

PREPARAÇÃO DE ARESTAS DE CORTE EM FERRAMENTA DE METAL DURO COM ESCOVA ROTATIVA ABRASIVA

Rafaela Silva Barbosa, rafaelabarbosa@estudante.ufscar.br¹

Ueliton Carvalho Alves, ueliton.alves@ifsp.edu.br²

Amauri Hassui, ahassui@fem.unicamp.br³

Carlos Eiji Hirata Ventura, ventura@ufscar.br¹

¹Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de São Carlos, Rod. Washington Luis km 235, 13565-905, São Carlos/SP, Brasil

²Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo (Campus Piracicaba), R. Diácono Jair de Oliveira 1005, 13414-155, Piracicaba, SP, Brasil

³Departamento de Engenharia de Manufatura e Materiais da Universidade de Campinas, R. Mendelejev 200, 13083-970, Campinas, SP, Brasil

Resumo. Devido às elevadas cargas termomecânicas em processos de usinagem, uma preparação de aresta adequada é fundamental para a obtenção de maiores vidas de ferramenta e bons acabamentos superficiais nas peças produzidas. Tendo em vista as elevadas propriedades mecânicas de materiais de ferramenta, processos abrasivos têm sido aplicados para a geração de arredondamentos e chanfros. Dentre eles, o escovamento se destaca, devido à sua flexibilidade e baixo custo, permitindo a preparação de geometrias de aresta específicas a partir da escolha correta dos parâmetros de processo. As correlações entre tais parâmetros e a geometria final, no entanto, estão intimamente relacionadas à forma de contato escova-ferramenta e devem ser obtidas experimentalmente. Neste trabalho, insertos de metal duro classe P10, retificados, foram escovados em torno mecânico utilizando uma escova de cerdas de nylon impregnadas com abrasivos de SiC 60#, com auxílio de um dispositivo projetado para permitir a variação dos parâmetros. A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que os principais fatores de influência na obtenção de diferentes microgeometrias ao longo da aresta de corte principal e no raio de ponta correspondem à profundidade de penetração e ao ângulo de ataque.

Palavras chave: preparação de aresta de corte, microgeometria, escovamento, usinagem

1. INTRODUÇÃO

A preparação de aresta tem se demonstrado um aspecto relevante no estudo de processos de usinagem, pois possui potencial de afetar a integridade superficial das peças, bem como a resistência e a vida da ferramenta, já que contribui com a eliminação de defeitos causados por operações anteriores (Peter et al., 2020). Assim, uma boa preparação de aresta pode proporcionar aumento na produtividade e redução de custo do processo. Em estudos realizados por Denkena et al. (2014), constatou-se que o processo de preparação de arestas escolhido também influencia de forma significativa o desempenho das ferramentas de corte, já que possui efeitos sobre a rugosidade e as tensões residuais induzidas, que, por sua vez, impactam a evolução do desgaste.

Por meio de variados métodos é possível a produção de arredondamentos com diferentes formas e tamanhos (Karpat e Özel, 2008), características que têm grande influência no comportamento do desgaste da ferramenta. Por meio de resultados teóricos e experimentais, Özel (2003), por exemplo, verificou variações relevantes das forças, tensões e temperaturas durante a usinagem de um aço endurecido a partir da mudança da preparação de aresta em ferramentas de CBN. Ventura et al. (2017) investigaram a influência da microgeometria da ferramenta na usinabilidade de um aço endurecido e também observaram que alterações na geometria de corte podem afetar drasticamente as forças e a temperatura, o que indiretamente restringe a vida útil da ferramenta e a qualidade da peça usinada.

Entre os processos utilizados para preparação de arestas em insertos de corte, o mais comumente aplicado (em função dos custos e simplicidade cinemática) corresponde ao escovamento, no qual uma escova com cerdas de nylon impregnadas com partículas abrasivas é rotacionada contra a aresta. As características do arredondamento são obtidas a partir da variação das condições de processo, como rotação da escova, penetração de trabalho, ângulo de ataque, tempo, material de corte e tamanho do grão abrasivo (Denkena et al., 2010).

