

UM ENSAIO SOBRE OTIMIZAÇÃO DA VIDA ÚTIL DA FERRAMENTA DE USINAGEM ATRAVÉS DO MONITORAMENTO DA RUGOSIDADE DA PEÇA.

Victor Higor Ventura¹
André Tavares Gonçalves²

Resumo: O presente artigo aborda a vida útil da ferramenta de usinagem, através do desenvolvimento do estudo. Evidencia-se uma justificativa em fomentar pesquisas e aplicações sobre o assunto, bem como a otimização para um melhor aproveitamento da ferramenta de usinagem. O problema levantado consiste em estabelecer qual o momento certo de se realizar a troca da ferramenta de usinagem, com base na variação da rugosidade da peça produzida na indústria. Os objetivos concentram-se em analisar e descrever a importância de se monitorar o desgaste da ferramenta em uma operação de torneamento com base na variação da rugosidade, e por fim, beneficiar a produtividade e diminuição do desperdício da ferramenta. O artigo desenvolve-se através de uma pesquisa de campo, com abordagem quantitativa, onde a demonstração dos fatos se dá por meio de variáveis, utilizando procedimentos estruturados e instrumentos formais para coleta de dados, utilizando um rugosímetro e um centro de torneamento. Os principais resultados encontrados mostraram que o monitoramento através da variação da rugosidade podem ser aplicados no ramo industrial, uma vez que almeja aumentar a vida útil da ferramenta e diminuir o tempo de máquina parada, ocorridos na troca de ferramenta, pois a aplicação mostrou-se eficiente. Conclui-se que o resultado final do monitoramento da variação da rugosidade é aplicável, uma vez que efetuando este processo, consegue-se um ganho de até 20% na vida útil da ferramenta, ou seja, o monitoramento é totalmente viável e importante para aplicação no ramo industrial, que objetiva melhoria constante no seu processo de usinagem.

Palavras-chave: Usinagem; Torneamento; Rugosidade.

Abstract: This article addresses the machining tool life, through the development of the study, there is a justification in promoting research and applications on the subject, as well as optimization for a better use of the tool. The problem raised is to establish the right time to change the machining tool, based on the variation of the roughness of the part produced in the industry. The objectives are focused on analyzing and describing the importance of monitoring tool wear in a turning operation based on the roughness variation, and ultimately benefiting productivity and reducing tool waste. The article is developed through a field research with a quantitative approach, where the demonstration of the facts is done through variables, using structured procedures and formal instruments for data collection, using a rugosimeter and a turning center. The main results found showed that the monitoring through the roughness variation can be applied in the industrial sector that wishes to optimize the tool life and decrease the machine downtime that occurs during tool change, because the application proved to be efficient. It can be concluded that the final result of the roughness variation monitoring is applicable, once that by performing this process, it is possible to obtain a gain of up to 20% in the tool life, that is, the monitoring is totally applicable and important for application in the industrial branch that aims at constant improvement in its machining process.

Keywords: Machining; Turning; Roughness.

¹ Graduando do curso Engenharia Mecânica, da Faculdade Ciências da Vida, campus Z. Vhventura15@hotmail.com

² Mestre em Matemática Pura; Professor do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Ciências da Vida. andresetelagoas@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Leite *et al* (2017), os processos de melhoria de qualidade têm crescido gradativamente, sendo que, atualmente, 100% deste processo é feito pela usinagem, atuando diretamente no comércio de máquinas e ferramentas, representando uma das grandes fatias da riqueza mundial.

O centro de torneamento vem com propósito de melhoria contínua na produção de grande escala, reduzindo a minutos um processo que levaria horas ou até dias para ser finalizado, representando assim a evolução da engenharia no âmbito industrial. (LEITE *et al*, 2017).

No processo de usinagem, o conhecimento sobre as ferramentas permite ao operador um maior controle sobre a análise do real desgaste e vida útil da ferramenta de usinagem. Na grande maioria das empresas, são utilizadas ferramentas com vida útil já estipulada pelo fornecedor, indicando o momento certo de efetuar a substituição. Porém, há casos em que a pastilha não se encontra em um desgaste real, que necessitasse realmente de troca, o que apresenta uma grande variação, ocasionando uma perda direta na produção, sendo que mais peças poderiam estar sendo produzidas neste intervalo de tempo.

Um dos grandes responsáveis da improdutividade é o tempo, cuja máquina se encontra parada para a troca de ferramenta de corte. Isso faz com que a vida útil da ferramenta seja um fator relevante, tanto econômico quanto produtivo no processo de usinagem (HESSER, 2019).

Quando ocorre o desgaste de uma ferramenta de corte, são apresentadas variáveis que demonstram mudanças perceptíveis no processo. Uma vez que tais mudanças aparecem no aumento de força da máquina, é necessário efetuar a operação de desbaste, que influencia na qualidade de acabamento da superfície que está sendo usinada e na variação dimensional da peça (HOPKINS *et al.*2019; PRADO *et al.* 2017).

Como maneira de buscar melhor eficiência no aumento da produtividade, surge a possibilidade de pesquisar o desenvolvimento de tecnologias que possam permitir a maneira mais prática e econômica para saber o momento certo de se efetuar a substituição da ferramenta.

