

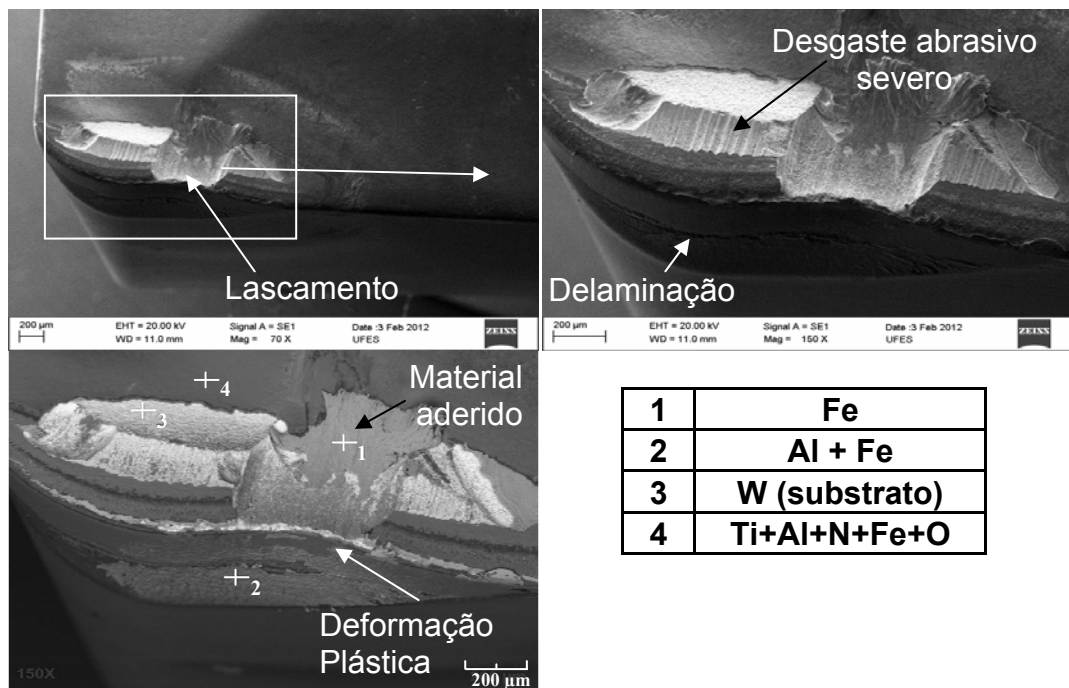


Figura 4.35 - MEV/EDS ferramenta convencional no fim de vida, $vc = 350$ m/min, atmosfera de corte jorro.

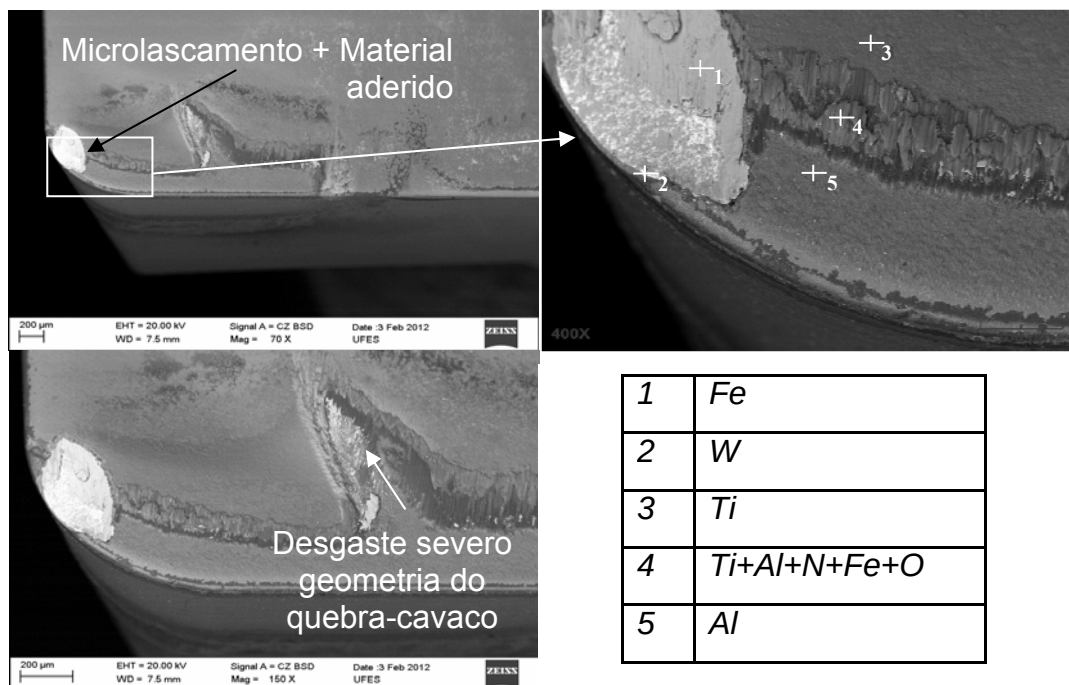


Figura 4.36 - MEV/EDS ferramenta convencional no fim de vida (critério volume), $vc = 150$ m/min, atmosfera de corte jorro.

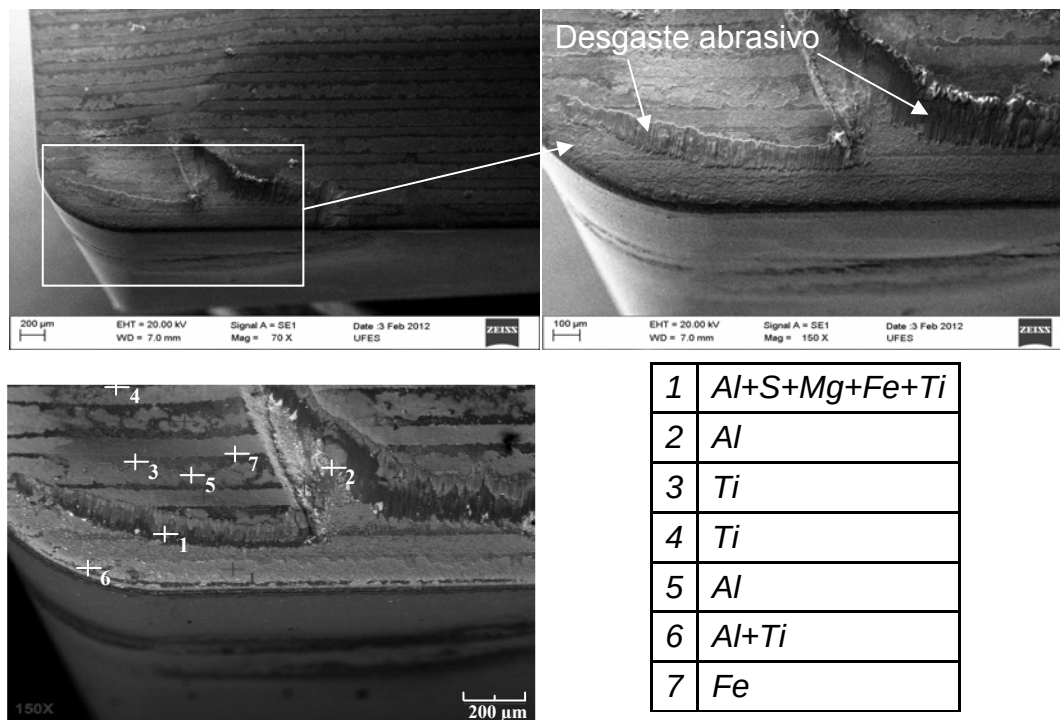


Figura 4.37 - MEV/EDS ferramenta no fim de vida (critério volume), $vc = 150$ m/min, marcas perpendiculares e atmosfera de corte jorro.

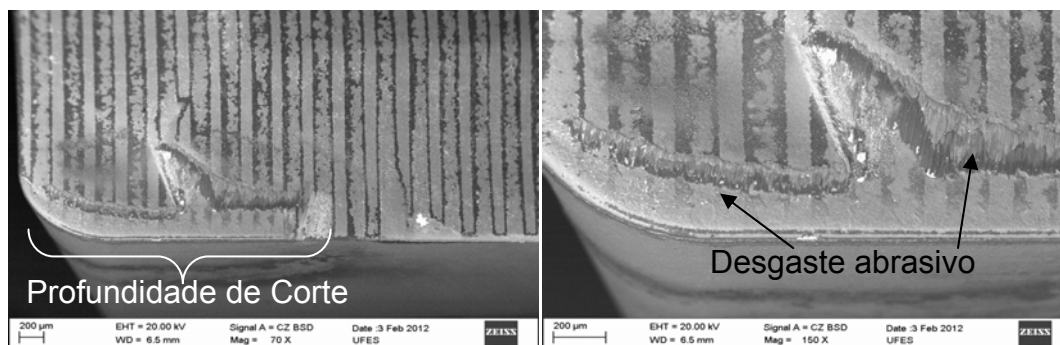


Figura 4.38 - MEV/EDS ferramenta no fim de vida (critério volume), $vc = 150$ m/min, marcas paralelas e atmosfera de corte jorro.

As marcas de textura nas ferramentas parecem favorecer o sistema, principalmente a altas velocidades de corte, onde abrasão tende a predominar sobre adesão.