O acabamento por arraste também tem sido aplicado industrialmente e consiste no movimento de translação e rotação da ferramenta em um recipiente com meio abrasivo, o qual remove pequenas parcelas de material. Dentre os parâmetros que afetam a microgeometria, estão as velocidades de movimentação, o tempo de processamento, o tipo e o tamanho do abrasivo (Gegenheimer, 2009). Uhlmann et al. (2016) conseguiram bons resultados de vida da ferramenta em microfresas de metal duro com a aplicação deste tipo de processo.

A utilização do processamento a laser tem crescido, devido à sua maior precisão e rapidez, embora necessite de investimentos elevados. Para definição da microgeometria, além da velocidade de movimentação do laser sobre o material a ser removido, são relevantes os parâmetros que determinam a energia emitida, como a potência e frequência do pulso (Aurich et al., 2011). Cabe destacar que, dependendo das configurações do laser emitido e do material a ser trabalhado, zonas termicamente afetadas podem ocorrer, prejudicando a integridade da ferramenta (Lütjens, 2011).

Por fim, pesquisas sobre o uso do processo de retificação para preparação de arestas têm sido realizadas, considerando-se as vantagens proporcionadas em termos de produtividade e precisão. De maneira a superar restrições cinemáticas e possibilitar a produção de arredondamentos na região do raio de ponta de insertos de corte, Denkena et al. (2013) desenvolveram um método de discretização do arredondamento e resultados positivos de vida foram obtidos em comparação àqueles gerados por ferramentas comerciais (Ventura et al., 2013).

Tendo em vista os impactos da preparação de aresta sobre a vida da ferramenta e a integridade da peça usinada, assim como a simplicidade e o baixo custo do processo de escovamento, o que o torna favorável para aplicação imediata em empresas que fabricam e recondicionam ferramentas de corte, este trabalho tem como foco uma investigação sistemática do efeito dos parâmetros de escovamento (adaptado em torno mecânico) na forma, no tamanho e no acabamento de arredondamentos de aresta produzidos em insertos de corte de metal duro. Os resultados a serem obtidos se tornam ainda mais relevantes quando se verifica a irregularidade da microgeometria ao longo do perímetro de insertos comerciais, o que gera dispersão dos resultados em relação ao desempenho desses insertos em processos de usinagem.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Insertos de metal duro P10 foram preparados com geometria SNGN 120412 em um centro de retificação CNC Agathon DOM Plus, 4 eixos, rotação e potência máximas de 3400 rpm e 16 kW, respectivamente. A retificação ocorreu com rebolo abrasivo de diamante, tamanho de grão D46, ligante resinoide, velocidade de corte $v_c = 20$ m/s, velocidade de avanço axial $v_{fa} = 4$ mm/min e velocidade de rotação para acabamento do raio de ponta $v_R = 35$ °/s. De modo a se evitar efeitos do desgaste do rebolo, este foi condicionado antes da retificação de cada *blank* por meio de um rolo dressador do tipo copo, com abrasivos de óxido de alumínio de granulometria 180#. Para isso, foi aplicada uma velocidade de corte $v_{cd} = 10$ m/s e uma velocidade de avanço axial $v_{fad} = 3$ µm/s.

Os experimentos de preparação das arestas foram realizados no torno mecânico Imor PRN-320, com auxílio de um dispositivo projetado para permitir a variação de parâmetros de processo. Uma escova com cerdas de nylon impregnadas com abrasivos de SiC 60# foi acoplada a um eixo preso na placa de três castanhas montada na mesma máquina, conforme Fig. (1). Os parâmetros variáveis utilizados no processo de escovamento estão descritos na Tabela 1. A rotação da escova e o ângulo de posição do inserto (ângulo entre a aresta principal e o eixo de rotação da escova) foram mantidos constantes em 475 rpm e 0°, respectivamente. O tempo de escovamento e a profundidade de penetração foram mantidos constantes em 30 s e 4 mm, respectivamente, quando não eram os parâmetros sob investigação. Foram executadas 2 repetições para cada parâmetro estudado.

