



CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS INDICADORES DE DESGASTE DA FERRAMENTA DE CORTE NO TORNEAMENTO DO AÇO ABNT 1045

Henrique Ajuz Holzmann

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava

Géssica Katalyne Bilcati

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava

Aldo Braghini Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa

RESUMO: O processo de usinagem, especialmente o torneamento, é caracterizado por fenômenos como a formação de cavacos, a qualidade superficial, o desgaste da ferramenta de corte e variações dimensionais. Este trabalho teve como objetivo estudar a relação entre os diferentes critérios de fim de vida útil de ferramentas de corte no processo de torneamento. A metodologia empregada incluiu a realização de ensaios de torneamento externo em etapa de acabamento, utilizando dois materiais de peça: aço ABNT 1045 fundido ligado e aço ABNT 1045 laminado. Os testes foram conduzidos em duas condições distintas: com e sem a aplicação de fluido de corte. Durante os ensaios, foram medidos e analisados o desgaste de flanco da ferramenta, a rugosidade superficial da peça, a variação dimensional e a análise visual do cavaco formado. Os resultados obtidos revelaram que o uso de fluido de corte promoveu maior estabilidade e consistência nos resultados. Nos ensaios com fluido, o desgaste de flanco seguiu um aumento linear, enquanto a rugosidade, embora tenha aumentado, manteve-se em níveis de crescimento menores, facilitando o corte. A variação dimensional da peça também apresentou um aumento gradual e mais controlado. A análise do cavaco demonstrou que sua forma foi mais constante e uniforme. Em contrapartida, os ensaios realizados a seco apresentaram um comportamento mais irregular. O desgaste de flanco não seguiu um padrão linear, com uma potencialização significativa do desgaste ao final do teste. A variação dimensional mostrou um crescimento irregular devido às condições de corte mais difíceis, e a forma do cavaco foi menos constante. Em conclusão, os dados indicam que o uso de fluido de corte proporciona maior previsibilidade, permitindo

que critérios como rugosidade e variação dimensional sejam utilizados de forma mais confiável para determinar o fim da vida útil da ferramenta. O tempo efetivo de corte também se mostrou um fator determinante, já que a faixa de tempo dos ensaios foi similar em ambas as condições.

PALAVRAS-CHAVE: Desgaste, Ferramenta de corte, Fluido de corte.

ANALYSIS OF CUTTING TOOL WEAR INDICATORS IN THE TURNING OF ABNT 1045 STEEL

ABSTRACT: The machining process, particularly turning, is characterized by phenomena such as chip formation, surface quality, cutting tool wear, and dimensional variations. This study aimed to investigate the relationship between the different criteria for the end of cutting tool life in the turning process. The methodology included conducting external turning tests in the finishing stage, using two workpiece materials: cast alloy ABNT 1045 steel and rolled ABNT 1045 steel. The tests were performed under two distinct conditions: with and without the application of cutting fluid. During the trials, the tool's flank wear, the workpiece's surface roughness, dimensional variation, and a visual analysis of the formed chip were measured and analyzed. The results revealed that the use of cutting fluid promoted greater stability and consistency in the outcomes. In the tests with fluid, flank wear followed a linear increase, while roughness, although it increased, remained at lower growth levels, which facilitated the cutting. The workpiece's dimensional variation also showed a more gradual and controlled increase. The chip analysis demonstrated that its shape was more constant and uniform. In contrast, the dry cutting tests showed a more irregular behavior. The flank wear did not follow a linear pattern, with a significant intensification of wear towards the end of the test. Dimensional variation showed irregular growth due to more difficult cutting conditions, and the chip's shape was less consistent. In conclusion, the data indicates that the use of cutting fluid provides greater predictability, allowing criteria such as roughness and dimensional variation to be used more reliably to determine the end of a tool's life. The effective cutting time also proved to be a determining factor, as the time range of the tests was similar in both conditions.