Na figura 4.33 observa-se que deve ter ocorrido o microlascamento em algum instante e após isto, o mecanismo de attrition atuou também na área microlascada. Um desgaste similar ao mostrado na Fig. 4.35 foi apresentado por Motta (1994), onde a deformação

plástica da ferramenta de corte de metal duro, no torneamento do aço 8640, foi justificada pelo desgaste de flanco avançado na ponta da cunha cortante.

A presença de marcas de abrasão em varias das regiões de contato motivou ao estudo da superfície das ferramentas texturizadas através de um teste de microabrasão. Embora um teste tribologico não represente a fidelidade dos fenômenos de um teste de usinagem, é interessante realizá-lo pela possibilidade de classificar a adesividade do revestimento, com controle da carga do contracorpo, a velocidade do movimento relativo entre as superfícies e o tamanho e quantidade de partículas abrasivas, permitindo a alteração do mecanismo de desgaste predominante (Santos, 2002).

4.4.4 – Teste de micro abrasão no terceiro lote de ferramentas texturizadas

O objetivo desse item é estudar a resistência ao desgaste abrasivo de ferramentas de corte de metal duro texturizadas e compará-lo com as ferramentas convencionais.

Usando os resultados de vida da superfície nos testes de microabrasão, foram realizadas análises comparativas com os resultados encontrados nos testes de vida das ferramentas em usinagem. As texturas avaliadas foram estudadas com as marcas na posição perpendicular e paralela á direção de movimento do contracorpo. Os parâmetros dos testes e características da montagem encontram-se melhor detalhados no capítulo de metodologia. A Figura 4.39 apresenta fotografias das ferramentas estudadas, do lado esquerdo as fotografias (a) e (b) mostram o tipo de marca (calota) deixada pelo teste de microabrasão, a fotografia (c) apresenta um detalhe da superfície revestida e posteriormente texturizada.

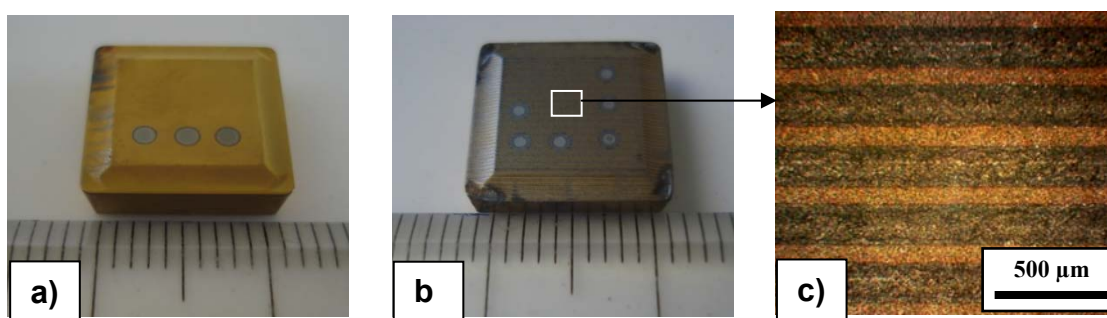


Figura 4.39 - fotografia do Incerto a) revestido; b) revestido e texturizado; c) detalhe da textura.

Caracterização da textura para teste tribológico

A seção transversal de um corte da ferramenta sem textura utilizada nos testes de abrasão é apresentado na Fig. 4.40. Esta imagem foi obtida com microscopia eletrônica de varredura, combinando elétrons secundários e detectores de elétrons retroespalhados. As medições das espessuras dos revestimentos são apresentados junto com a foto.

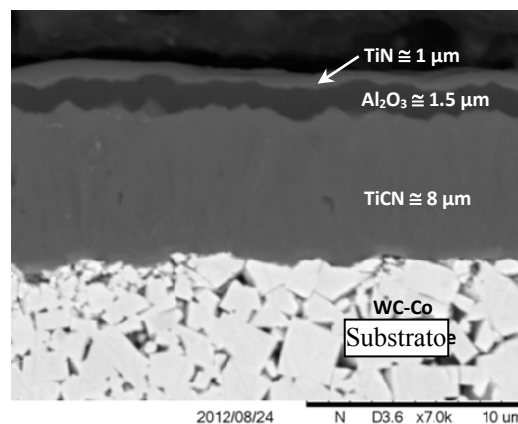


Fig. 4.40 - MEV de um corte transversal da ferramenta convencional.

A Figura 4.41-a apresenta a topografia da textura a laser obtida de uma região central da superfície de saída da ferramenta. Os Parâmetros de rugosidade Ra e Rq foram 1.01 µm e 1.23 µm, respectivamente. O perfil médio, Fig. 4.41-b, foi calculado a partir de todos os perfis perpendiculares à direção da textura. A profundidade média das marcas foi aproximadamente 2,05 µm, indicando uma remoção total da primeira camada TiN e uma remoção parcial da camada Al₂O₃, em cada marca.

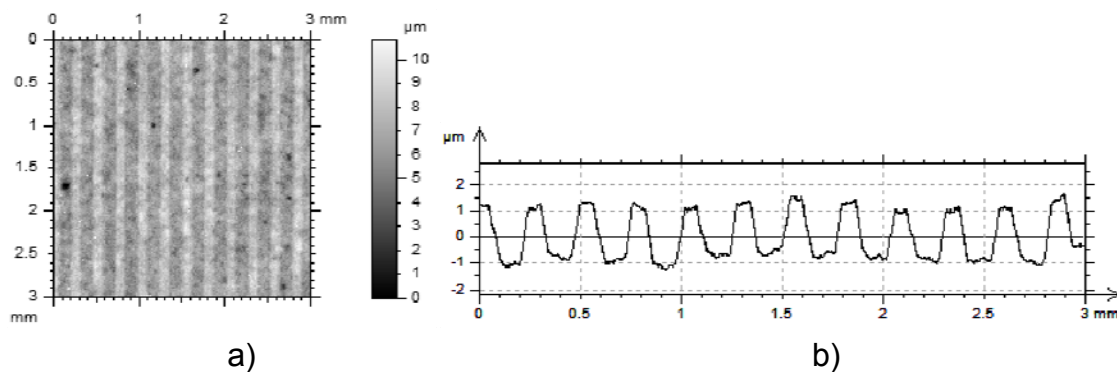


Figura 4.41 - Interferometria a laser da Superfície texturizada a) vista de topo; b) perfil perpendicular às marcas.

A Figura 4.42 apresenta a região desgastada, com um detalhe do tamanho das marcas de abrasão encontradas em usinagem, para estas ferramentas de corte.

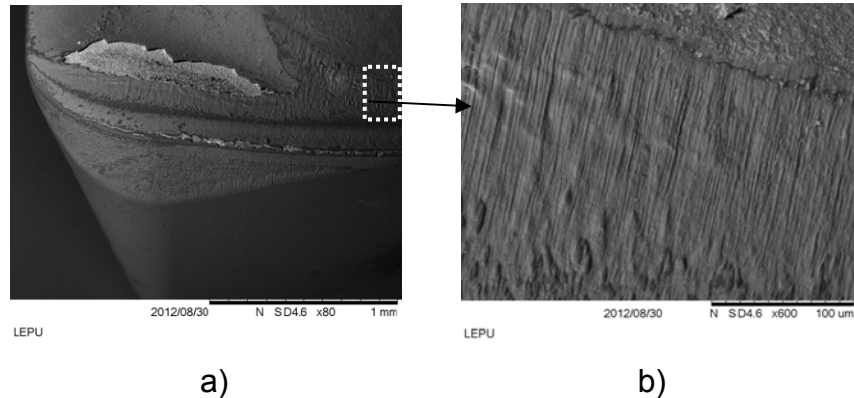


Figura 4.42 - Aresta de corte desgastada (a) Superfície de flanco e de saída de uma ferramenta sem textura no fim de vida, (b) detalhe mostrando marcas do desgaste abrasivo.

O desgaste detalhado na Fig. 4.42-b indica que o desgaste abrasivo é um importante mecanismo de desgaste para este processo de corte. Entretanto lascamentos são observados também na superfície de saída.

Desgaste microabrasivo

Para a análise de superfícies revestidas este trabalho aplicou o modelo de desgaste de Achard extendido (Eq. 4.1), neste (V_s) representa o volume de desgaste no substrato e (V_c) o volume de desgaste no revestimento (este estudo considera as três camadas como um único revestimento), (S) é a distância de deslizamento e (N) a força normal de contato (medida usando uma célula de carga) (veja item) Usando esta interpretação o volume total de material removido ($V_T = V_c + V_s$) é proporcional ao produto de (SN). A soma dos coeficientes de desgaste do revestimento (K_c) e do substrato (K_s) representam o coeficiente de desgaste total (k_T). (RUTHERFORD; HUTCHINGS, 1997; KUSANO et al., 2004).

$$SN = \left(\frac{V_c}{K_c} + \frac{V_s}{K_s} \right) \quad (4.1)$$

Assumindo que o desgaste de cratera é esférico e que reproduz o formato do contracorpo, os volumes de desgaste do substrato e do revestimento podem ser calculados usando as Eq. 4.2 e 4.3, respectivamente. Onde (R) é o raio do contracorpo, (a) é o

diâmetro interno da cratera e (th) é a espessura média do revestimento (soma da espessura dos três revestimentos).

$$V_S = \frac{\pi a^4}{64R} \quad (4.2)$$

$$V_C = \frac{\pi th}{4} (a^2 + 4Rth) \quad (4.3)$$

para $(th/R \ll a/R \ll 1)$

A figura 4.43 apresenta um desenho esquemático ilustrando as variáveis medidas neste ensaio.