Para justificar o problema de pesquisa supracitado, considera-se que o objetivo geral é analisar os resultados frente à possibilidade de otimização da vida útil da ferramenta, monitorando o desgaste dessa ferramenta em uma operação de torneamento com base na

variação da rugosidade. Os objetivos específicos são: descrever a variação da rugosidade da peça decorrente do desgaste da ferramenta, analisar a variação da vida útil da ferramenta em comparação à estipulada pelo fabricante, e por fim, demonstrar os benefícios de se efetuar o monitoramento em tempo real.

Para alcançar os objetivos destacados foi realizada uma pesquisa quantitativa, efetuando uma pesquisa de campo para coleta de dados e exemplificação da aplicabilidade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Acabamento superficial

A qualidade de uma peça feita pelo processo de usinagem é caracterizada por seu acabamento superficial, no qual é medido baseando-se nos parâmetros da rugosidade média, utilizado na análise de variação da textura da superfície usinada (KIKUKAWA et al, 2019).

Dessa forma, a rugosidade superficial é expressa em micron (um micron equivale à milésima parte do milímetro, sendo portanto um milionésimo do metro, tendo como símbolo a letra grega μ - mi), que refere-se a uma análise geométrica dos desvios da superfície real, seguindo parâmetros de linha média, que se baseia em uma linha paralela na direção do perfil e outra no comprimento amostral, de tal forma que a soma das arestas superiores contidas entre elas e o perfil efetivo seja igual à soma das áreas inferiores, no comprimento L (HAMMES et al, 2016). Para melhor entendimento e visualização, segue figura 1.

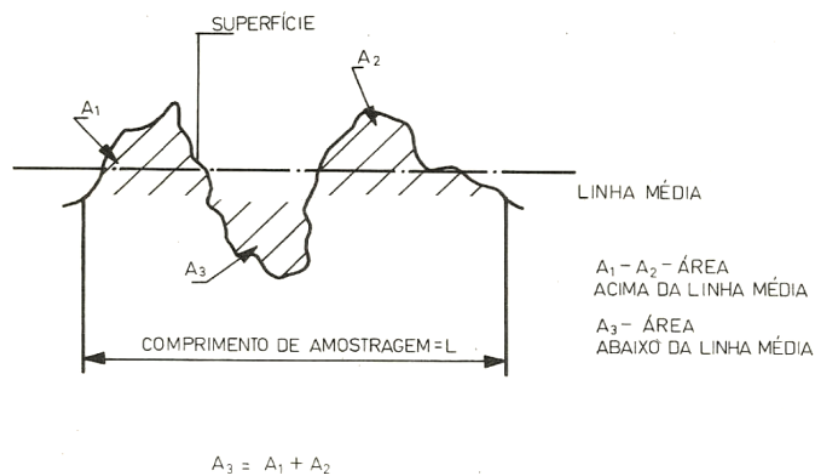


Figura 1: Linha média
Fonte: (HAMMES et al, 2016).

Desta forma, a rugosidade pode ser estabelecida em diferentes padrões de medição, tornando-se os principais parâmetros Ra, Ry e Rt, uma vez que comparados seus valores medidos, apresentam medições distintas. A Rugosidade Média (Ra) é uma média aritmética de valores absolutos do contorno permanente, relacionando a linha média em uma distância de amostragem. A Rugosidade Máxima (Ry) define-se pelos maiores valores parciais de Z, obtidos na trajetória mensurada. E a Rugosidade Total (Rt) corresponde à desigualdade entre o pico mais elevado e o vale mais profundo entre o comprimento avaliado (HAMMES et al, 2016, BRANDÃO, 2019). A figura 2, a seguir, ilustra os parâmetros de rugosidade citados.

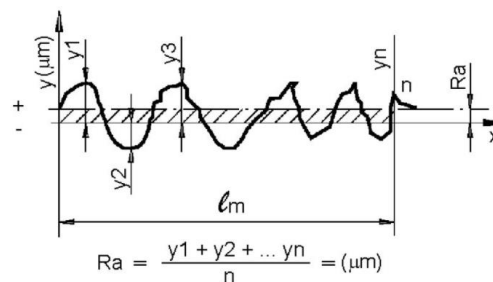


Figura 2: Parâmetros de rugosidade
Fonte: (HAMMES et al, 2016).

2.1.1 Classes da rugosidade Ra

A Norma NBR 8404/1984 de indicação do estado de superfícies de acabamento em Desenhos Técnicos menciona que a característica primordial da rugosidade Ra, em valores, pode ser apontada pelos números da classe de Rugosidade Equivalente (TELECURSO 2000 METROLOGIA, 2000, cap. 19), conforme expresso na tabela 1:

CLASSE DE RUGOSIDADE	RUGOSIDADE RA (valor em mm)
N12	50
N11	25
N10	12,5
N9	6,3
N8	3,2
N7	1,6
N6	0,8
N5	0,4
N4	0,2
N3	0,1
N2	0,05
N1	0,025

Tabela 1 : Classes da rugosidade
Fonte : (TELECURSO 2000 METROLOGIA, 2000, cap. 19)

2.1.2 Simbologia da rugosidade referente aos processos de usinagem

Normalmente as indústrias mecânicas utilizam doze grupos para a classificação dos acabamentos superficiais, que são separados de acordo com a qualidade da rugosidade e seu respectivo processo de usinagem. Além disso, uma relação acerca da simbologia de triângulos é caracterizada de acordo com as categorias e os valores de Ra, conforme destaca a tabela 2:

Grupos de rugosidades	▽			▽▽			▽▽▽			▽▽▽▽		
Rugosidade máxima valores em Ra(μm)	50			6,3			0,8			0,1		
Classes de rugosidade (GRADE)	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
Rugosidade máxima valores em Ra(μm)	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
Informações sobre os resultados de usinagem												
Serrar	[Barra com hachuras para desbaste superior]											
Limar	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com usinagem comum]											
Plainar	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais]											
Tornear	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com usinagem comum]											
Furar	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais]											
Rebaixar	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com usinagem comum]											
Alargar	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais]											
Fresar	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com usinagem comum]											
Brochar	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais]											
Raspar	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com usinagem comum]											
Retificar(frontal)	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais]											
Retificar(lateral)	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais]											
Alisar	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com usinagem comum]											
Superfinish	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais]											
Lapidar	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais]											
Polir	[Barra com hachuras para rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais]											

[Barra com hachuras para desbaste superior]
 [Barra com hachuras para rugosidade realizável com usinagem comum]
 [Barra com hachuras para rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais]

Tabela 2: Simbologia da rugosidade

Fonte : (TELECURSO 2000 METROLOGIA, 2000, cap. 19)

2.2 Ângulo de corte de ferramenta de metal duro

As ferramentas de corte apresentam materiais com diferentes combinações de dureza e resistência ao desgaste, divididas em diversas classes com propriedades específicas (SANDVIK, 2016).

Considerando a enorme influência da geometria de uma ferramenta de corte, pode-se apontar que, mesmo sendo de um ótimo material, a ferramenta que não possui o ângulo certo de corte jamais conseguirá exercer adequadamente o desempenho para o qual foi designada. Contudo, o desempenho da ferramenta é definido pela sua capacidade de corte, referente à qualidade da geometria e aos valores dos ângulos feitos pelo projeto (PAIVA et al, 2017).

De acordo com Dino Ferrarezi (2018), os ângulos de uma ferramenta podem ser positivos ou negativos, dependendo do plano de referência a ser usinado, definidos como:

- Ângulo de posição (χ_r): encontra-se entre o plano de corte e o plano de trabalho, que é medido na parte superior do plano de referência e sempre positivo, localiza-se fora da cunha de corte.
- Ângulo de posição secundário ($\chi'r$): encontra-se no plano de corte secundário e o plano de trabalho, sendo positivo e localizado fora da cunha de corte.
- Ângulo de ponta (ϵ_r): encontra-se no plano de corte principal e secundário, medido na parte superior do plano de referência.
- Ângulo de inclinação (λ_s): encontra-se na aresta de corte e o plano de referência, medido na parte superior do plano de corte, sendo um ângulo agudo.
- Ângulo de saída (γ): encontra-se na superfície de saída e o plano de referência, medido na parte superior do plano ortogonal, influenciando no acabamento e calor gerado pelo processo.
- Ângulo de cunha (β): encontra-se na superfície de saída e de folga, medido na parte superior do plano ortogonal.
- Ângulo de folga (α): encontra-se na superfície de folga e o plano de corte, medido na parte superior do plano ortogonal, feito para evitar atrito entre a peça e a superfície de folga da ferramenta.

Os ângulos descritos são equacionados da seguinte forma:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

$$\chi_r + \epsilon_r + \chi'r = 180^\circ$$

2.3 Desgaste da ferramenta

As ferramentas de usinagem sofrem constante deformação em suas extremidades por serem expostas a grandes esforços, porém elas possuem uma tolerância de desgaste a ser seguida, para que não haja uma usinagem ineficaz. Os desgastes de flancos inferiores têm que

estar entre 0,15mm para operações de acabamento e 0,40mm para operações de desbaste (JUNIOR et al, 2020), conforme ilustra a figura 3, a seguir.

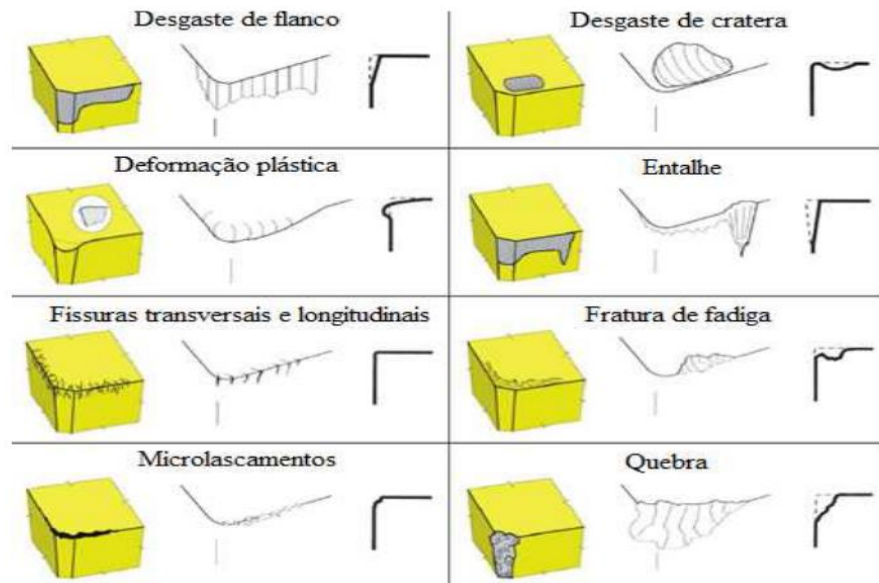


Figura 3: Diferentes tipos de desgaste de ferramenta de metal duro
Fonte: (JUNIOR et al, 2020).

