária.

$$\text{Custo unitário por peça} = \frac{\text{Custo da hora máquina}}{\text{Quantidade de peças por hora}}$$

(5)

$$\text{Custo unitário Turbilhonamento} = 155,33 / 14,4 = \text{R\$ } 10,78$$

$$\text{Custo unitário Convencional} = 155,33 / 4,73 = \text{R\$ } 32,79$$

Com os valores unitários obtidos, é possível determinar o ganho por peça produzida.

$$\text{Ganho obtido} = \text{Custo unit. Convencional} - \text{Custo unit. Turbilhonamento} \quad (6)$$

$$\text{Ganho} = \text{R\$ } 32,79 - \text{R\$ } 10,78 = \text{R\$ } 22,01$$

Dividindo-se o valor do investimento necessário para implantação do processo de turbilhonamento pelo valor do ganho por peça, é possível determinar o número de peças necessárias para igualar o valor do investimento.

$$\text{Quantidade de peças necessárias} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Ganho}} \quad (7)$$

$$\text{Quantidade de peças} = \text{R\$ } 30.075,50 / \text{R\$ } 22,01 = 1367 \text{ peças}$$

Através do tempo de ciclo diário que a máquina opera, é possível determinar a quantidade diária de peças que podem ser produzidas. Na empresa em questão a máquina trabalha cerca de 16 horas por dia. Levando em consideração tempos de parada para manutenção, substituição das ferramentas, troca de turno de operadores e tempo de *setup*, é estimado um rendimento de 80% do ciclo diário.

$$\text{Produção diária} = \text{Peças por hora} \times \text{Horas diárias} \times \text{rendimento} \quad (8)$$

$$\text{Produção diária} = 14,4 * 16 * 0,8 = 184 \text{ peças}$$

Calculado a produção diária é determinado a quantidade de dias necessários para que o investimento apresente retorno.

$$\text{Tempo de retorno do investimento} = \frac{\text{Quantidade de peças necessárias}}{\text{Produção diária}} \quad (9)$$

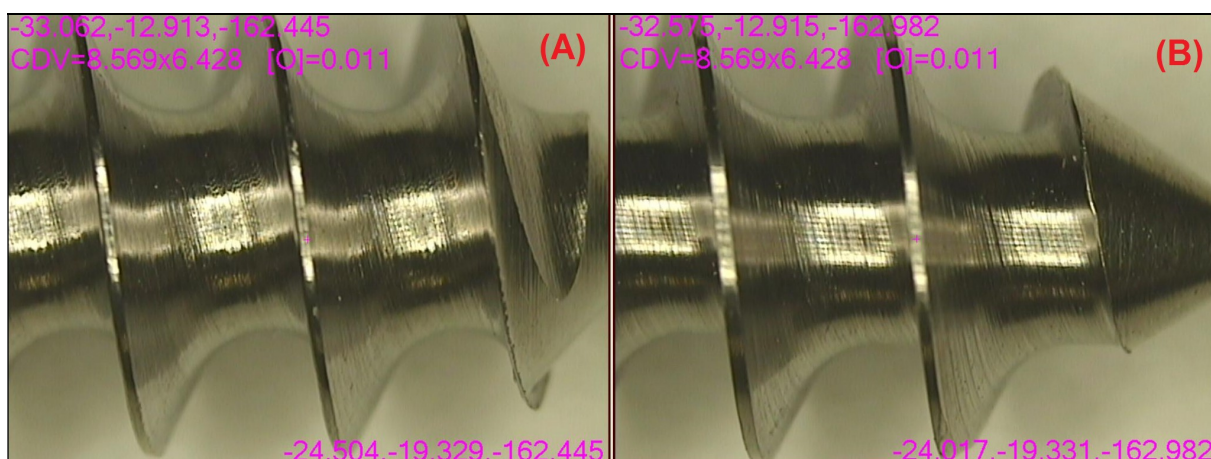
$$\text{Tempo de retorno do investimento} = 1367 / 184 = 7,5 \text{ dias.}$$

Para obtenção do valor do tempo necessário para retorno do investimento, foi considerado que a máquina opere em plena capacidade com relação ao expediente disponível, e também esses valores representam apenas os custos de processo (Custo hora máquina), não entrando em méritos comerciais.

### 6.3.6 Qualidade superficial

Como esse produto é utilizado na área médica no contexto de biomateriais, sua qualidade superficial é de extrema importância para que o produto atinja seu propósito esperado. A figura 34 demonstra de forma ampliada a qualidade superficial da usinagem da peça.

**Figura 34:** Superfície: Turbilhonamento (A); Torneamento convencional (B)



Fonte: Autor

Através da figura 34, é notório que a qualidade superficial apresenta poucas variações, não sendo, assim, afetada pela mudança do processo.

Apesar da pequena variação superficial, é importante ressaltar que na confecção de peças delgadas, como é o caso do parafuso ortopédico, que possui alta relação comprimento/diâmetro, o processo de turbilhonamento diminui a flexão da barra durante a usinagem, devido a essa operação realizar um único movimento de avanço. Já no processo convencional, ocorrem vários movimentos de avanço durante a operação, que acentuam a flexão da barra durante o processo, podendo ocasionar um desalinhamento no diâmetro interno do parafuso.

## 7 CONCLUSÃO

Devido ao aumento da competitividade no mercado industrial, os grupos empresariais buscam meios de otimizar os processos produtivos, com relação aos custos e a produtividade.

Para o ramo de implantes ortopédicos, onde empresas possuem os parafusos ortopédicos como um dos principais produtos dentro de seu *portfólio*, a técnica de usinagem de roscas através de turbilhonamento é um dos meios para se atingir os ganhos de processo esperados.