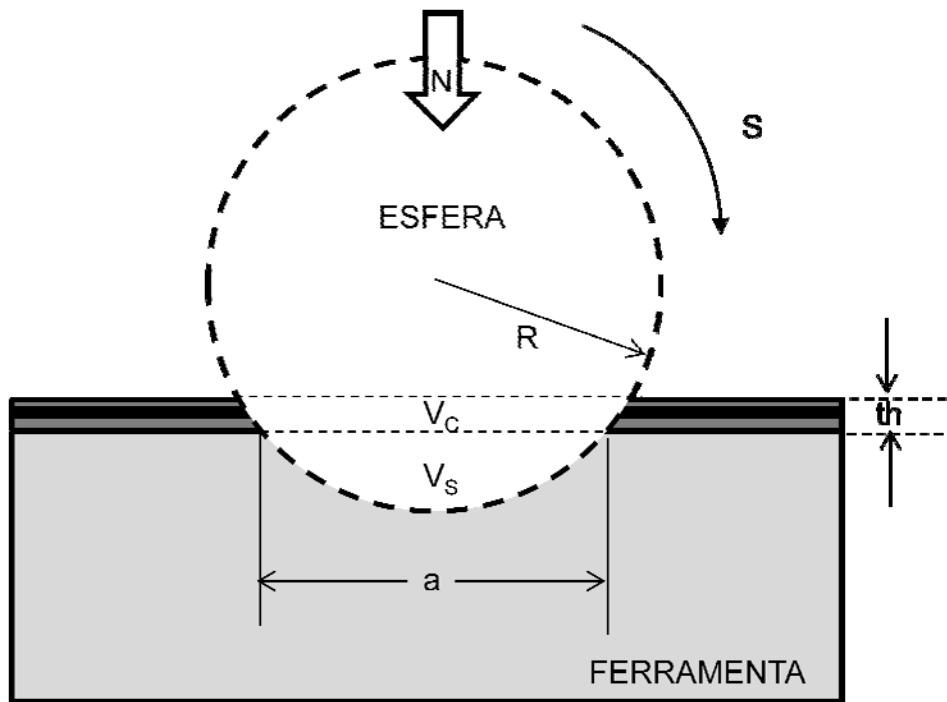


Figura 4.43 Desenho esquemático de um corte transversal ilustrando as grandezas medidas no teste abrasivo.

Para determinar os coeficientes de desgaste do revestimento e do substrato este trabalho adotou o método de Allsopp (KUSANO et al., 2004) para a linearização e cálculos do K_C e K_S . A espessura média dos revestimentos (th) foi calculada usando uma fotografia da seção transversal da ferramenta e microscopia eletrônica de varredura. A Equação 4.1 pode ser reorganizada na Eq. 4.4 para a linearização de SN/V_C com V_S/V_C .

$$\frac{SN}{V_C} = \frac{1}{K_S} \frac{V_S}{V_C} + \frac{1}{K_C} \quad (4.4)$$

Análises topográficas da cratera produzida pelo teste de microabrasão em uma das amostras (Fig 4.44), permitiu mostrar que a marca de desgaste reproduz o formato do contra-corpo, validando os equacionamentos formulados neste teste. A profundidade do desgaste depois de transcorridos 10 minutos de teste, para todas as amostras, foi superior a 30µm, ultrapassando assim a espessura dos revestimentos.

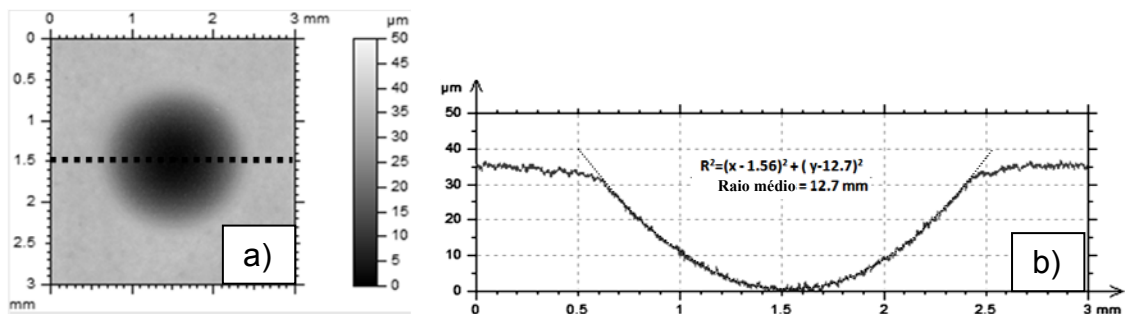


Figura 4.44 - Análise topográfica por interferometria a laser a) calota de desgaste; b) perfil do centro da calota. Amostra sem textura, concentração da lama 50 wt%, 10 minutos de teste.

O coeficiente de desgaste total (k_T), é calculado a partir do volume total de material removido (V_T) dividido pelo produto da carga normal e o deslizamento linear. Este coeficiente tende a um valor constante em função do deslizamento linear (Fig 4.45-b). Em todas as amostras este trabalho considerou o valor constante quando a variação do k_T fosse inferior a 5%, considerando os últimos quatro pontos medidos.

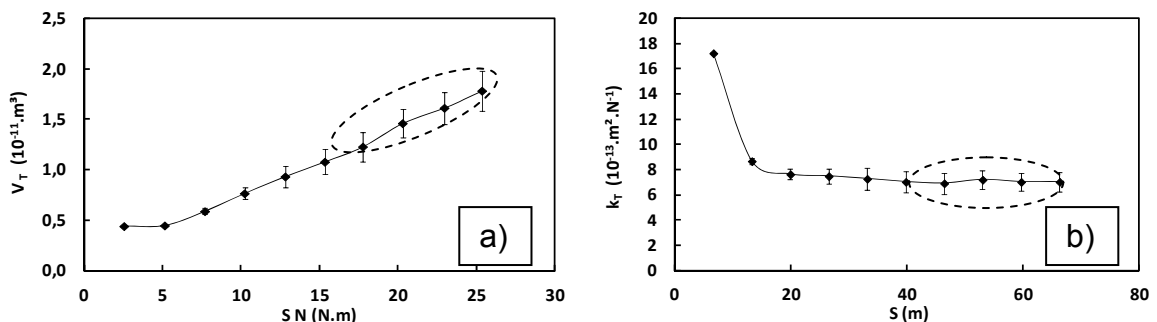


Figura 4.45 - Estado de equilíbrio em microabrasão da ferramenta sem textura a) variação do volume de material removido com o produto do deslizamento linear pela força normal; b) variação do coeficiente de abrasão com a distância de deslizamento; concentração da lama 0,5 g/cm³.

Neste estado de equilíbrio, o volume total de material removido (V_T) apresenta uma relação linear com o produto do deslizamento linear e a carga normal aplicada (Fig 4.45-a). Todos os testes obedeceram ao mesmo padrão dos gráficos da Fig. 4.45. Os coeficientes de abrasão (K_C e K_S) para cada amostra foram calculados pela linearização da Eq. 4.4. De acordo com a Eq. 4.4, a inclinação da reta determina o valor médio de K_S e a intercepção com o eixo das abscissas define o valor médio de K_C . A Figura 4.46 apresenta um exemplo do cálculo mostrando o gráfico linearizado para a ferramenta com marcas perpendiculares ao movimento da esfera.

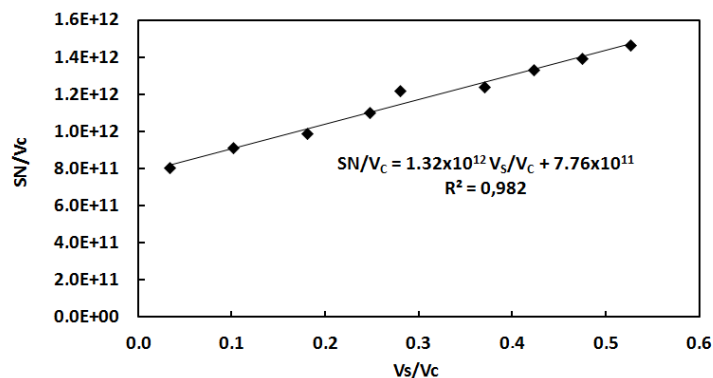


Figura 4.46 - Comportamento linearizado obtido da amostra com marcas perpendiculares ao movimento, concentração da lama $0,5 \text{ g/cm}^3$.

Os resultados dos valores de K_C e K_S para as ferramentas sem textura e texturizada com as marcas dispostas perpendicularmente e paralelamente ao movimento da esfera nas concentrações de lama de $0,5$ e $0,05 \text{ g/cm}^3$, respectivamente, são apresentados em gráfico de barras (Fig. 4.47).