KEYWORDS: Wear, Cutting tools, Cutting fluid

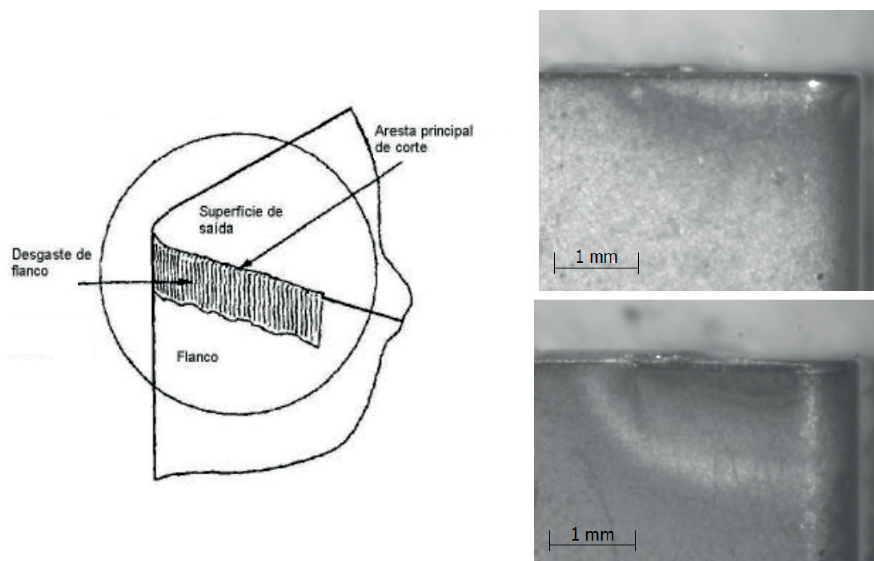
INTRODUÇÃO

A usinagem tem passado por diversas transformações impulsionadas pela competitividade do mercado e pela busca contínua por qualidade. A redução dos custos de produção é uma meta diária para as empresas, o que exige o aprimoramento dos processos produtivos, equilibrando os fatores de prazo, custo e qualidade.

Essa busca por otimização visa a redução do custo final do produto através do aumento da produção em larga escala e do uso mais eficiente de ferramentas de corte e energia. Pesquisas têm recebido investimentos crescentes com o objetivo de melhorar processos e reduzir custos. A eficiência dos equipamentos e as condições de usinagem são cruciais para o custo final, levando à utilização de máquinas mais modernas, treinamento de pessoal e estudos sobre a durabilidade dos materiais. Uma programação das atividades também é importante para a obtenção do produto (KALPAKJIAN, SCHMID e WERNER, 2011; TRENT e WRIGHT, 2000).

O custo de um lote de peças está diretamente relacionado ao tempo de fabricação, que inclui desde a preparação do material e da máquina até a distribuição do produto final. O tempo gasto na substituição da ferramenta de corte e as paradas de máquina para trocas prematuras são fatores de custo relevantes. O tempo utilizado na substituição do inserto tem influência no custo final e deve ser considerado como um fator de relevância. Para determinar o fim da vida útil de uma ferramenta de corte, vários critérios são empregados, como falha total da ferramenta, desgaste de flanco, vibrações, acabamento superficial, formação de cavacos, alteração dimensional da peça e forças de corte. Nas indústrias, os métodos mais comuns para estimar o fim da vida útil da ferramenta são a rugosidade final (para operações de acabamento), o tipo de cavaco formado e as variações dimensionais da peça.

Figura 1 – a) Representação esquemática do desgaste de flanco, b) Início do desgaste do inserto de corte - 1 min e c) Gume do inserto de corte já desgastado - 14 min.



Fonte: Adaptado de AMORIN, 2002.

No entanto, a utilização isolada desses métodos nem sempre fornece uma avaliação precisa sobre o fim da vida útil da ferramenta. A medição do desgaste de flanco, conforme mostrado na Figura 1, é o parâmetro que melhor caracteriza a vida da ferramenta, mas sua medição é complexa em um ambiente de produção. Embora a medição de rugosidade e dimensões seja importante para atender aos requisitos do projeto, ela não garante a máxima utilização da ferramenta (KNIGHT e BOOTHROYD, 2005; TRENT e WRIGHT, 2000).

A avaliação do cavaco é de fácil visualização, mas sua subjetividade limita a precisão do diagnóstico. O desafio reside em encontrar um método de análise que seja de fácil aplicação, rápido e confiável para indicar o fim da vida útil da ferramenta. Esses métodos são mais confiáveis em processos de torneamento CNC, onde falhas de operador são minimizadas e não há interrupção do padrão de desgaste (SHAW e COOKSON, 2005; TRENT e WRIGHT, 2000).