Um dos grandes responsáveis do desgaste da ferramenta são as altas temperaturas a qual elas são submetidas. O que ocorre é uma deformação plástica que acontece no plano de cisalhamento primário, que é a região entre o cavaco produzido e a peça. O motivo dessas altas temperaturas são as altas velocidades de rotação da peça em contato com a ferramenta, podendo chegar a 18000rpm (rotações por minuto), sendo que em todo o trabalho realizado pela usinagem 90% se converte em calor (COELHO et al,2019). A figura 4, a seguir, apresenta uma ilustração da geração de calor e distribuição de temperatura.

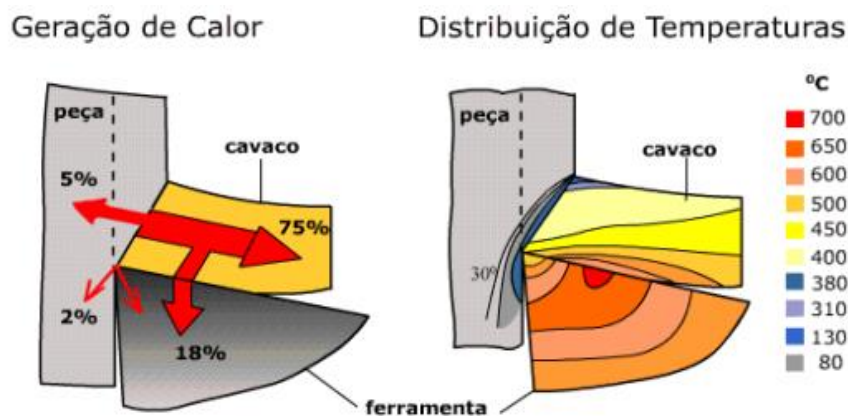


Figura 4: Geração de calor na zona primaria
Fonte: (COELHO et al, 2019)

2.3.1 Influência do número de paradas pelo desgaste de ferramenta

Observa-se que, quando uma ferramenta é trocada, gera-se uma parada da máquina, e conseqüentemente, um período improdutivo. Atualmente nas empresas existe uma operação denominada pré-ajustagem de ferramenta, que consiste no ajuste da ferramenta no momento da troca. Isso gera aproximadamente 50% de paradas no tempo disponível da máquina, impactando diretamente na redução da produtividade (EVANGELISTA et al, 2018).

A partir dessa informação, uma possibilidade exequível não é diminuir o tempo de troca da ferramenta, mas sim a quantidade de trocas, pois, a partir do momento em que usa-se a ferramenta até seu real desgaste, conseqüentemente diminui-se as quantidades de troca, assim como a pré-ajustagem de ferramentas (EVANGELISTA et al, 2018).

3. METODOLOGIA

A fundamentação teórica se deu através de artigos científicos, em sua maioria atuais, que registram estudos desenvolvidos com as tecnologia mais modernas. A pesquisa desenvolvida foi descritiva e a análise dos dados foi realizada com o auxílio de instrumentos estatísticos, visando efetuar a descrição e análise dos dados dos processos mecânicos abordados (LAKATOS, 2010).

A pesquisa de campo se estabeleceu através da coleta de dados em uma empresa de usinagem situada em Sete Lagoas – MG. Referente à pesquisa quantitativa, o levantamento e a coleta dos dados se deu por meio de variáveis mensuráveis, utilizando-se procedimentos estruturados e instrumentos formais (ANDRADE et al, 2003).

Como instrumentação técnica foi utilizado um Rugosímetro para analisar as variações decorrentes do desgaste da ferramenta. Também foi utilizado um Centro de Torneamento em que as peças foram produzidas e serviram como objeto deste estudo.

3.1 Centro de torneamento QUICK TURN 150 SG

As figuras 5, 6 e 7 mostram diferentes faces do modelo do Centro de Torneamento utilizado para realizar a usinagem do ensaio.

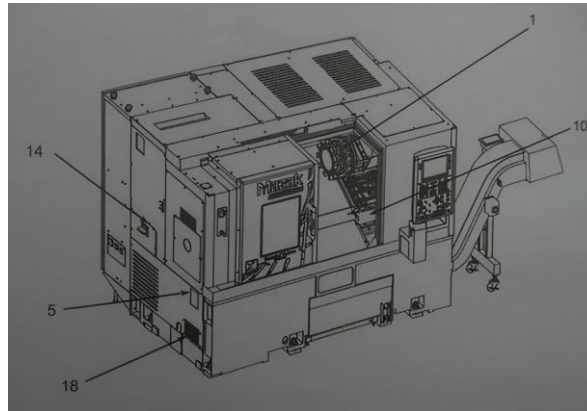


Figura 5: Componente de maquinas (1/3)
Fonte: Manual de instruções QUICK TURN 150 SG.