Os gráficos de microabrasão mostram que:

As tendências do gráfico da Fig. 4.47-a mostra que o coeficiente K_C foi sensível à presença da textura e suas variações na orientação. O coeficiente de abrasão foi menor nas ferramentas convencionais (sem textura). Este gráfico também mostra que no uso da lama de maior concentração ($0,5 \text{ g/cm}^3$) houve um leve crescimento do valor médio de K_S quando comparado com as ferramentas sem textura. Os valores de K_C também foram maiores para as ferramentas texturizadas, ainda mais quando testadas na posição paralela ao movimento.

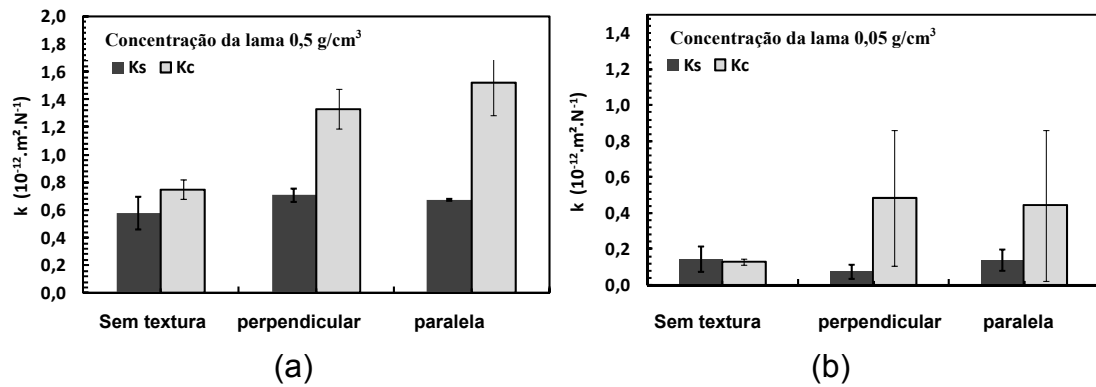


Figura 4.47 - Coeficientes de desgaste k_c e K_s das ferramentas sem textura e com marcas perpendiculares e paralelas. Concentração da lama abrasiva a) 0.5 g/cm³; (b) 0.05 g/cm³.

A Figura 4.48 apresenta os mecanismos de desgaste observados nas amostras estudadas.

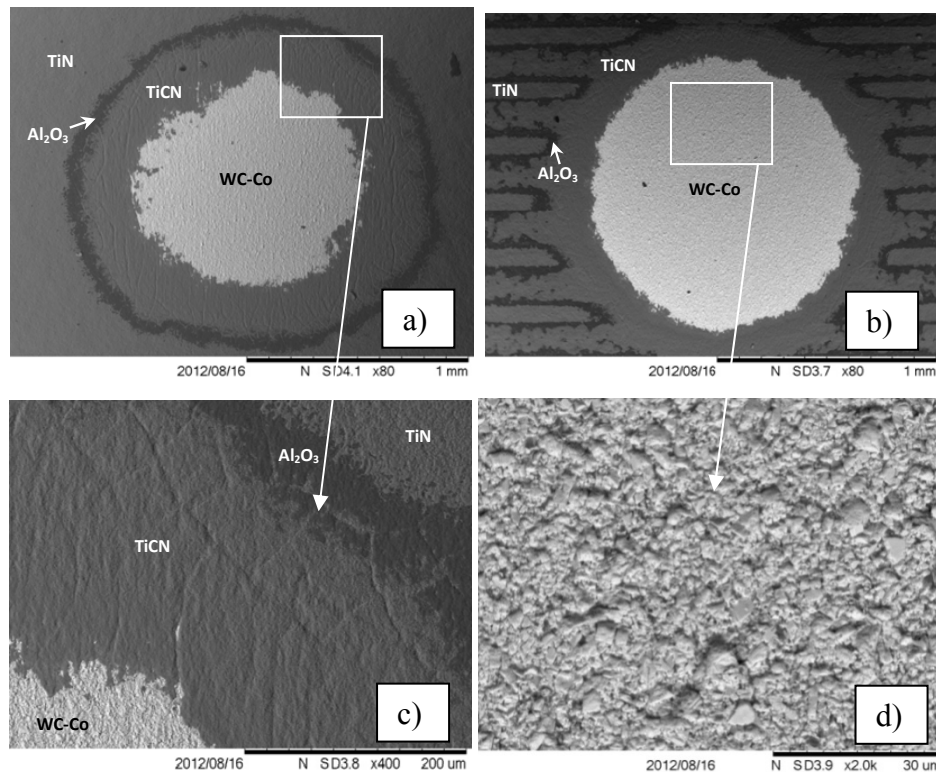


Figura 4.48 - Mecanismos de desgaste em testes de microabrasão, concentração da lama 0,5 g/cm³: calota de desgaste em a) ferramentas sem textura; b) textura perpendicular ao movimento; c) detalhe de (a); d) detalhe de (b) Concentração da lama abrasiva a) 0.5 g/cm³; (b) 0.05 g/cm³.

As amostras com as marcas paralelas apresentaram um valor de K_C 71% maior do que as ferramentas convencionais (sem textura). A diminuição na concentração do abrasivo para $0,05 \text{ g/cm}^3$ resultou, na tendência, em valores bem menores de K_S do que na concentração de $0,5 \text{ g/cm}^3$ para as três ferramentas. Neste caso em particular, a ferramenta com textura perpendicular ao movimento apresentou um decréscimo no valor médio de K_S de 49%, quando comparado com a ferramenta sem textura. Os gráficos da Fig.4.47-b, usando uma lama com concentração de $0,05 \text{ g/cm}^3$, mostram uma tendência de crescimento do K_C nas amostras texturizadas.

A Figura 4.48 a e b permitem observar os tamanhos das crateras apresentadas nos testes de microabrasão. A cratera apresentada na ferramenta sem textura foi menor quando comparada com as ferramentas texturizadas, sendo que em ambos os casos houve remoção de todas as camadas de revestimento. O mecanismo de abrasão observado na Fig 4.48 d, (lama com concentração $0,5 \text{ g/cm}^3$), apresenta características de múltipla endentação sugerindo um rolamento das partículas duras na interface. O uso de menores concentrações na lama abrasiva foi sugerido com o intuito de favorecer o deslizamento das partículas abrasivas na interface de contato. Trabalhos de microabrasão (ADACHI; HUTCHINGS, 2003 e SHIPWAY, 2004) mostram que a redução na concentração de partículas duras na interface leva a um acréscimo da carga por partícula o que induz ao deslizamento da partícula no processo de abrasão. A Figura 4.49 apresenta as marcas ou riscos deixados pelas partículas duras quando reduzida a concentração da lama abrasiva. Esta situação é mais próxima do fenômeno apresentado em usinagem.

A Figura 4.49 mostra os riscos apresentados nos testes de microabrasão com menor concentração da lama, com valores próximos ao diâmetro médio do abrasivo ($\cong 5\mu\text{m}$) (valor medido em uma aplicação maior). Os riscos apresentados em usinagem, aparentemente são menores (veja Fig. 4.42 b) indicando um tamanho menor nas partículas abrasivas atuantes no processo de torneamento.

De maneira global nenhuma das situações estudadas nos testes de microabrasão reproduziu o comportamento encontrado nos testes de usinagem (maior vida para a ferramenta texturizada).

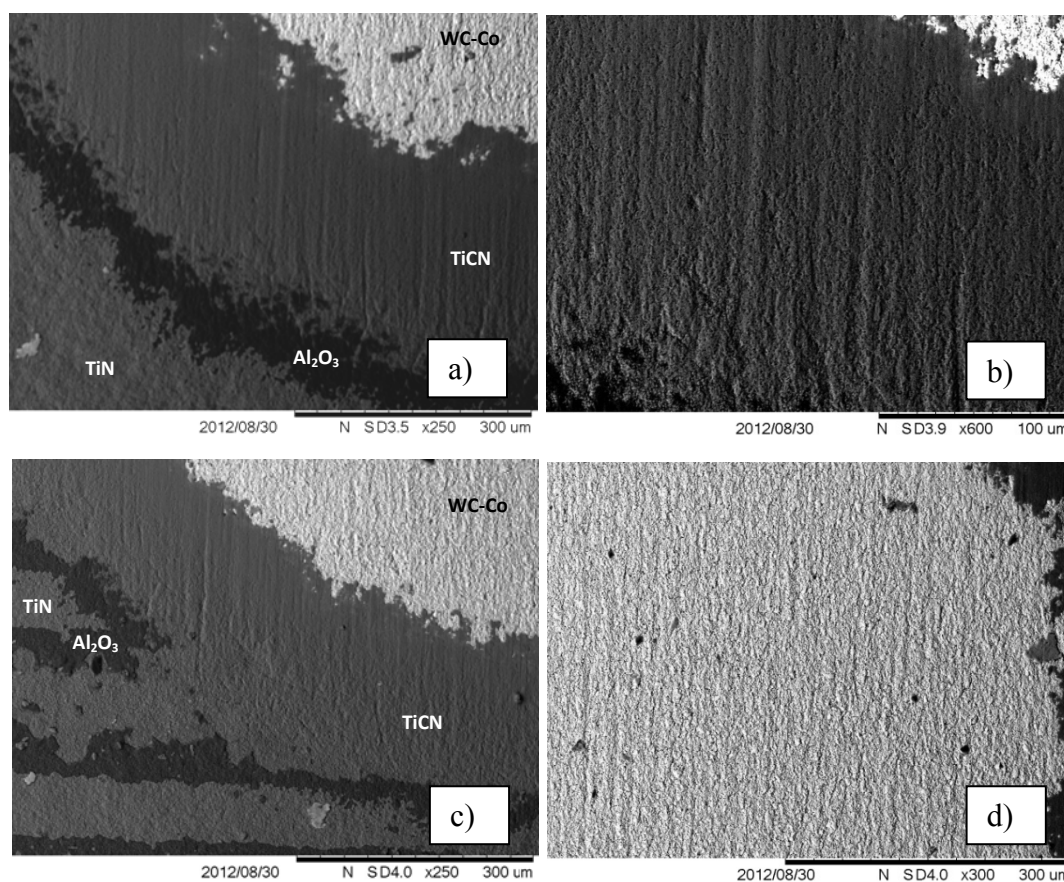


Figura 4.49 - Riscos em testes de microabrasão, concentração da lama abrasiva 0,05 g/cm³: a) ferramenta sem textura; b) detalhe na camada TiCN; c) ferramenta com textura perpendicular; d) detalhe de região do substrato.