O presente trabalho busca realizar um estudo comparativo entre a rugosidade superficial, a variação dimensional da peça e a forma do cavaco em relação ao desgaste de flanco no processo de torneamento de aços ABNT 1045 obtidos de duas maneiras, fundido e laminado.

MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

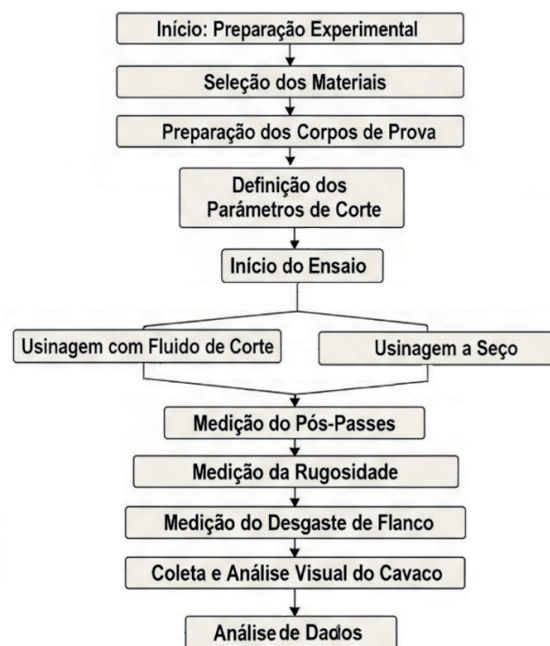
Este estudo empregou dois tipos de corpos de prova: aço ABNT 1045 fundido ligado e aço ABNT 1045 laminado. Ambos os materiais apresentaram a seguinte composição química: 98,64% de Ferro, 0,72% de Manganês, 0,45% de Carbono, 0,04% de Enxofre e 0,15% de outros elementos. As amostras não foram submetidas a tratamento térmico. O aço fundido possuía dureza de $88,5 \pm 0,5$ Rockwell B, enquanto o aço laminado apresentava $95 \pm 0,5$ Rockwell B. As medições de dureza foram obtidas a partir de cinco pontos no diâmetro externo, com espaçamento de 120° entre as posições. Ambos os corpos de prova tinham dimensões de 440 mm de comprimento e 120 mm de diâmetro.

Procedimento Experimental

Os ensaios consistiram no torneamento longitudinal externo de acabamento. Os parâmetros de corte foram baseados no catálogo do fabricante da ferramenta e definidos como: avanço (f) de 0,15 mm/volta, profundidade de corte (ap) de 1 mm e velocidade de corte (vc) de 250 m/min.

Antes dos ensaios, a máquina foi pré-aquecida por aproximadamente 1 hora em vazio para mitigar variações dimensionais. Ao final de cada conjunto de passes, foram realizadas as seguintes ações: Coleta do cavaco para análise visual, Medição do diâmetro da peça, Medição do desgaste de flanco do inserto, Medição da rugosidade da peça, a Figura 2 apresenta uma esquemática das etapas realizadas.

Figura 2 – Etapas do procedimento experimental.



Fonte: Autoria própria.

O critério de fim de vida da ferramenta foi estabelecido em um desgaste de flanco máximo de 0,25 mm. A rugosidade e a variação dimensional foram monitoradas continuamente até que o desgaste de flanco atingisse esse limite pré-estabelecido. No caso dos ensaios a seco, a peça foi resfriada com água corrente após cada conjunto de passes para evitar a dilatação térmica do material.

Para a usinagem, foi utilizado um torno CNC Romi, modelo Galaxy 15 S. As ferramentas de corte consistiram em um inserto de metal duro TNMG 160408 PF 4025 de classe ISO P25, acoplado a um suporte de ferramenta MTJNR 2525 M16, ambos fabricados pela Sandvik Coromant. O fluido de corte utilizado foi uma emulsão de base vegetal, de nome comercial Vasco 1000 (Blasser Swisslube), com 5% de concentração.