No presente trabalho, foi realizada a comparação entre o processo convencional de rosqueamento externo, e o processo de turbilhonamento de roscas. Através dos resultados, foi constatado que:

- O tempo de confecção da rosca foi reduzido em aproximadamente 80% com a implantação do turbilhonador.
- O tempo do ciclo de usinagem por peça também foi reduzido em aproximadamente 67%, comprovando o ganho estimado por Feres (aproximadamente 50%).
- Apesar da mudança do processo de usinagem da rosca, a qualidade superficial apresenta poucas variações, não comprometendo a aplicabilidade do material.
- O investimento para implantação do processo convencional é consideravelmente inferior ao investimento para implantação do processo de turbilhonamento, onde o convencional representa aproximadamente 3% em relação ao turbilhonamento.

Através desses resultados é possível concluir que o processo de turbilhonamento é eficaz para uma redução significativa de tempo de processo e conseqüentemente um aumento da produtividade. Apesar de seu investimento ser elevado, obtêm-se o retorno financeiro, considerando os custos de processos, em aproximadamente 7,5 dias com a máquina operando em plena capacidade (16 horas diárias com rendimento de 80%).

Com o ganho de produtividade é possível também destinar a máquina ferramenta (Centro de torneamento) para outras operações em um menor período de tempo.



Como sugestão para trabalhos futuros, pode ser analisada a aplicabilidade do processo de turbilhonamento de roscas em diversos comprimentos de parafusos, com intuito de efetuar uma análise econômica mais detalhada, e também o comparativo da vida útil das ferramentas do processo convencional de rosqueamento externo com relação processo de turbilhonamento de roscas.

## REFERÊNCIAS

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio. **Guia técnico de alumínio: tratamento de superfície**. 2. Ed. São Paulo: ABAL, 2005.

ABDI. **Manual para regularização de implantes ortopédicos na ANVISA – Parte I** / Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Brasília: ABDI, 2010.

ABIMAQ - **A História das Máquinas Abimaq 70 anos** – São Paulo 2006 – Magma Editora Cultural.

ABIMO – Associação Brasileira da Indústria de Artigos e Equipamentos Médicos, Odontológicos, Hospitalares e de Laboratórios. **Brasil já exportou mais de US\$ 570 milhões**. Disponível em: < <http://www.abimo.org.br/noticias/brasil-ja-exportou-mais-de-us-570-milhoes/>>. Acesso em 12 nov. 2015.

BRUNET, D. M.; TENGVALL, P.; TEXTOR, M.; THOMSEN, P. **TITANIUM IN MEDICINE**. Ed.: Donald M. Brunnet. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2001, Germany. 1019 p.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica: Processos de fabricação e tratamento**. 2ª ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

DECOMAGAZINE. **NTK - O verdadeiro turbilhoador de roscas**. Técnico. 2013. Disponível em: <<http://www.decomag.ch/allcat.php?lg=br&ct=too>>. Acesso em 26 ago. 2015.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MERCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**, 7ª edição. São Paulo: Artiber Editora, 2010. 268 p.

FERES, Fernanda. **TURBILHONADOR GARANTE, precisão em operações instáveis**. O MUNDO DA USINAGEM, São Paulo, Edição 01/2010, 42 p.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo, Edgard Blucher, 1977. 751 p.

FERRARI, Alfredo Vergilio Fuentes. **A EVOLUÇÃO DOS TORNOS AUTOMÁTICOS: DO CAME AO CNC**. São Paulo – SP, 2003. 21 p. Disponível em: <[http://www.tornoautomatico.com.br/downloads/Evolucao\\_tornos.pdf](http://www.tornoautomatico.com.br/downloads/Evolucao_tornos.pdf)>. Acesso em 10 ago. 2015.

JMR. 2015. <<http://image.made-in-china.com/43f34j10WscaQTHrmYzb/Orthopedic-Implant-Trauma-Bone.jpg>>. Acesso em 26 set. 2015.

LOBO, ALFREDO CARLOS ORPHÃO. **Qualidade e produtividade**. 2003. Disponível em: < <http://repositorios.inmetro.gov.br/handle/10926/760> />. Acesso em 12 nov. 2015.

MACHADO, Álisson Rocha; ABRÃO, Alexandre Mendes; COLELHO, Reginaldo Teixeira; SILVA, Márcio Bacci. **Teoria da usinagem dos materiais**. 2. Ed. São Paulo: Blucher, 2011. 397 p. ISBN 978-85-212-0606-4

NBR ISSO 5835. **Implantes para cirurgia – Parafusos ósseos metálicos com conexão para chave hexagonal, parte inferior da cabeça de forma esférica e rosca assimétrica – Dimensões**. Rio de Janeiro, RJ, 1996. 7 p.

PAKMÓVEL. 2015. Disponível em: < <http://www.pakmovel.com.br/categoria/produtos/parafusos/>>. Acessado em 12 out. 2015.

PAULI, Evandro Armini de; ULIANA, Fernando Saulo. **NOÇÕES BÁSICAS DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS - MECÂNICA**. Vitória, Espírito Santo. SENAI – ES, 1996. 137 p.

MESSMER, Peter; PERREN, Stephan M.; SUHM Norbert. **Parafusos**. In.: RÜEDI Thomas P.; BUCKLEY, Richard E.; MORAN Christopher G. **Princípios AO do tratamento de fraturas**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. p.237-248.

UTILIS; MULTIDEC swiss type tools. PRECISION TOOLS FOR THE MICROMECHANICAL AND MEDICAL INDUSTRY. GESAMTKATALOG, 2010.06 DFE – 300720.