Analisando os resultados de microabrasão, as ferramentas sem textura apresentaram uma resistência à abrasão maior do que as ferramentas que foram texturizadas, nas duas concentrações de lama estudadas. Este resultado é contraditório com os resultados encontrados na vida das ferramentas analisadas em usinagem. Um fenômeno que pode explicar estas diferenças é a delaminação sofrida pela ferramenta sem textura (veja anexo 1) em testes de usinagem. Provavelmente a vida da superfície da ferramenta é afetada por outros parâmetros tribológicos que não estão presentes na microabrasão, por exemplo os fluidos de corte com características especiais e as altas temperaturas presentes em usinagem. Este fato reforça a possibilidade das texturas estarem servindo de ponto de ancoramento de fluido de corte para promover melhoras no sistema tribológico da usinagem.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados neste trabalho e considerando as mesmas condições de usinagem conclui-se que:

Interação Laser-Materia

- Os testes realizados na primeira etapa mostraram que densidades de energia próximas de $3,05 \times 10^7 \text{ W/cm}^2$ são suficientes para produzir o início da remoção parcial do revestimento TiN.
- A repetição de passes sobre a superfície tratada leva a uma remoção proporcional de material do revestimento. A incidência repetida do feixe laser incrementa a quantidade de remoção, devido a uma maior reflexão dentro das cavidades geradas por passes prévios do laser.
- Para o tipo de ferramentas utilizadas neste trabalho, densidades de energia próximas de 3×10^7 , 6×10^7 e $2 \times 10^8 \text{ [W/cm}^2\text{]}$, removem parcialmente as camadas de TiN, Al_2O_3 e TiCN respectivamente.
- A segunda etapa deste trabalho permitiu verificar a característica de remoção do material da ferramenta pelo laser. A energia concentrada no centro do feixe produziu ablação em uma região menor ao diâmetro do feixe, mas, deixou uma região com

propagação de microtrincas do revestimento. Esta região é facilmente removida com o uso da ferramenta durante a usinagem.

Efeitos da texturização na usinagem do aço ABNT 1050.

- No estudo das três etapas deste trabalho concluiu-se que o uso de atmosferas sem fluido de corte mostrou-se contraproducentes com o uso de uma textura a laser. Os resultados de força indicam esforços com tendência a serem maiores do que aqueles apresentados com ferramentas sem textura. A vida das ferramentas com o uso de vazão reduzida de fluido (MQF) mostrou que as ferramentas sem textura são alternativas melhores.
- A estratégia de texturização usando a varredura do feixe superposta em ambos os sentidos de deslocamento (ETAPA1), não se mostrou adequada na criação de uma topografia que promove-se uma redução das forças de usinagem.
- A mudança na geometria das texturas não gerou variações significativas nos resultados de força usando ferramentas com e sem textura, isto sugere que as texturas aplicadas na superfície da ferramenta tiveram dimensões tais que a área de contato entre o cavaco e a ferramenta não foi significativamente alterada.
- Na etapa 3 (testes de vida), a velocidade de 150 m/min permitiu uma maior remoção de volume de material, ao longo da vida da ferramenta, se comparada com a velocidade de 350 m/min.
- O uso de texturas a laser mostrou-se eficiente nos casos de usinagem com atmosfera de jorro, apresentando a mesma resistência ao desgaste ou superior, quando comparada com ferramentas sem textura.
- Na usinagem com atmosfera de jorro, a ferramenta texturizada com marcas perpendiculares ao fluxo do cavaco (PP), resultou na maior vida de ferramenta, indicando que existe influência da topografia no sistema tribológico da interface cavaco-ferramenta, quando a atmosfera é abundante em fluido.
- Os desgastes de flanco das ferramentas que usinaram com atmosfera de jorro e baixa velocidade de corte foram iguais para as ferramentas com ou sem textura, mas, as

áreas afetadas termicamente na superfície de saída das ferramentas foram menores nas ferramentas com textura, principalmente quando as ferramentas foram dispostas com as marcas perpendiculares ao fluxo do cavaco.

- O uso de técnicas de microabrasão não reproduziu o comportamento apresentado pelas ferramentas testadas em usinagem, indicando que para as condições dos testes de usinagem estudadas, os fenômenos que desgastam a ferramenta são diferentes aos apresentados em um testes de microabrasão, entre os mais relevantes estão a delaminação do revestimento e a deformação plástica do substrato da ferramenta.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Para o estudo do desempenho de ferramentas texturizadas verifica-se que a simplificação dos testes pode ser venéfico. Assim, é fundamental o uso de ferramentas lisas (sem quebra-cavaco) e cortes ortogonais, isto para facilitar o estudo aprofundado do fenômeno físico da formação do cavaco, sugerindo-se: o uso de câmera de alta velocidade, estudo da microdureza do cavaco, estudo da espessura da zona de fluxo, entre outras.
- Aplicar a técnica de quick-stop para melhor compreender a influência das texturas no processo de formação do cavaco.
- Estudar a influência de texturas com geometrias bem definidas, como por exemplo, <<<; [[[; TTT; etc. Estas configurações podem ser mais efetivas na retenção de fluidos de corte.
- As dimensões das texturas também merecem ser estudadas, como por exemplo as nano texturas.
- Uma vantagem do uso de laser para texturizar é a versatilidade no número de materiais que podem ser texturizados, o que torna atraente o estudo simplificado de uma textura para diferentes pares ferramenta-peça. Ex (aço rápido, metal duro, cerâmica, CBN, PCD) com (alumínio, aço, FoFo, Níquel, entre outros).

CAPÍTULO VI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR ISO 4287, Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: método do perfil – Termos, definições e parâmetros de rugosidade. ABNT, 2002.
- ABNT NBR-6152 - Determinação das propriedades Mecânicas à tração de Materiais Metálicos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 22p. 2002.
- Adachi, K.; Hutchings I.M. Wear-mode mapping for the micro-scale abrasion test, *Wear*. n. 255, p. 23-29, 2003.
- Allmen M.V., *Laser-Beam Interactions with Materials. Physical Principles and Applications*. Springer-Verlag, New York, 1987.
- ANSI/ASME, Norma B46.1, 2002, “Surface Texture, Surface Roughness, Waviness and Lay”, American Society of Mechanical Engineers, 110 p.
- Arroyo, J. M. Investigação Sobre o Uso da Texturização a Laser na Preparação da Superfície a ser Recoberta em Ferramentas de Metal Duro para Fresamento. 2009. 166 f. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.
- Astakhov V.P., Shvets S.V., A system concept in metal cutting. *Journal of Materials Processing Technology*. v. 79, p. 189-199, 1998.
- Aurich JC, Zimmermann M, Leitz L. The preparation of cutting edges using a marking laser. In: *Production Engineering*, Springer Verlag. v. 5, n.1, p. 17-24, 2010.