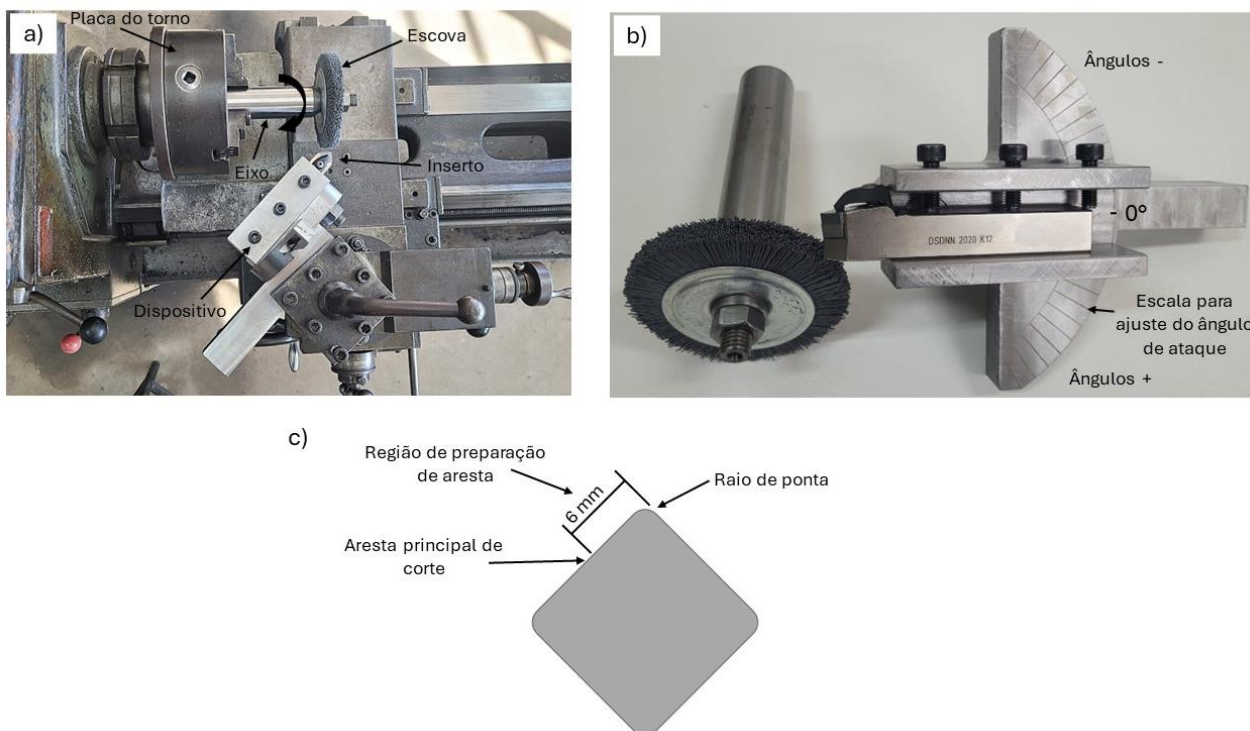


Figura 1. a) Setup de montagem do dispositivo, b) detalhes do dispositivo e escova, c) detalhes do inserto

Tabela 1. Parâmetros variáveis durante o escovamento

Parâmetros de processo	Valores
Tempo de escovamento [s]	30, 60, 120
Profundidade de penetração [mm]	2, 4, 6
Ângulo de ataque [°]	-20, -10, 0, 10, 20

Conforme demonstrado na Fig. (2b), as microgeometrias são caracterizadas pelas seções da aresta na face de saída S_γ e na face de folga S_α . O fator de forma $K = S_\gamma / S_\alpha$ define a tendência da aresta de corte para a superfície de saída ($K > 1$), para a superfície de folga ($K < 1$) ou ainda um arredondamento simétrico ($K = 1$). O fator Δr define a menor distância entre a intersecção das linhas traço-ponto (aresta idealmente afiada) até o perfil do arredondamento formado. Um Δr pequeno denota uma aresta “viva”, enquanto um Δr elevado corresponde a uma aresta “cega”. A medição das arestas antes e após a preparação foi realizada por meio de um microscópio com variação de foco Alicona Infinite Focus SL, tanto no raio da ponta quanto na aresta principal de corte (parte reta), conforme mostrado na Fig. (2a). Foram utilizados 200 perfis para calcular os valores médios de S_γ , S_α , Δr e K . Para o perfil de rugosidade ao longo da aresta preparada, 5 perfis foram traçados para obtenção da rugosidade máxima R_z , Fig. (2c).