A análise microestrutural foi conduzida em amostras de aço retiradas anteriormente aos ensaios de usinagem, embutidas, lixadas manualmente e polidas com alumina de 0,3 μm . Após o polimento, as amostras foram atacadas com Nital e examinadas em um microscópio Olympus, modelo BX521. Para as medições dimensionais, foi empregado micrômetro Mitutoyo centesimal 100-125 mm, todos

previamente calibrados, foram efetuadas 5 medições em cada um dos pontos e na sequência realizou-se a média simples. Já para as medições de rugosidade, utilizou-se rugosímetro Mitutoyo modelo Surf test - 301, aferido com um padrão de calibração. Os parâmetros de medição foram definidos como cut off de 0,8 mm, 5 intervalos de medição e comprimento de amostragem de 4 mm. Os parâmetros de rugosidade Ra e Rz foram monitorados para fornecer informações complementares.

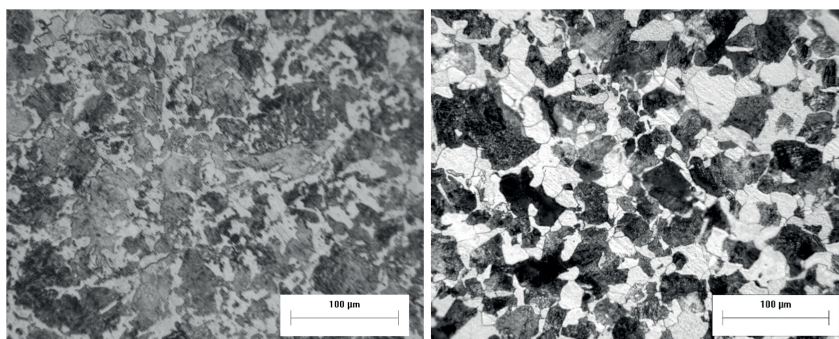
Para identificação e medição do desgaste da ferramenta, utilizou-se um microscópio ferramenteiro Metrimpex – PZO Labimex para medição do desgaste de flanco da ferramenta, com resolução de 2,5 μm .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do estudo, apresentados em gráficos, foram segmentados em desgaste de flanco, rugosidade e variação dimensional para uma análise comparativa e detalhada. A investigação considerou a usinagem com e sem fluido de corte, incluindo os ensaios e suas réplicas, com o objetivo de correlacionar os critérios de fim de vida da ferramenta de corte (DE ASSIS e LIMA, 2021, TRENT e WRIGHT, 2000).

O critério de fim de vida útil da ferramenta foi predeterminado em um desgaste de flanco de 0,25 mm. Os valores obtidos para os ensaios com o aço ABNT 1045 fundido foram: sem fluido de corte $60,03 \pm 3,8$ minutos, com fluido $51,83 \pm 1,07$ minutos. Já para o aço ABNT 1045 laminado os tempos foram: $62,66 \pm 3,2$ minutos e com fluido $57,17 \pm 0,8$ minutos. A análise dos tempos de corte efetivos demonstrou que a dispersão da vida da ferramenta foi significativamente maior nos ensaios a seco. Em contrapartida, os ensaios com fluido de corte apresentaram uma dispersão reduzida ou nula, o que possibilitou uma estimativa mais confiável da perda de eficiência da ferramenta.

Figura 3 – a) metalografia aço ABNT 1045 fundido e b) metalografia aço ABNT 1045 laminado.

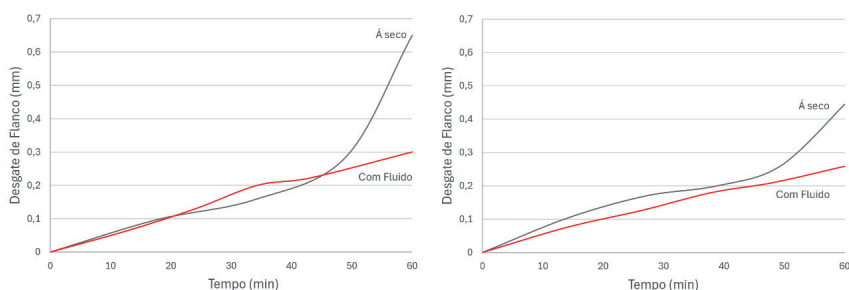


Fonte: Autoria própria.