- Blatter, A.; Maillat, M.; Pimenov, S.M.; Shafeev, G.A.; Simakin A.V.; Loubnin, E. N. Lubricated Sliding Performance of Laser-Patterned Sapphire. *Wear*. v. 232, pp. 226-230, 1999.
- Boehs, L.; Girondi, A. E. C.; Machado, A. R., *Materiais para ferramentas: as novas gerações e suas aplicações*, IX Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Florianópolis SC, Dezembro 1987, p. 1039-1042.
- Burakouzki T.; Wierzchon, T., *Surface Engineering of Metals - Principles, Equipments, Thecnologies*, Ed. CRC Press LCC, Poland, 1999, 592 p.
- Burakowski, T., Rolinski, E., and Wierzchoń, W.: *Metal surface engineering* (in Polish). Warsaw University of Technology Publications, Warsaw 1992.
- Cappelli, E., Orlando, S., Pinzari, F., Napoli, A., Kaciulis, S., 1999, "WC-Co Cutting Tool Surface Modifications Induced by Pulsed Laser Treatment", *Applied Surface Science*, vol. 138-139, pp. 376-382.
- Cook, N, H. "Chip Formation in Machining Titanium". *Proc. Symp. On March Griding Titanium Watertown arsenal, Watertown 72*, 31 março 1953, p. 1-7.
- Corfe, A.G., 1983, "Laser Drilling of Aero Engine Components". In: *Proceedings of the First International Conference on Lasers in Manufacturing*. Brighton, East Sussex, pp. 31-40.
- Costa, E. S., *Furação de Aços Microligados com Aplicação de Mínima Quantidade de Fluido - MQF.*, 2004, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia MG, Brasil.
- Costa, H. L., 2005, "Modification of Surface Topography: Manufacturing Methods and Applications", *Doctoral Thesis*, University of Cambridge, Cambridge, Inglaterra, 321 p.
- Custompart. Disponível em www.custompartnet.com/wu/turning Acessado em novembro de 2007.
- Da Silva, R. B., *Performance of Different Tool Materials in Finish Turning Of Ti-6Al-4V Alloy With High Preassure Coolant Supply Technology*, 2006. 299 p., Tese, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.
- Diniz A. E., Marcondes F.C., Coppini N. L., *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*. 3ª Ed., São Paulo, Artliber Editora, 2001.
- Diniz, A. E., M. S. F., Lima, Osorio, J. M. A., 2007, "WC-Co Coated Carbide Substrate Surface Texturing with a Pulsed CuHBr Laser", In: *COBEM 2007 19th International Congress of Mechanical Engineering*, Brasília, pp. 1-10.
- Dumitru, G.; Luscher, B.; Krack, M., 2005. "Laser Processing of Hardmetals": Physical basics and applications. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. N. 23, p. 278 – 286.
- Edwards, R., *Cutting Tools*, Institute of Materials, London UK, 1993, 200 p.

- Enomoto T., Sugihara T., Improving anti-adhesive properties of cutting tool surfaces by nano/micro-textures, *CIRP Annals - Manufacturing Technologie*, vol 59, p. 597-600, 2010.
- Etsion, I., 2009. "Energy Consevation with Laser Surface Texturing", Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, Palestra tecnológica, Universidade Federal de Uberlândia, 12 -14 Janeiro.
- Ferraresi D., 1981. "Fundamentos da Usinagem dos Metais", Vol. 1, ed. Edgard Blücher, São Paulo, 751p.
- Fu, Y., Du, H., Zhang, S., 2001, "Sputtering Deposited TiNi Films: Relationship Among Processing, Stress Evolution and Phase Transformation Behaviours", *Surface and Coatings Technology*, vol. 167, pp. 120-128.
- Hong, S. Y., Ding, Y., Jeong, J., Experimental Evaluation of Friction Coefficient and Liquid Nitrogen Lubrication Effect in Cryogenic Machining, *Machining Science and Technology: An International Journal*, vol. 6, Issue 2, 2002.
- Horne, J.G., Doyle, E.D., Tabor, D. "Direct Observation of Contact and Lubrification at a Chip-Tool Interface", *Proc. 1st. Int. Conf. on Lubrification Challenges in Metal Working and Processing*, Ill Research Institute, Chicago, USA, 7-9 Junho, 1978. 7p.
- Hutchings, I. M., *Tribology: friction and wear of engineering materials*, Ed. Edward Arnold, London, 1992. p. 284.
- Kawasegi N., Sugimori, H., Morimoto H. Morita M. Hori I., Development of cutting tools with microscale and nanoscale textures to improve frictional behavior, *Precision Enginnering*, vol 33, p. 248-254, (2009).
- Kawasegi, N., Sugimori, H., Morimoto, H., Morita, M., Hori, I., Development of cutting tools with microscale and nanoscale textures to improve frictional behavior, *Precision Engineering*, vol. 33, 2009, p. 248-254.
- Kikuchi, N. e Oden, J. (1988). *Contact Problems in Elasticity: A study of VariationalInequalities e Finite Element Methods*. SIAM.
- Kononenko, T.V., Garnov, S.V., Pimenov, S.M., Konov, V.I., Romano, V., Borsos, B., Weber, H.P., Laser ablation and micropatterning of thin TiN coatings, *Appl. Phys.* vol 71, p. 627–631, 2000, (DOI) 10.1007/s003390000572
- Koshy, P., Tovey, J., Performance of electrical discharge textured cutting tools, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 60, 2011, p. 153-156.
- Kusano Y., Van Acker K., Hutchings I.M., Methods of data analysis for the micro-scale abrasion test on coated substrates, *Surface and Coatings Technology* 183 (2004) 312–327.

- Lee, D. G., 1998, "Adhesion Improvement of Chemically Vapor Deposited Diamond Thin Films on Cemented Carbides via Laser Surface Modification", Doctoral Dissertation, University of Florida, 208 p
- Li, T.; Lou, Q.; Dong, J., 2002. "Improved Adhesion of Diamond Coating on Cobalt-Cemented Tungsten Carbide Hardmetal by Using Pulsed-UV-Laser subStrate Surface Pretreatment. Applied Surface Science". n. 193, p. 102-119.
- Liao Y.S., Lin H.M. Mechanism of Minimum Quantity Lubrication in High-Speed Milling of Hardened Steel, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 47, p. 1740-1747, 2007.
- Lima, M. S. F., 2006, "Apostila do Curso MT-289 - Processamento Laser de Materiais", Programa de Pós-Graduação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, São José dos Campos-SP.
- Lima, M. S. F., Neves, D., Diniz, A. E., 2005, "Machining with a Laser Treated Tool Steel Drill: Surface and Tool Life Aspects", I International Conference on Heat Treatment and Surface Engineering of Tools and Dies, Pula-Croatia, 8-11 de Junho.
- Low, D. K. Y., Li, L., Corfe, A. G., Byrd, P. J., 2001, "Spatter-free Laser Percussion Drilling of Closely Spaced Array Holes", International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol. 41, pp. 361-377.
- Machado, A. R., Machining of Ti6Al4V and Inconel 901 with a high pressure coolant system. Tese (Ph.D.). University of Warwick, 1990.
- Machado, A. R.; Gianini, W. L.; Gonçalves, R. A., Verificação experimental do comportamento das forças de corte e de avanço no torneamento dos aços ABNT 1020/1045 e do alumínio comercial, IX Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Florianópolis SC, Dezembro 1987, p. 1029-1033.
- Machado, A.R., Coelho, R.T., Abrão, A.M, Da Silva, M.B., 2011, "Teoria da Usinagem dos Materiais". 2da Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 384 p.
- Machado, A.R.; Wallbank, J., The effects of a high pressure coolant jet on machining, Journal of Engineering Manufacture. Part B1 208 (1994) 29-38.
- Milovic, R.; Wallbank, J. "The machining of low carbon free cutting steels with high speed steel tools". The machinability of engineering materials. Nova York: ASM International, 1983.
- Motta, M. F. Influência do fluido de corte no torneamento do aço ABNT 8640. Tese (em engenharia Mecânica). Uberlândia Universidade Federal de Uberlândia (UFU), 1994.
- Naccarato, L., Análise limite com condições de contorno unilaterais, COPPE/UFRJ, Tese (engenharia mecânica), Rio de Janeiro, 82 p., 2006.

- Neves D., 2010, “Influência da Texturização Laser na Vida de Ferramentas de Torneamento Revestidas por CVD e PVD”, Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em engenharia mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 194p.
- Neves D., Diniz A. E., Lima M. S. F., Efficiency of the laser texturing on the adhesion of the coated twist drills, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 179, p.139–145, 2006.
- Norma ISO-Standard 3685, 1977, “Tool-life Testing with Single-Point Turning Tools”, ISO-Standard, Switzerland.
- Obikawa, T., Kamio, A., Takaoka, H., Osada, A., Micro-texture at the coated tool face for high performance cutting, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, doi:10.1016/j.ijmachtools.2011.08.013., 2011.
- Oczooe, K.: Material shaping by concentrated energy fluxes (in Polish). Publ. By Rzeszów Technical University, Rzeszów, Poland 1988.
- Oliveira, A. C., 2006, “Microsoldagem em Chapas Finas Utilizando um Laser de Cu-HBr”, Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 112 p.
- Oraby S.A., Alaskari A. M., Mathematical Model experimental Approach on the Friction of the Tool-chip interface of Multi-coated Carbide Turning Inserts. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol 54, p 576 - 586, 2011.
- POSTNIKOV, S.N., Penetrating Ability Of Cutting Fluids, *Wear*, v. 10, 1967. p. 142-150.
- Ready, J.F. (editor): *LIA Handbook of Laser Materials Processing*, Laser Institute of America and Magnolia Publishing, Inc., 1st edition, 2001, 263-297.
- Riva, R. Apostila do curso: Princípios de Óptica, Laser e processamento de Materiais com Laser, Divisão de Fotônica - IEAv, Laboratório Dédalo, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Jose dos Campos, SP, 2007.
- Rutherford, K. L., Hutchings, I. M., Theory and Application of a Micro-Scale Abrasive Wear Test, *Journal of Testing and Evaluation*, 25, (1997) 250 - 260.
- Ryk, G.; Kligerman, E.; Etsion, I., 2002, “Experimental Investigation of Laser Surface Texturing for Reciprocating Automotive Components”, *Tribology Transactions*, Surface Technologies Ltd and Technion, Israel, Vol. 45, p 444 - 449.
- Santos, S. C., 2002, “Estudo da Influência de Revestimentos e da Aplicação de Fluidos de Corte no Desempenho de Brocas de Aço-Rápido e de Metal Duro Integral na Usinagem de Ferro Fundido Cinzento”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, 192 p., Uberlândia, MG.