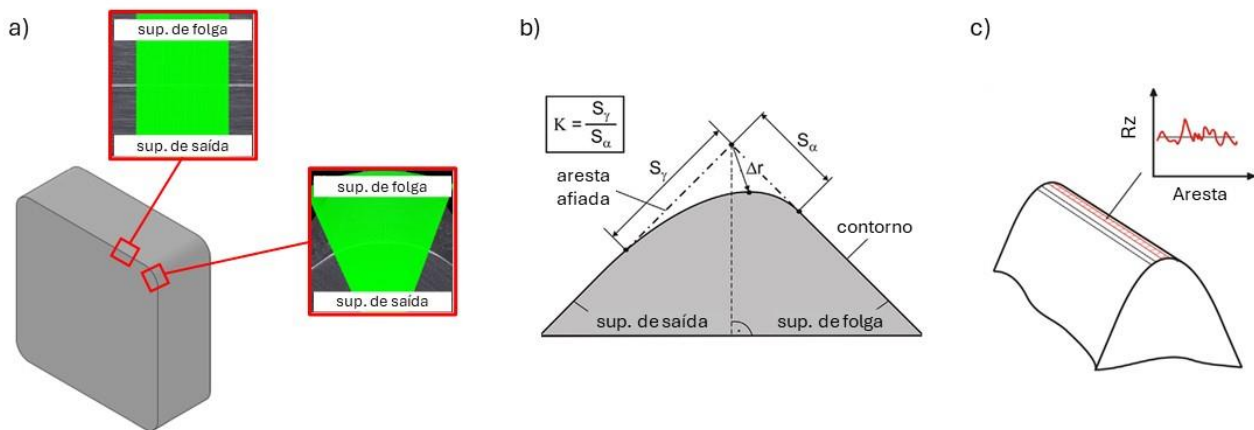


Figura 2. a) Medição da aresta de corte e b) caracterização de uma das seções obtidas

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Imagens da aresta de corte antes e depois da escovação são mostradas na Fig. (3). As irregularidades podem ser caracterizadas pela rugosidade máxima R_z , conforme apontado na Fig. (2c). A Figura (4) mostra o valor médio deste parâmetro antes do arredondamento e após os experimentos. A partir dos desvios-padrões, verifica-se que a mudança nos parâmetros de escovamento não levou a alterações significativas da qualidade da aresta, sendo notável, porém, a redução de R_z após o escovamento, em todos os casos. Antes da preparação de aresta, os insertos apresentaram um valor de R_z de aproximadamente $2,5 \mu\text{m}$, enquanto, após a preparação, os valores variaram entre $1,65 \mu\text{m}$ e $1,9 \mu\text{m}$.