Desgaste de Flanco

O desgaste de flanco, critério primário de fim de vida da ferramenta, exibiu comportamentos distintos. Nos ensaios a seco, o desgaste permaneceu constante por cerca de 40 minutos, seguido por um aumento abrupto e acentuado. Em contraste, com a utilização de fluido de corte, o desgaste apresentou uma taxa de crescimento linear com pouca variação, permitindo um melhor controle do processo, a Figura 4 traz os resultados obtidos nos ensaios.

Figura 4 – Acompanhamento do desgaste de flanco da ferramenta –
a) Aço ABNT 1045 fundido e b) Aço ABNT 1045 laminado.



Fonte: Autoria própria.

A usinagem sem fluido de corte leva a um acúmulo de calor extremo na interface de corte. Essas elevadas temperaturas podem levar a um “amolecimento” do material da ferramenta, tornando-o mais vulnerável ao desgaste (TRENT e WRIGHT, 2000; DE ASSIS e LIMA, 2021).

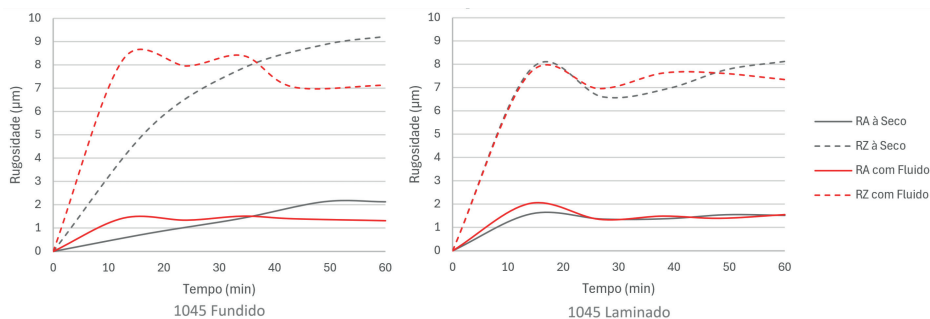
Ainda a falta de lubrificação intensifica o atrito, acelerando o desgaste por abrasão. Assim o calor e o atrito favorecem a formação da aresta postiça de corte (APC) e o processo de difusão. Quando a APC se rompe, pode ocorrer a retirada conjunta de fragmentos da ferramenta, um mecanismo de desgaste que é potencializado na usinagem a seco. Em contraste, na usinagem com fluido de corte ocorre uma otimizada dissipação do calor da zona de usinagem, mantendo a temperatura da ferramenta em níveis seguros, preservando sua dureza. A ação lubrificante reduz o atrito, minimizando o desgaste abrasivo e a formação da APC, resultando em uma maior vida útil da ferramenta (MACHADO e DA SILVA, 2004).

Rugosidade

A rugosidade superficial, monitorada após cada conjunto de passes, seguiu a tendência teórica de aumento conforme o desgaste do inserto progredia. Nos ensaios a seco e com fluido, a rugosidade cresceu de forma quase constante até aproximadamente 40 minutos, quando o desgaste de flanco se tornou abrupto. A partir deste ponto, a efetividade de corte e a confiabilidade da análise foram comprometidas, os resultados obtidos para as amostras estudadas, são mostradas na Figura 5. Este fenômeno pode ser explicado que com o avanço do desgaste de flanco, a aresta de corte da ferramenta pode se tornar arredondada (alterando seu raio de quina) e as forças de corte se elevam. Isso leva a um aumento geral da rugosidade da superfície, pois a ferramenta não consegue remover o material de forma tão eficiente. O valor de R_a , nesse cenário, tende a subir de maneira relativamente gradual e consistente, refletindo a deterioração progressiva. A influência do desgaste na rugosidade R_a é um indicativo do declínio da qualidade global da superfície (WHITEHOUSE, 2002).

O desgaste de flanco pode causar fenômenos como o lascamento da aresta de corte ou a formação e quebra da aresta postiça de corte (APC), podendo ocasionar sulcos ou crateras profundas e irregulares na superfície, que mesmo que ocorram esporadicamente, terão um grande impacto no valor de R_z .

Figura 5 - Acompanhamento da rugosidade R_a e R_z da peça – a) Aço ABNT 1045 fundido e b) Aço ABNT 1045 laminado.



Fonte: Autoria própria.