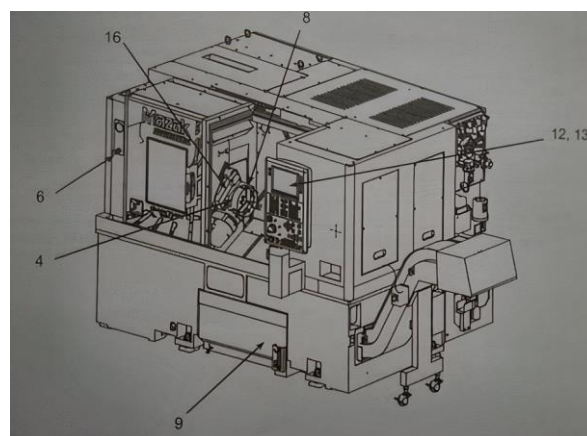


Figura 6: Componente de maquinas (2/3)
Fonte: Manual de instruções QUICK TURN 150 SG.

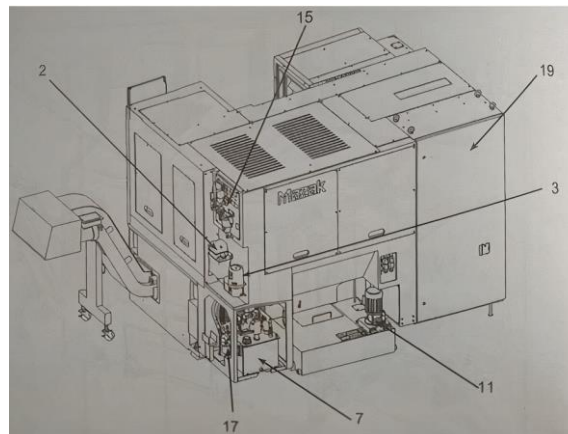


Figura 7: Componente de maquinas (3/3)
Fonte: Manual de instruções QUICK TURN 150 SG.

Todos os experimentos foram realizados no Centro de Torneamento QUICK TURN 150 SG. Os Centros de Usinagem são normalmente usados para usinagem de peças que exigem alta precisão, grandes quantidades de fabricação, processos múltiplos e formatos complexos. Principalmente nas indústrias de transformação, como Indústria Bélica, Indústria Aeroespacial, Indústria de Motores, Indústria de Moldes, de Instrumentos, de Medidores,

entre outras, este tipo de máquina é empregada para lotes pequenos e médios, além de ser aplicada na execução automática da produção de lotes de peças (MANUAL DE INSTRUÇÕES, QUICK TURN 150 SG). Na tabela 1 são mostrados os principais dados técnicos da máquina.

N°	Nome	N°	Nome
1	Torre	11	Bomba de líquido de arrefecimento
2	Unidade de lubrificação de óleo	12	Painel de interface USB
3	Unidade de lubrificação de graxa	13	Painel operacional
4	Fuso	14	Disjuntor principal
5	Unidade de resfriamento do fuso	15	Unidade pneumática
6	Botão de ajuste de pressão do mandril (pressão do mandril)	16	Olhal da ferramenta
7	Unidade hidráulica	17	Manômetro (pressão principal)
8	Mandril	18	Unidade de resfriamento de fresagem
9	Tanque de líquido de arrefecimento	19	Gabinete de controle elétrico
10	Cabeçote móvel traseiro	-	-

Tabela 3: Principais especificações técnicas da máquina CNC
 Fonte: Manual de instruções QUICK TURN 150 SG.

3.2 Rugosímetro SURFTEST SV-2000

O objetivo do ensaio foi obter dados sobre a rugosidade da superfície torneada e, dessa forma, analisar os dados e desenvolver o estudo. Para análise dos dados foi utilizado um Rugosímetro Surf test SV-2000 (figura 8), uma vez que oferece medições precisas de superfícies planas, contendo ajuste de altura e dimensões de base. A tabela 2 mostra as especificações de resolução e cursores, considerando que o parâmetro utilizado para medição da rugosidade foi o $Ra(\mu m)$.



Figura 8: Surf test SV-2000
 Fonte: CATALOG No. E4222-178

Especificações				
Curso do sensor	Resolução	Curso (eixo X)	Cut-Off Mínimo	Desvio de retitude
800 μm	0,0001 μm	50 mm	0,025 mm	0,3 $\mu\text{m}/50$ mm

Tabela 2: Especificações

Fonte: CATALOG No. E4222-178

3.3 Inseto de metal duro

O inserto de metal duro utilizado foi da classe T para aço carbono e de liga, aço inoxidável, revestido de carboneto MC 7015, fabricado pela Mitsubishi, especificação TNMG160408-LM TNMG332LM MC7015. As geometrias da ferramenta de corte utilizada, como Espessura (S), Ângulo de Corte (EPSR), Raio de Canto (RE) e Diâmetro do Círculo Inscrito (IC) estão representadas, a seguir, na figura 9.