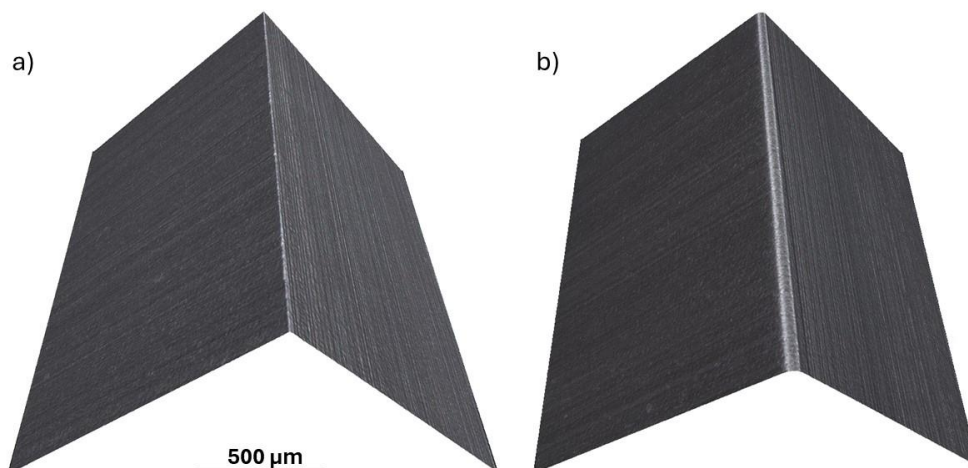


Figura 3. Aresta de corte com a) canto vivo e b) após escovamento

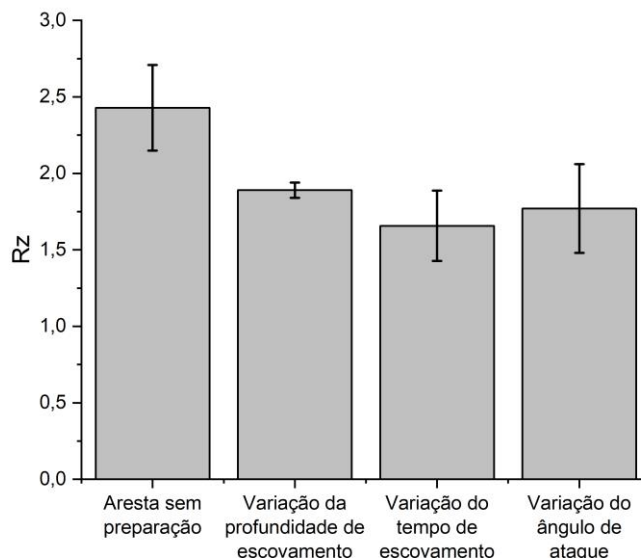


Figura 4. Valores da rugosidade máxima R_z da aresta de corte antes e após o escovamento

O escovamento da aresta principal de corte e do raio de ponta (Fig. 5a, Fig. 5b), com variação da profundidade de penetração, apresentou valores de $S\alpha$ próximos de 25 μm para profundidade de 2 mm e valores de aproximadamente 70 μm para profundidade de 6 mm, com tendência linear de crescimento. A mesma tendência ocorre com o parâmetro $S\gamma$, que começa com valores próximos de 40 μm e atinge um máximo de 90 μm . O aumento nos valores de $S\alpha$ e $S\gamma$ também resulta em um aumento no valor de Δr , indicando uma tendência de maior arredondamento da aresta com o aumento do parâmetro de profundidade de penetração. Para o raio de ponta, observa-se uma tendência semelhante à da aresta principal, com um crescimento linear dos parâmetros $S\alpha$, $S\gamma$ e Δr conforme a profundidade de penetração aumenta, mas com valores menores, devido possivelmente ao contato menos intenso da escova nessa região, que está mais afastada da aresta. Ao observar o fator K (Fig 5c), que representa a relação entre $S\gamma$ e $S\alpha$, nota-se uma estabilidade próxima de 1,3 para a aresta principal de corte, demonstrando que o aumento da profundidade mantém constante o fator de forma. No entanto, para o raio de ponta, observa-se um decréscimo no fator K, o que indica que o aumento da profundidade promove, comparativamente, maior interação das cerdas da escova com a superfície de flânga da ferramenta.

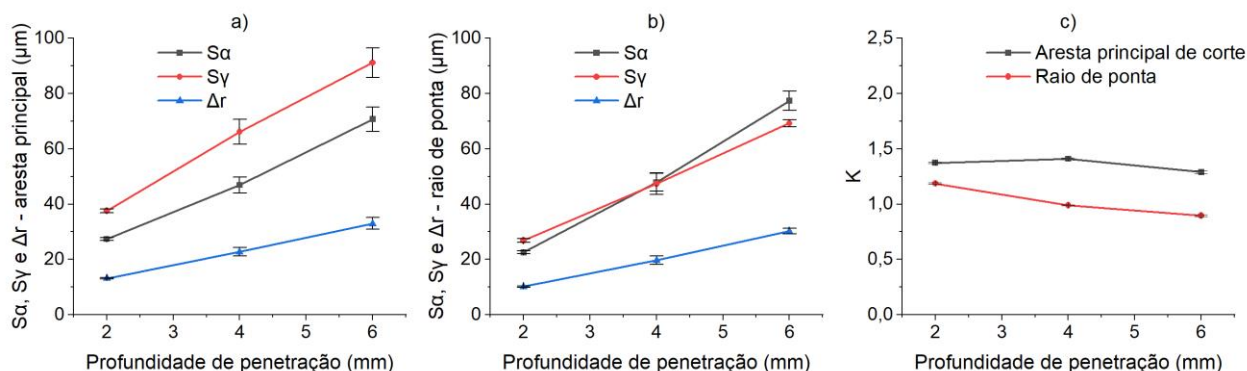


Figura 5. Comportamento dos parâmetros de microgeometria $S\alpha$, $S\gamma$ e Δr em função da variação da profundidade de penetração na a) aresta principal de corte e no b) raio de ponta, além do c) fator de forma K

A variação do tempo de escovamento mostrou-se ineficaz em alterar os parâmetros estudados, sendo observada na Fig. (6) uma estabilidade nos valores de $S\alpha$, $S\gamma$, Δr e K, tanto para a aresta principal de corte quanto para o raio de ponta. Um maior tempo de contato não promoveu a remoção de um maior volume de material, como evidenciado pela estabilidade dos valores de Δr , $S\alpha$ e $S\gamma$. Conforme esperado, o fator de forma também se manteve inalterado. Dentro da faixa de parâmetros estudada, os resultados mostram que o tempo de processamento deve ser escolhido de maneira apenas a se concluir o processo mais rapidamente.