O uso de fluido de corte proporciona uma ação de lubrificação e refrigeração, sendo crucial para a qualidade do acabamento. A lubrificação forma uma película entre a ferramenta e a peça, reduzindo o atrito e, consequentemente, o desgaste abrasivo e a formação da APC (TRENT e WRIGHT, 2000). A refrigeração, por sua

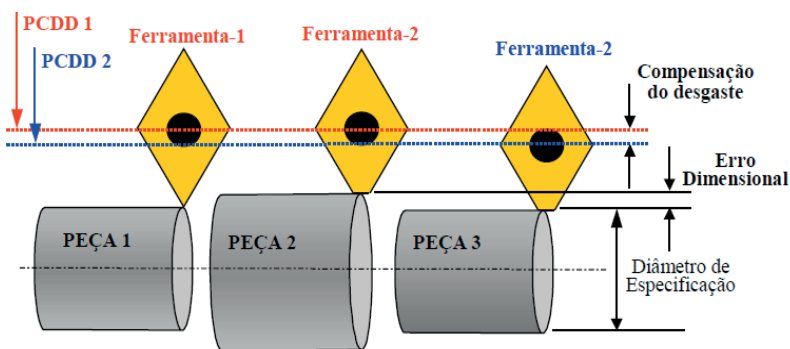
vez, previne o aquecimento excessivo da ferramenta, preservando sua dureza e a capacidade de corte por mais tempo.

Embora a literatura majoritária, incluindo trabalhos de Klocke e Einsenblättere (1997), reforce a importância do fluido de corte, algumas pesquisas mostram que seu impacto pode variar dependendo das condições de usinagem e do tipo de material. No entanto, é amplamente aceito que o controle do desgaste da ferramenta, seja com o uso de fluido de corte ou através de ferramentas de alto desempenho para usinagem a seco, é fundamental para garantir uma baixa rugosidade superficial e a qualidade final da peça. A literatura técnica, incluindo estudos de Klocke e Einsenblättere (1997) e outros autores, frequentemente usa ambos os parâmetros para uma análise completa do acabamento superficial.

Variação Dimensional

A variação dimensional da peça, influenciada pela flexão do conjunto, desgaste da ferramenta e dilatação térmica, foi um critério importante de análise. A Figura 6 exemplifica como o desgaste da ferramenta influencia nas medidas finais do conjunto, e como o desgaste pode gerar peças fora do padrão pré-estabelecidos.

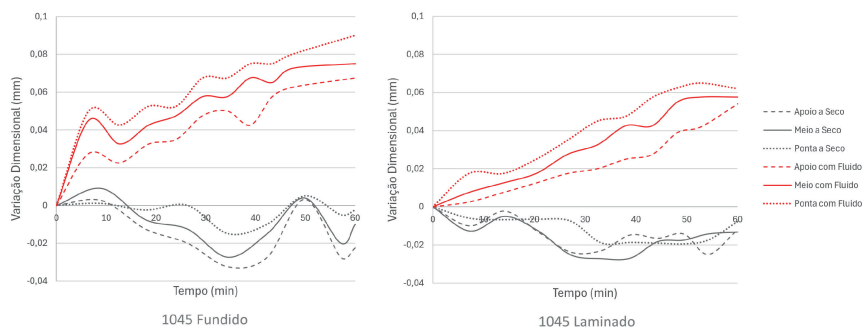
Figura 6 - Influência do desgaste do inserto nas dimensões final.



Fonte: Júnior, 2002.

Nos ensaios a seco, a variação dimensional não seguiu um padrão, oscilando entre picos e vales em relação à medida padrão. A dilatação térmica descontrolada da peça e a contração desuniforme após o resfriamento resultaram em medições inconsistentes. Em contraste, com o fluido de corte, a variação dimensional seguiu a tendência teórica de um aumento gradual e monitorável, diretamente relacionado ao desgaste do inserto.

Figura 7 - Acompanhamento da variação dimensional da peça em 3 pontos – a) Aço ABNT 1045 fundido e b) Aço ABNT 1045 laminado.



Fonte: Autoria própria.