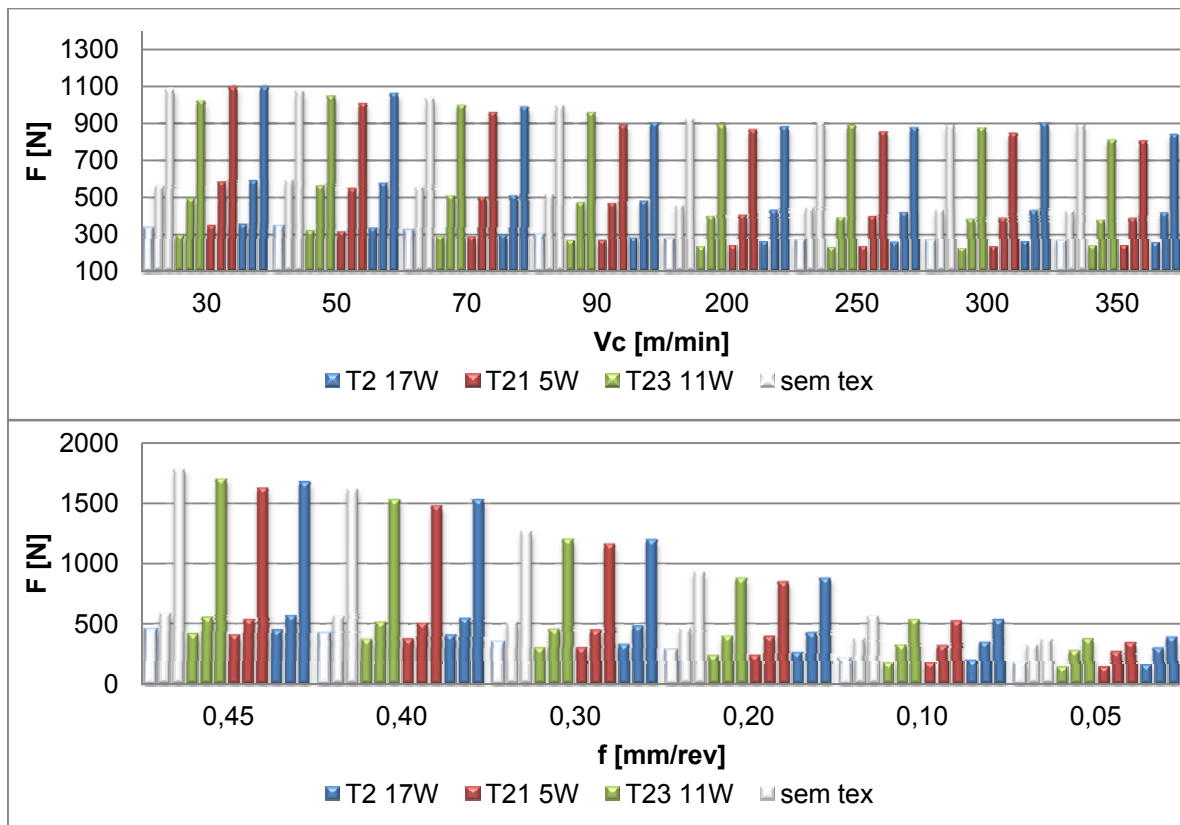
- Shaw, M.C., 1968. "Metal Cutting Principles". 3.ed. Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, Cap. 7, p.7.1-7.43.
- Shipway P.H., A mechanical model for particle motion in the micro-scale abrasion wear test, *Wear* 257 (2004) 984–991.
- Shuting, L., Sasikumar, D., Zenghu, C., A study of micropool lubricated cutting tool in machining of mild steel, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, 2009, p 1612;1620.
- Socovic, M., Mijanivic, K., Ecological Aspects of Cutting Fluids and Its Influence on Quantifiable Parameters of Cutting Process. *Journal of Materials Processing Technology*, V. 109, 2001. p.181-189.
- Stout, K. J., Blunt, L., Therr-Dimensional Surface Topography, Measurement, interpretation and applications, Second Edition, Penton Press, London, 2000.
- Suarez, M. P. Fresamento de Canais da Liga de Alumínio Aeronáutico 7075-T7, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 111f., 2008.
- Szymański, H., Friedel, K., S ów ko, W.: Electron beam equipment (in Polish).WNT, Warsaw 1990.
- Takatsuto, M., Bull., Japan, Society of Precision Engineering, vol. 22, june 1988, p. 109-114
- Tiejun, L., Qihong, L., Jingxing, D., Yunrong, W., Jun, Z., Jingru, L., Zhiming, Z., Fanghong, S., 2002, "Improved Adhesion of Diamond Coating on Cobalt-Cemented Tungsten Carbide Hardmetal by Using Pulsed-UV-Laser Substrate Surface Pretreatment", *Applied Surface Science*, vol. 193, pp. 102-119.
- Trent, E. M.; Wrigth, P, K., 2000 "Metal Cutting", 4a. Ed., Butterworths, England,. 446p.
- Viana, R., 2009, "Estudo da Caracterização de Ferramentas de Corte Texturizadas a Laser e Revestidas Utilizadas no Fresamento Frontal do Ferro Fundido Vermicular", Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. FEMEC – UFU, Uberlândia – MG, 143p.
- Watanabe, K., Natsume, J., Hashizume, K., Ozasa, T. O., Nada, T., Masuda, Y., 2000, "Theoretical Analysis of Bearing Performance of Microgrooved Bearing", *JSAE Review*, v. 21, pp. 29-33.
- Yuhara D. A., 2000. "Aplicação de Revestimento PVD em Ferramentas de Corte", *Brasimet Com. Ind. S.A.* 9 p., Disponível em <<http://www.brasimet.com.br>>. Acesso em 13 jul. 2009.
- Zhang, W., Yao, Y. L., Cheng, J. Combined research and curriculum development: nontraditional manufacturing. Disponível em <<http://www.columbia.edu/cu/mechanical/mrl/ntm/pgIndex.html>>, Acesso em 20 de Julho de 2011.

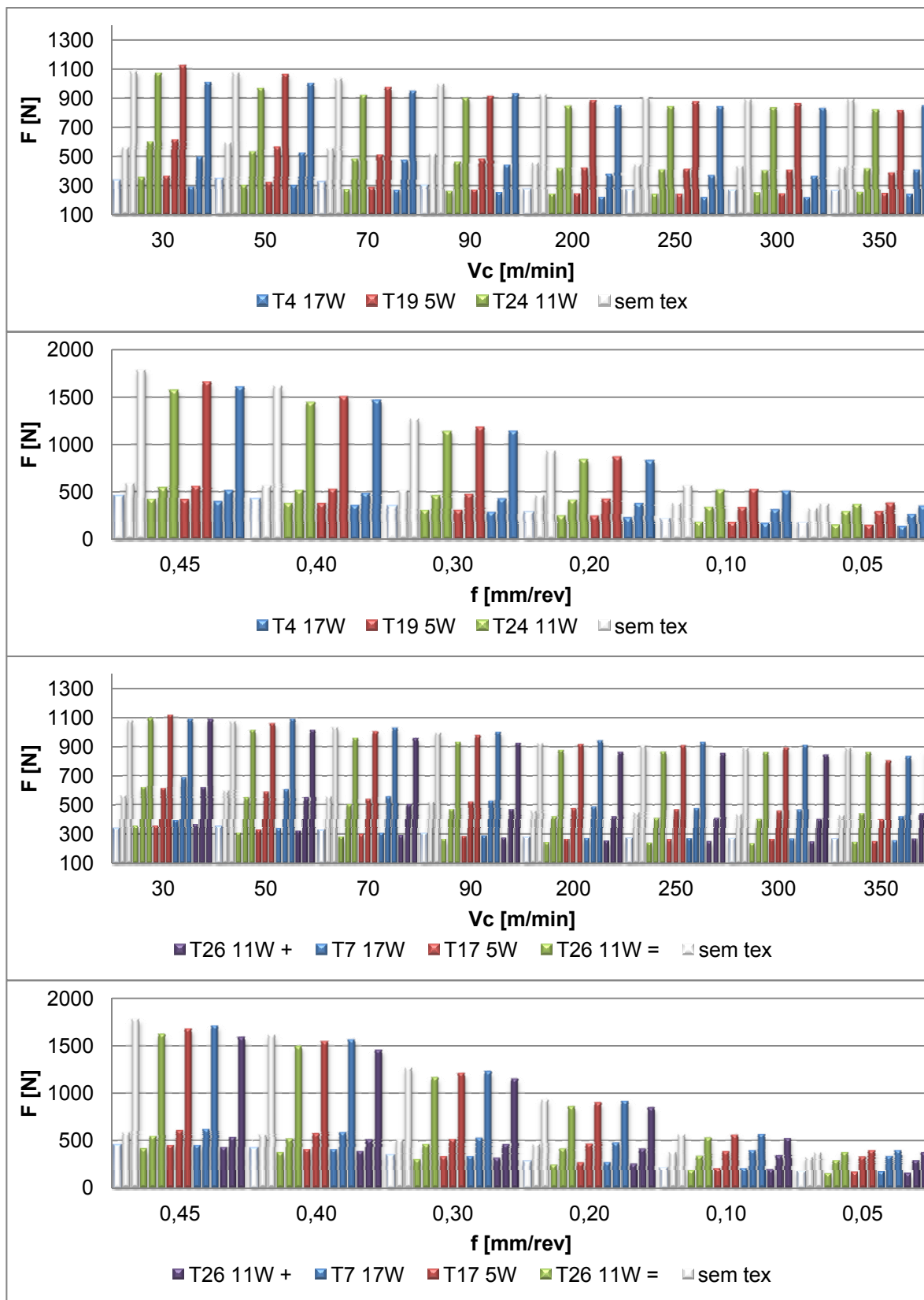
Zhang, W.; Yao, Y. L., Laser Materials Processing, Manufacturing Engineering Handbook, McGraw-Hill, 2004, p. 34.1-34.22.