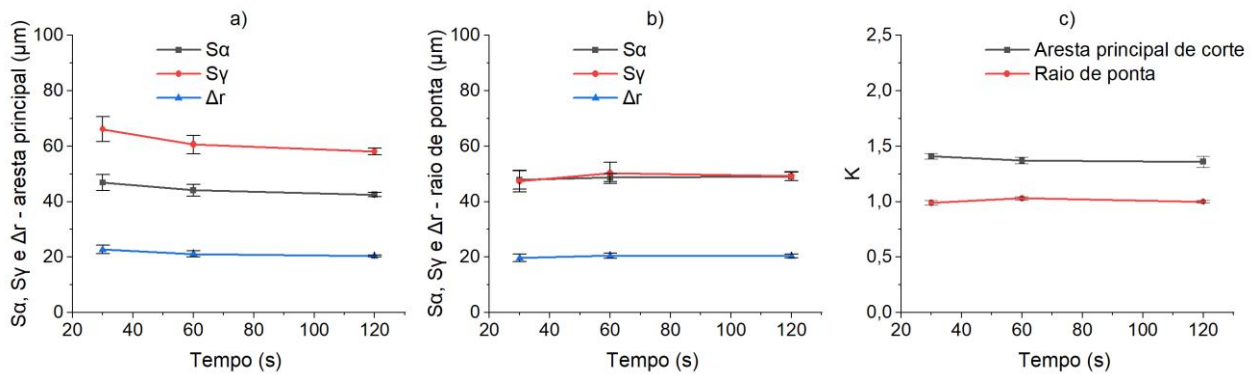


Figura 6. Comportamento dos parâmetros de microgeometria $S\alpha$, Sy e Δr em função da variação do tempo de escovamento na a) aresta principal de corte e no b) raio de ponta, além do c) fator de forma K

Os resultados para a variação do ângulo de ataque podem ser observados na Fig. (7). Os valores de $S\alpha$, tanto na aresta principal quanto no raio de ponta, são maiores para um ângulo de ataque de -20° e diminuem à medida que o ângulo de ataque aumenta na direção de $+20^\circ$. Já os valores de Sy apresentam resultados próximos para os ângulos dentro da faixa testada, aumentando seu valor à medida que tendem para o ângulo de 0° na aresta principal de corte. Essa mesma tendência se aplica ao Sy no raio de ponta, porém com uma variação menor quando o ângulo de ataque se aproxima de 0° . A variação dos valores de $S\alpha$ e Sy fez com que Δr apresentasse valores decrescentes com o aumento do ângulo de ataque, demonstrando que houve um aumento da afiação da aresta. Embora não tenha havido um comportamento monotônico em relação a $S\alpha$ e Sy , a variação do ângulo de ataque mostrou-se bastante eficaz para controlar o fator de forma K . Valores de $K < 1$ podem ser obtidos utilizando um ângulo de ataque de -20° , tanto para o raio de ponta quanto para a aresta principal de corte. Para alcançar $K = 1$, o ângulo de ataque de 0° é adequado para o raio de ponta, enquanto aproximadamente -15° é ideal para a aresta principal de corte. Por outro lado, $K = 2$ foi obtido na aresta principal com um ângulo de 10° e pode ser obtido no raio de ponta com um ângulo superior a 20° , considerando-se a mesma tendência apresentada no gráfico.