Conforme a aresta de corte se deteriora, ela se torna arredondada, o que altera a geometria original da ferramenta. Essa mudança resulta em um aumento das forças de corte, especialmente na direção radial. Esse aumento de força tende a afastar a ferramenta da peça, gerando dimensões maiores do que as programadas, um fenômeno bem documentado na literatura técnica, como nos trabalhos de Trent e Wright (2000).

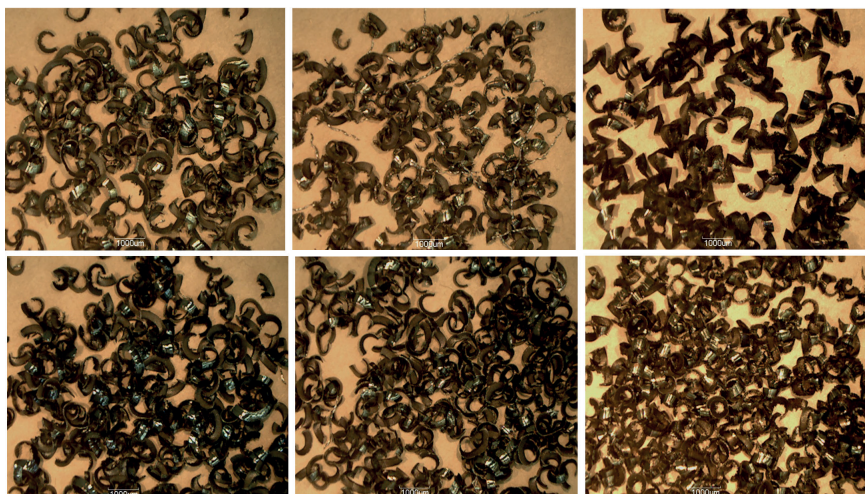
Além disso, o atrito elevado causado pelo desgaste gera mais calor na zona de usinagem. O aumento da temperatura provoca a expansão térmica da peça. Quando o material resfria, ele contrai, resultando em dimensões menores do que o esperado. A combinação da deflexão elástica do sistema máquina-ferramenta-peça, causada pelo aumento das forças, com a expansão e contração térmica, é um dos principais responsáveis pela imprecisão dimensional.

A perda de geometria e o aumento do atrito também podem induzir vibrações (chatter) no processo, o que leva a irregularidades na superfície e variações na profundidade de corte. Autores como Machado e Da Silva (2004) destacam a importância de se manter um processo estável para garantir a precisão dimensional. Pesquisas como as de Klocke e Einsenblätter (1997) e Weinert *et al.* (2004) também abordam as consequências do desgaste na usinagem a seco, onde as altas temperaturas e o rápido desgaste da ferramenta são fatores críticos que afetam diretamente a precisão dimensional. Em suma, o desgaste de flanco não apenas deteriora a qualidade superficial, mas também afeta diretamente a precisão dimensional da peça, um desafio que exige monitoramento e controle rigorosos para garantir a conformidade do produto final (CORREIA e DAVIM, 2011).

Análise do Cavaco

A análise visual do cavaco revelou que, na usinagem a seco do aço ABNT 1045 fundido, a forma do cavaco se alterou com o decorrer do ensaio. Inicialmente em vírgulas, evoluiu para hélices oblíquas e, com o desgaste de flanco elevado, para fitas de pequeno tamanho. No ensaio com fluido de corte, a mudança foi de vírgula para hélice oblíqua, mas a formação de fitas não foi observada, devido ao desgaste mais gradual. Para o aço ABNT 1045 laminado, a forma do cavaco permaneceu constante em vírgulas em todas as condições. A mudança na forma do cavaco parece estar mais relacionada ao tipo de material e seus elementos de liga do que ao uso de fluido de corte (DAYMI *et. al.*, 2009)

Figura 8- Acompanhamento da variação dimensional da peça em 3 pontos – a) Aço ABNT 1045 fundido e b) Aço ABNT 1045 laminado.



Fonte: Autoria própria.

O desgaste de flanco da ferramenta de corte influencia diretamente a morfologia e o formato do cavaco no torneamento, servindo como um indicador visual do estado do processo. Uma ferramenta em bom estado promove um corte limpo, resultando em cavacos bem formados e controlados. No entanto, o avanço do desgaste de flanco aumenta o atrito e a força de corte na interface entre a ferramenta e a peça. Esse aumento do atrito eleva a temperatura e intensifica a deformação plástica do material, levando a uma mudança na formação do cavaco (SREEJITH e NGOI, 2000).