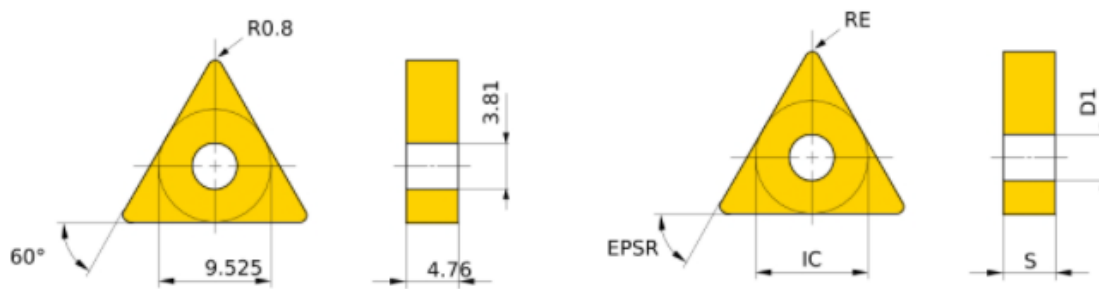


Figura 9: TNMG160408-LM

Fonte: MITSUBISHI MATERIAIS

4. ANÁLISE DE DADOS

Em relação ao grau de acabamento da peça em estudo, foi utilizado o parâmetro de rugosidade R_a , uma vez que este é considerado uma importante dado para o controle de peças numa produção, além de ser utilizado em todo o mundo, pois os riscos inerentes ao processo não alteram substancialmente o seu valor para a maioria das superfícies (METROLOGIA, 2000, cap. 19).

Por se tratar de um processo de torneamento, a classe abordada pelo estudo foi a N7, sendo que o valor da rugosidade pode alcançar até 1,6 μm . Levando-se em consideração que o valor da rugosidade da peça aumenta gradativamente conforme a ferramenta sofre o desgaste, pode-se afirmar que, após cada ciclo da máquina, a ferramenta chega mais perto de alcançar

sua vida útil, ou seja, ocorre a fragmentação. Nesse sentido, foram utilizados 150 ciclos como valor base para ensaio, determinado a partir de especificações do fabricante.

Assim, aplicando-se o conceito de que a rugosidade aumenta no decorrer do uso da ferramenta, foram analisadas as variações quantitativas da rugosidade de cada peça, em intervalos de 10 peças produzidas. Para esse desenvolvimento, foram utilizadas as quatro máquinas das seis disponíveis na empresa.

A tabela 1 a seguir demonstra detalhadamente a variação da rugosidade pela quantidade de peças que cada máquina produziu, ou seja, cada ciclo equivale a uma peça produzida pela máquina, sem a troca da ferramenta até a ocorrência de microlascamentos. A linha destacada em vermelho refere-se ao parâmetro de 150 ciclos, especificados pelo fabricante.

Número de ciclos	Ra(μm) Maquina 1	Ra(μm) Maquina 2	Ra(μm) Maquina 3	Ra(μm) Maquina 4
1	0,407	0,505	0,755	0,779
150	0,906	0,903	0,834	0,939
160	0,947	0,952	0,89	0,956
170	0,934	0,979	0,964	0,967
180	0,909	0,991	0,961	0,977
190	0,99	1,02	0,955	1,15
200	1,054	1,061	1,09	1,138
210	1,102	1,089	Microlascamentos	1,201
220	Microlascamentos	1,11	Microlascamentos	Microlascamentos
230	Microlascamentos	Microlascamentos	Microlascamentos	Microlascamentos

Tabela 3: Número de ciclos
Fonte: elaborado pelo autor

A rugosidade da primeira peça produzida foi medida para se obter o parâmetro inicial, visto que, ao produzir 150 peças, a pastilha ainda se encontrava em perfeito estado. Desse modo foi acompanhado a rugosidade da peça até a mesma apresentar microlascamentos, o que impossibilitava a produção de novas peças com acabamento superficial adequado.

A máquina 1 apresentou a menor rugosidade inicial, apresentando um ótimo acabamento mesmo depois de produzir 180 peças, chegando a produzir 210 peças sem que a ferramenta apresentasse microlascamentos, o que representa um ganho de 40%.

A máquina 2 foi a que produziu maior número de peças, produzindo um total de 220 peças, já a máquina 3 foi a que produziu em menor quantidade, alcançando a produção de 200 peças, com uma rugosidade de 1,09 μm , e por fim a máquina 4, que apresentou uma produção

semelhante a da máquina 1, com a ferramenta manifestando microlascamento logo após ultrapassar a rugosidade de $1,201 \mu\text{m}$.

Na figura 10 é mostrada a ferramenta da máquina 5 com microlascamentos, logo após ultrapassar a rugosidade de $1,201 \mu\text{m}$. Nesta situação específica, foi produzido um total de 210 peças.



Figura 10: Microlascamentos
Fonte : Elaborado pelo autor

Depois de comparar todas as rugosidades de cada peça produzida pelas quatro máquinas, nota-se que todas elas demonstraram uma rugosidade adequada, no mínimo, com 180 ciclos, sendo que algumas chegaram até 200 ciclos sem ultrapassar o valor de $1,2 \mu\text{m}$. No gráfico 1 é mostrada a linha crítica, onde analisa-se que, logo após as máquinas produzirem mais de 180 peças, suas rugosidades oscilam de forma desconforme, explanando que há uma variação de uma máquina para outra, mesmo sendo do mesmo modelo. Isto confirma que não pode ser dado um valor padrão de troca para todas as máquinas, mas como forma de atingir uma margem de segurança, o valor de $1 \mu\text{m}$ se mostra ideal, pois todas as peças produzidas até este valor apresentaram uma rugosidade uniforme e adequada com as especificações e características ideais de qualidade.