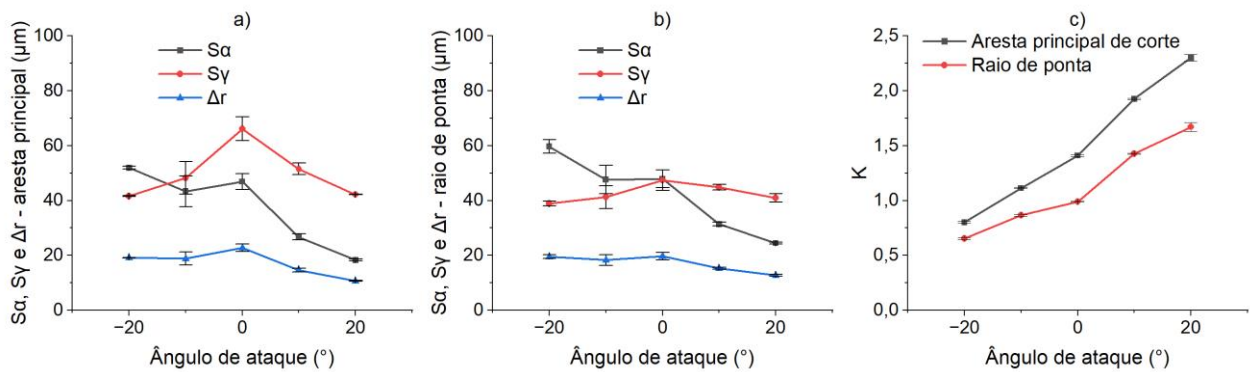


Figura 7. Comportamento dos parâmetros de microgeometria $S\alpha$, Sy e Δr em função da variação do ângulo de ataque na a) aresta principal de corte e no b) raio de ponta, além do c) fator de forma K

Devido às limitações do dispositivo e da cinemática do processo, uma aresta de corte com raio constante não pode ser obtida no raio de ponta, como pode ser observado na Fig. 8. A Fig. (8a) mostra a imagem tridimensional da ponta escovada com profundidade de penetração de 6 mm, tempo de escovamento de 30 s e ângulo de ataque de 0° , enquanto as Fig. (8b) e (8c) apresentam o comportamento dos parâmetros geométricos ao longo do raio de ponta. Tendo em vista o ângulo de posição escolhido (0°), percebe-se um aumento no raio de aresta ao longo do raio de ponta em direção à aresta principal de corte, favorecido pelo contato do inserto com as cerdas da escova, que penetram mais (aumentam o contato com o material do inserto) na direção da aresta principal.

Para a obtenção de um raio de aresta regular ao longo do raio de ponta, torna-se necessário manter a profundidade de penetração constante, a partir da realização de um movimento de contorno seguindo a geometria do raio de ponta. Essa possibilidade seria viável com a aplicação do processo de escovamento em uma máquina CNC, por meio da programação de uma interpolação circular. Uma aplicação semelhante à sugerida foi realizada por Bergs et al. (2020) em seus estudos utilizando uma máquina CNC de 5 eixos.

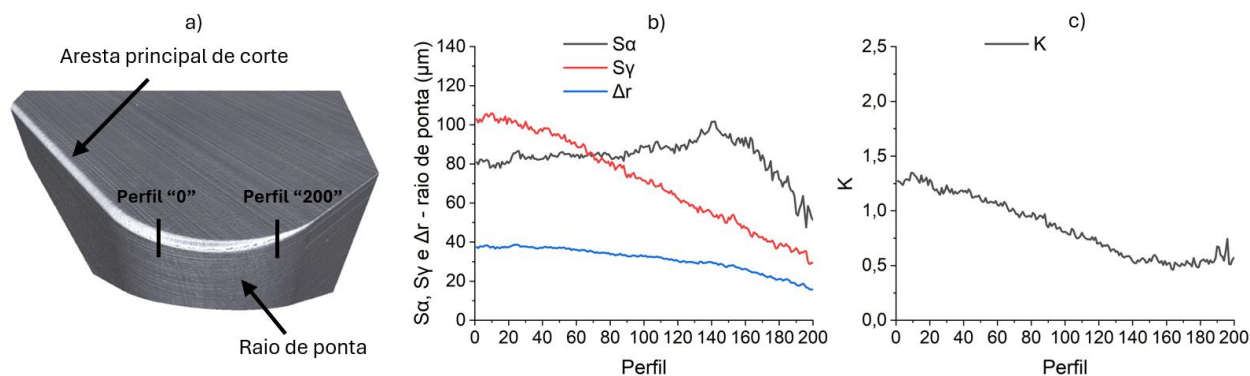


Figura 8. a) Imagem tridimensional de um raio de ponta após processo de escovamento e comportamento dos parâmetros b) $S\alpha$, $S\gamma$, Δr e c) K ao longo do raio de ponta