Em materiais dúcteis, o cavaco pode deixar de ser segmentado ou espiral para se tornar uma longa fita contínua, difícil de quebrar. Isso não apenas compromete a segurança do operador, mas também pode danificar a superfície da peça. O desgaste também promove a formação de aresta postiça de corte (APC) em materiais específicos, o que causa um cavaco de formato irregular e instável. A transição de um cavaco controlado para um formato emaranhado ou fragmentado é um claro sinal de que a vida útil da ferramenta está no fim. A análise do cavaco é, portanto, uma ferramenta de diagnóstico importante para monitorar o desgaste da ferramenta e garantir a estabilidade do processo.

CONCLUSÃO

Neste estudo, foram estabelecidas correlações entre diversos critérios para a determinação do fim da vida útil de ferramentas de corte em torneamento cilíndrico externo de acabamento, com foco em ensaios com e sem fluido de corte em dois tipos de aço.

Os resultados demonstram que o fluido de corte atua como um fator estabilizador no processo, influenciando o crescimento do desgaste de flanco de maneira mais consistente. Nos ensaios com fluido, a rugosidade da superfície (R_a) e a variação dimensional (ΔD) emergiram como critérios robustos para o fim de vida da ferramenta, exibindo uma progressão previsível e, em alguns casos, linear. Em contraste, a variação dimensional não se mostrou um indicador eficaz para a usinagem a seco.

A forma do cavaco não apresentou uma correlação direta com o desgaste da ferramenta para a determinação do fim de vida, embora tenha sido observado que mudanças na morfologia do cavaco ocorrem em resposta a um desgaste de flanco elevado e a alterações na composição do material usinado.

Conclui-se que o uso de fluido de corte promove a consistência do processo de usinagem, permitindo que critérios de monitoramento de fácil aplicação, como a rugosidade da superfície e a variação dimensional, sejam empregados para prever o fim da vida da ferramenta. Essa abordagem é mais viável para o controle de qualidade em ambientes de produção do que a medição direta do desgaste de flanco, que demanda equipamentos e tempo não disponíveis na maioria dos cenários industriais.

BIBLIOGRAFIA

AMORIM, H. J. de. **Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro**. 2002. 131 f. 2002. Dissertação -Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CORREIA, A. E.; DAVIM, J. P. Surface roughness measurement in turning carbon steel AISI 1045 using wiper inserts. **Measurement**, v. 44, n. 5, p. 1000-1005, 2011.

DAYMI, A., BOUJELBENE, M., SALEM, S. B., SASSI, B. H., TORBATY, S. Effect of the cutting speed on the chip morphology and the cutting forces. **Archives of Computational Materials Science and Surface Engineering**, v. 1, n. 2, p. 77-83, 2009.

DE ASSIS, D. G.; LIMA, R. O. C. Monitoramento do desgaste da ferramenta de HSS no processo de torneamento através da potência consumida. **Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica**, v. 3, n. 2, p. 126-136, 2021.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R.; WERNER, Ewald. **Werkstofftechnik**. Pearson Deutschland GmbH, 2011.

KNIGHT, W. A.; BOOTHROYD, G. **Fundamentals of metal machining and machine tools**. CRC Press, 2019.

KLOCKE, F.; EISENBLÄTTER, G. **Dry Cutting**. CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 46, issue 2, p.519-526, 1997.

MACHADO, A. R.; DA SILVA, M. B. Usinagem dos metais. **Metal Cutting**, Technical Notes, 9th version, 2004.

SHAW, M. C.; COOKSON, J. O. **Metal cutting principles**. New York: Oxford university press, 2005.

SREEJITH, P. S.; NGOI, B.K.A. Dry machining: machining of the future. **Journal of Materials Processing Technology**, n. 101, p.287-291, 2000.

TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal cutting**. Butterworth-Heinemann, 2000.

WEINERT, K.; INASAKI, I.; SUTHERLAND, J.W.; WAKABAYASHI, T. Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, vol. 53, issue 2, p.511-537, 2004.

WHITEHOUSE, D. J. **Surfaces and their Measurement**. CRC Press, 2002.