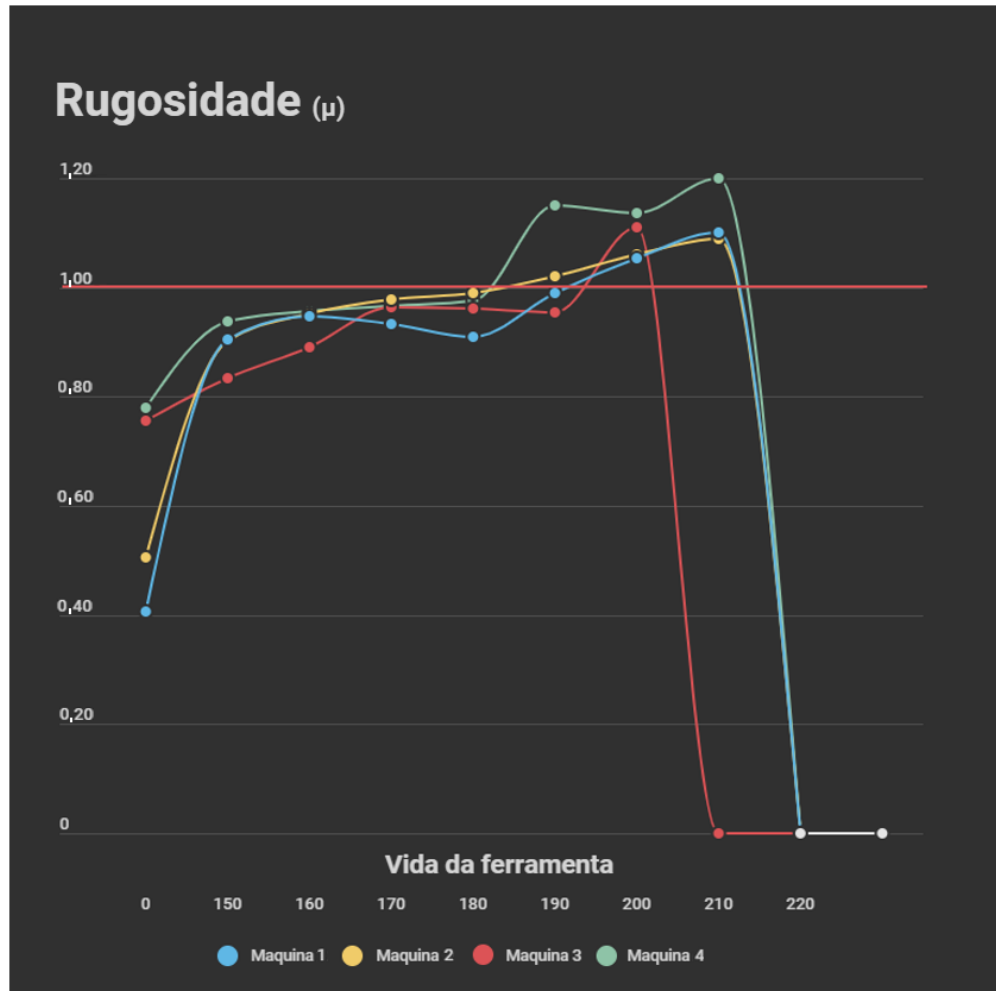


Gráfico 1: Variação da Rugosidade
Fonte: Elaborado pelo autor

Com esses resultados, percebe-se que, ao final dos ensaios e comparação das variações, a ferramenta pode ser utilizada até os 180 ciclos com segurança, já que todas as quatro máquinas demonstraram uma rugosidade uniforme de até 1 μ m, tendo como ganho 30 peças a mais antes da troca da ferramenta, quando comparadas às especificações do fabricante. A produção por turno é de 300 a 320 peças, considerando que a cada troca da ferramenta, cada máquina fica parada por cerca de 15 minutos, na pré ajustagem, totalizando uma hora na improdutividade da indústria.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com finalidade de otimizar a vida útil da ferramenta de usinagem, através do monitoramento da rugosidade, foi possível concluir que há uma grande variação de uma máquina para outra, logo após o número de ciclos ultrapassar o estabelecido pelo fabricante. Todas as máquinas ultrapassaram o valor estipulado pelo fabricante, apresentando uma qualidade superficial satisfatória. Mesmo levando em consideração a diferença de variação da rugosidade entre as máquinas, o monitoramento prova que é possível saber o real momento de se efetuar a troca da ferramenta, prolongando assim os tempos de troca.

A solução encontrada neste ensaio foi chegar a um número de ciclos ideal, em que todas as máquinas coincidiram, para assim ter uma margem de segurança, e dessa forma evitar microlascamentos inesperados na ferramenta da máquina. Sendo assim, é possível acompanhar a variação da rugosidade a partir dos 150 até os 180 ciclos, visto que todas as quatro máquinas apresentaram uma proximidade no valor da rugosidade, parametrizado em $1,00 \mu\text{m}$. Adotando-se o novo valor de troca da ferramenta para 180 ciclos, cada turno terá 1 hora a mais na sua produção, pois ao efetuar a primeira troca da ferramenta, a segunda só será efetuada a 360 peças produzidas, diminuindo o tempo de máquina parada e pré ajustagem da ferramenta.