Além das variáveis estudadas, outros parâmetros também podem ser alterados para a obtenção de diferentes valores de $S\alpha$ e $S\gamma$, incluindo a rotação da escova e o ângulo de posição do inserto. As interações cruzadas também devem ser observadas, de maneira a se determinar de forma mais precisa as tendências de crescimento. Tais aspectos devem ser abordados em trabalhos futuros.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nos testes de escovamento em insertos de metal duro, percebe-se o potencial de aplicação do método e pode-se concluir que:

- O processo de escovamento é capaz de reduzir as irregularidades da aresta de corte e promover um menor valor de rugosidade.
- O aumento da profundidade de penetração tem influência direta e linear sobre os valores de $S\alpha$, $S\gamma$ e Δr , o que possibilita alcançar valores desejados de forma simplificada.
- A alteração do fator de forma K está diretamente relacionada ao ângulo de ataque, sendo possível, dentro da faixa de parâmetros estudada, alcançar valores entre 0,5 e 2.
- A mudança do tempo de escovamento não altera a microgeometria, tornando-se dispensável o seu incremento no processo de escovamento.
- Devido às limitações cinemáticas do processo proposto, um raio constante não pode ser obtido nas regiões da aresta principal de corte e do raio de ponta.

5. REFERÊNCIAS

- Aurich, J. C.; Zimmermann, M.; Leitz, L., 2011. The preparation of cutting edges using a marking laser. **Production Engineering: Research and Development**, v. 5, p. 17-24.
- Bergs, T., Schneider, S.A.M., Amara, M., Ganser, P., 2016. Preparation of symmetrical and asymmetrical cutting edges on solid cutting tools using brushing tools with filament-integrated diamond grits, **Procedia CIRP**, Volume 93, 2020.
- Denkena, B.; Köhler, J.; Breidenstein, B.; Abrão, A.M.; Ventura, C.E.H., 2014. Influence of the cutting edge preparation method on characteristics and performance of PVD coated carbide inserts in hard turning. **Surface and Coatings Technology**, v. 254, p. 447-454.
- Denkena, B.; Köhler, J.; Ventura, C.E.H., 2013. Customized cutting edge preparation by means of grinding. **Precision Engineering**, v. 37, n. 3, p. 590-598.
- Denkena, B.; Leon, L.; Bassett, E.; Rehe, M., 2010. Cutting edge preparation by means of abrasive brushing. **Key Engineering Materials**, v. 438, p. 1-7.
- Gegenheimer, H., 2009. Präparationsverfahren: Gleitschleppscheifen. In: TIKAL, F. (Org.) **Schneidkantenpräparation: Ziele, Verfahren und Messmethoden**. Kassel: Kassel University Press.
- Karpat, Y.; Özel, T., 2008. Mechanics of high speed cutting with curvilinear edge tools. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 48, 195-208.
- Lütjens, P. Mit kalter Ablation zur optimalen Schneidkante. **Werkstatt und Betrieb**, v. 9, p. 132-135, 2011.
- Özel, T., 2003 Modeling of hard part machining: effect of insert edge preparation in CBN cutting tools. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 141, n. 2, p. 284-293.
- Peter, P.; Boris, P.; Tomáš, V.; Jozef, P.; Marek, V.; Vladimír, S., 2020 Cutting edge radius preparation. **Materials Today: Proceedings**, v. 22, p. 212-218.
- Uhlmann, E.; Oberschmidt, D.; Löwenstein, A.; Kuche, Y. Influence of cutting edge preparation on the performance of micro milling tools. **Procedia CIRP**, v. 46, p. 214-217.

Ventura, C.E.H., Chaves, H.S., Rubio, J.C.C., Abrão, A.M., Denkena, B., Breidenstein, B., 2017. The influence of the cutting tool microgeometry on the machinability of hardened AISI 4140 steel. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 90, p. 2557-2565.

Ventura, C.E.H.; Köhler, J.; Denkena, B., 2013. Cutting edge preparation of PCBN inserts by means of grinding and its application in hard turning. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 6, p. 246-253.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Código de financiamento 001) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, Processos n° 2015/15622-2, 2017/12309-7, e 2017/12304-5).

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.