Este trabalho foi feito a partir de testes em quatro máquinas, não sendo utilizada na indústria todas as seis disponíveis, para não comprometer a produção do processo. Para melhor resultado e verificação da possível otimização, é necessário um estudo mais abrangente, aplicado em um maior número de máquinas.

Considerando-se que as indústrias de usinagem de Classe Mundial possui como um de seus objetivos a diminuição do tempo em que máquinas encontram-se improdutivas, conclui-se que o presente estudo desenvolvido através do monitoramento e otimização da rugosidade de peças fabricadas a partir de ferramentas e máquinas específicas concerne com a demanda dessas organizações, uma vez que foi mensurado o real momento de troca da ferramenta, sendo este um valor quantitativo além do especificado pelo fabricante, sugerindo uma substancial redução de tempo de parada das máquinas e melhor produtividade das ferramentas utilizadas no processo industrial.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Marina; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. (5ª Edição), São Paulo: Atlas S.A. 2003, p. 165-166. Disponível em: http://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india/vie

BENINI, Lucas; ROSSI, Mauro Alberto Castheloge. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RUGOSIDADE DO AÇO ABNT 1020 TORNEADO COM FERRAMENTAS DE MATERIAL DURO. **Journal Of Chemical Engineering And Chemistry**, [s.l.], v. 2, n. 4, p. 22-24, 19 dez. 2016. Universidade Federal de Vicosa. <http://dx.doi.org/10.18540/2446941602042016022>.

BRANDÃO, Guilherme Lopes; SILVA, Pedro Márcio do Carmo; VIEIRA, Jessica Tito; SANTOS, Camilo Lellis dos; BRANDÃO, Lincoln Cardoso. Análise dos micros erros no torneamento externo do aço 4340 considerando o comprimento de fixação das peças. **Brasiliana Jornal Off Development**, [s.l.], v. 5, n. 6, p. 6341-6355, 2019. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv5n6-138>.

BRASIL. **A Bibliote Virtual do Estudante Brasileiro – Telecurso 2000**. Disponível em: <file:///C:/Users/vhven/OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/aula19_ParametrosDeRugosidade.pdf >. Acesso em: 20 jun. 2021.

COELHO, Rodrigo Dias Nunes; BRITO, Rogério Fernandes; SILVA, Sandro Metrevelle Marcondes de Lima e. Análise térmica de processos de usinagem variando os tipos de revestimentos da ferramenta de corte. **Research, Society And Development**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. 46911572, 1 jan. 2020. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1572>.

CORPORATION, YAMAZAKI MAZAK. **MAINTENANCE MANUAL. MAZATROL SmoothC**, CONSTRUÇÃO DA MÁQUINA – HB71SG0034BP, Singapura, 1-5, 1-6, 2017
EVANGELISTA, Gabriela Moraes Simões; VIEIRA JUNIOR, Milton; SIMON, Alexandre Tadeu; CORRER, Ivan. Impacts of tool preset operation on the efficiency of the machining process. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 283-299, 1 mar. 2019. A Fundacao para o Desenvolvimento de Bauru (FunDeB). <http://dx.doi.org/10.15675/gepros.v14i1.2132>.

HAMMES, Jonas Müller; ROSA, Ariane Ferreira Porto; WALKER, Eduardo. Optimization of Surface Finish in Cylindrical External Turning a SAE 1045 steel. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, [s.l.], v. 12, n. 2, p. 138-156, 1 jun. 2017. A Fundacao para o Desenvolvimento de Bauru (FunDeB). <http://dx.doi.org/10.15675/gepros.v12i2.1640>

JUNIOR, VIDAL et al. Braço robótico para posicionamento de um sistema de visão artificial para monitorar desgaste de flanco da ferramenta de usinagem de um torno convencional. **The journal of engineering and Exact Sciences – jCEC**, [s.l.], v.06, n. 1, p. 71-82, 20 fev. 2020. DOI: 10.18540/jcecv16iss1pp0071-0082

LAKATOS, E. M. Publicações científicas. In.: **Fundamentos de metodologia científica**. (7. Ed.) São Paulo: Atlas, 2010, p. 242-246. Disponível em: <https://br.librosintinta.in/fundamentos-da-metodologia-cientifica-7-edi%C3%A7%C3%A3o-pdf.html>

LEITE, LEITE et al. Proposta de melhoria para aumento de produtividade em um centro de torneamento. **Navus revista de gestão e tecnologia**, [S.1], v.8, n.3, p. 113-125, Jul/Set 2018. <http://dx.doi.org/10.22279/navus.2018.v8n3.p113-125.639>

MAGRI, Aristides; GATAMORTA, Fábio; DINIZ, Anselmo Eduardo; SUYAMA, Daniel Iwao. Estudo do processo de furação de aço SAE 4340 com uso de pastilhas intercambiáveis de metal duro. **Sínteses**: Revista Eletrônica do SIMTEC, [s.l.], n. 6, p. 91, 27 out. 2016. Universidade Estadual de Campinas. <http://dx.doi.org/10.20396/sinteses.v0i6.8244>.

SANTOS, Cauduro et al. Medição das forças de usinagem no processo de torneamento através da medida das tensões cisalhantes, **Perspectiva da ciência e tecnologia**, [S.1], v.10, n.3, p.98-109, agosto 2018. <http://dx.doi.org/10.22407/1984-5693.2018.v10.p.98-109>