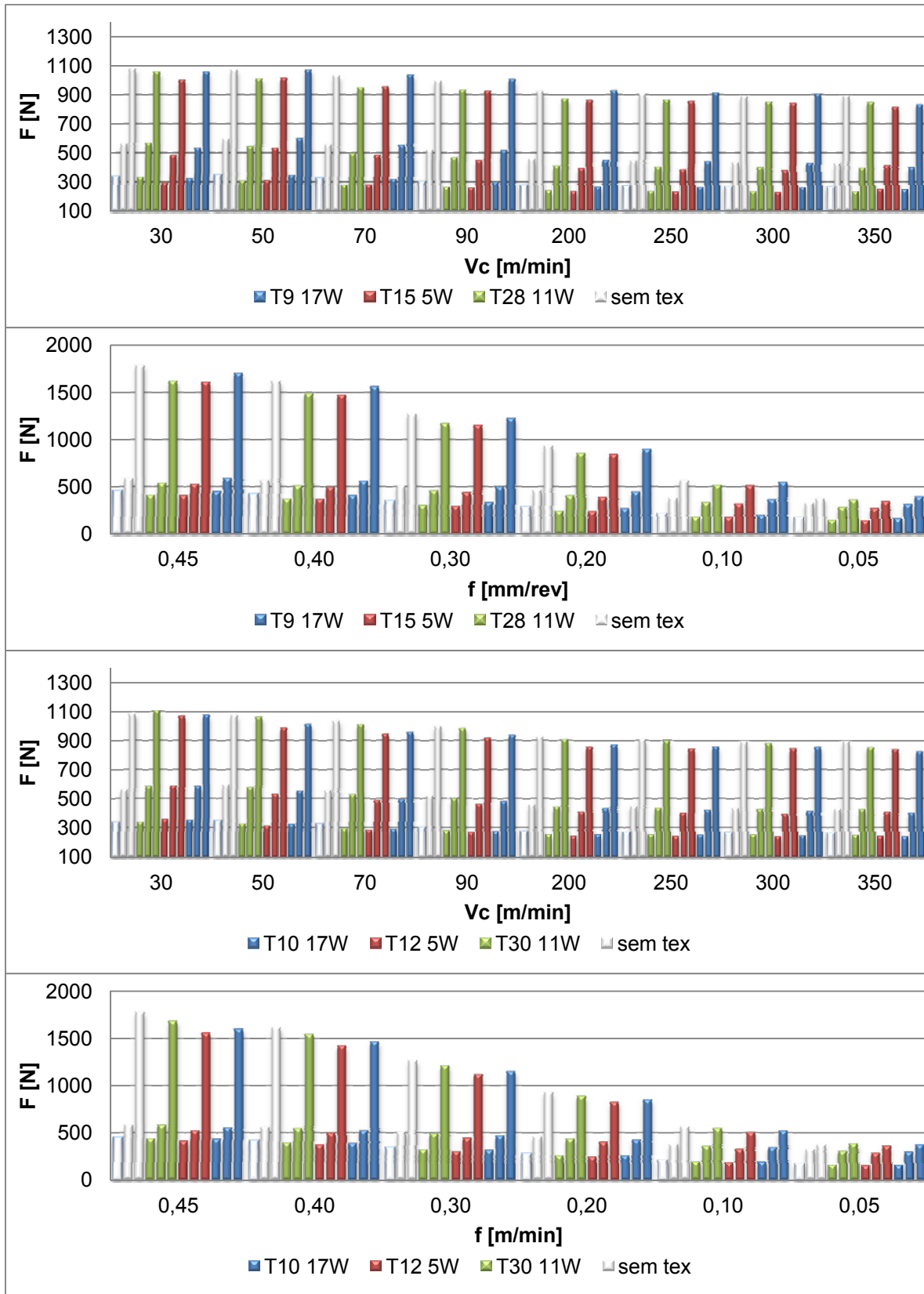
CAPITULO VII

ANEXO I - FORÇAS DE USINAGEM EM FERRAMENTAS DA SEGUNDA ETAPA

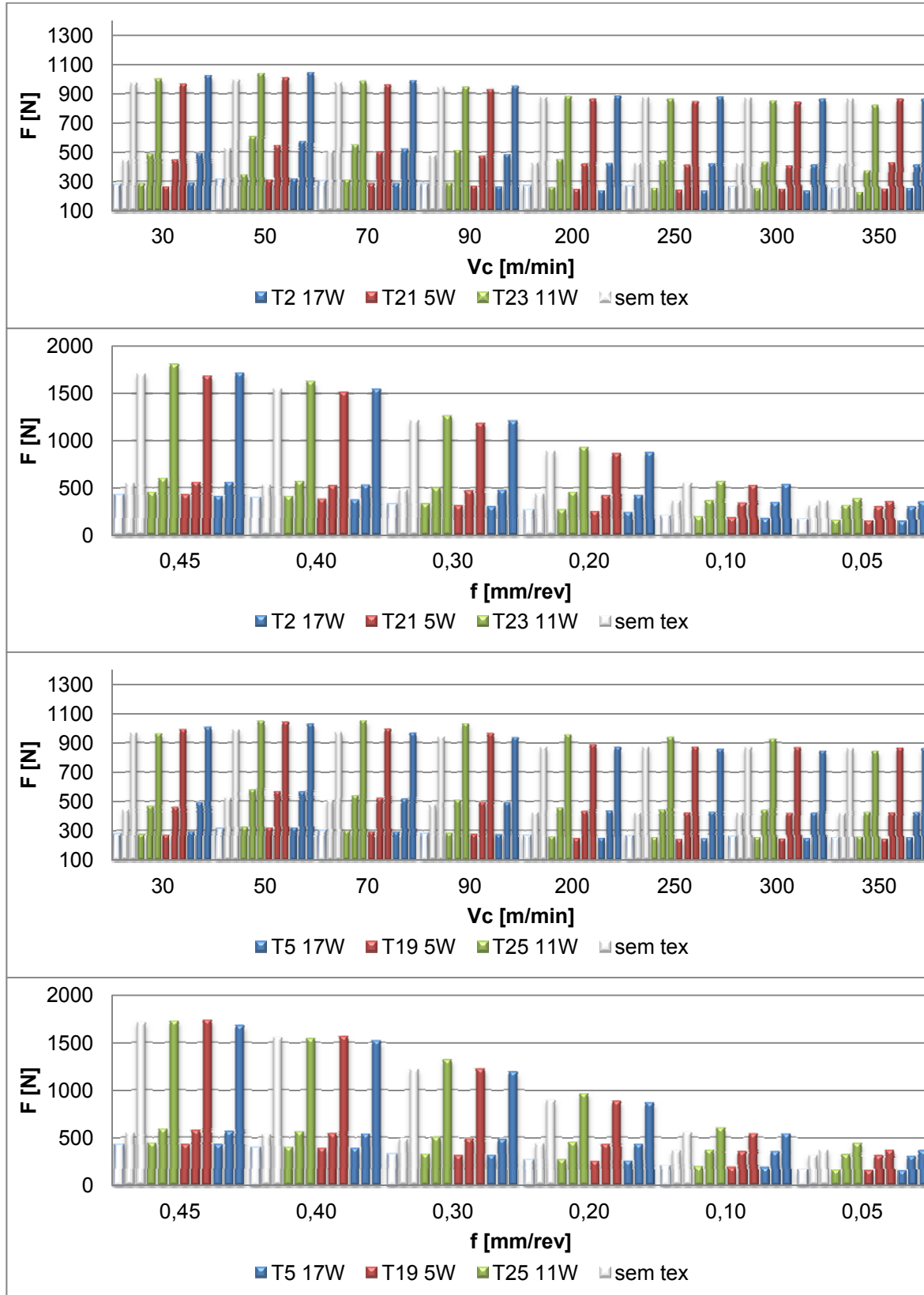
USINAGEM A SECO - Forças de corte, avanço e passiva, em atmosfera a seco, para 5 texturas nas potências de 5, 11 e 17 W. [$v_c = (30-350)$ m/min., $f = 0,2$ mm/rev.] e [$f = (0,05-0,45)$ mm/rev., $v_c = 200$ m/min], $a_p = 2$ mm.

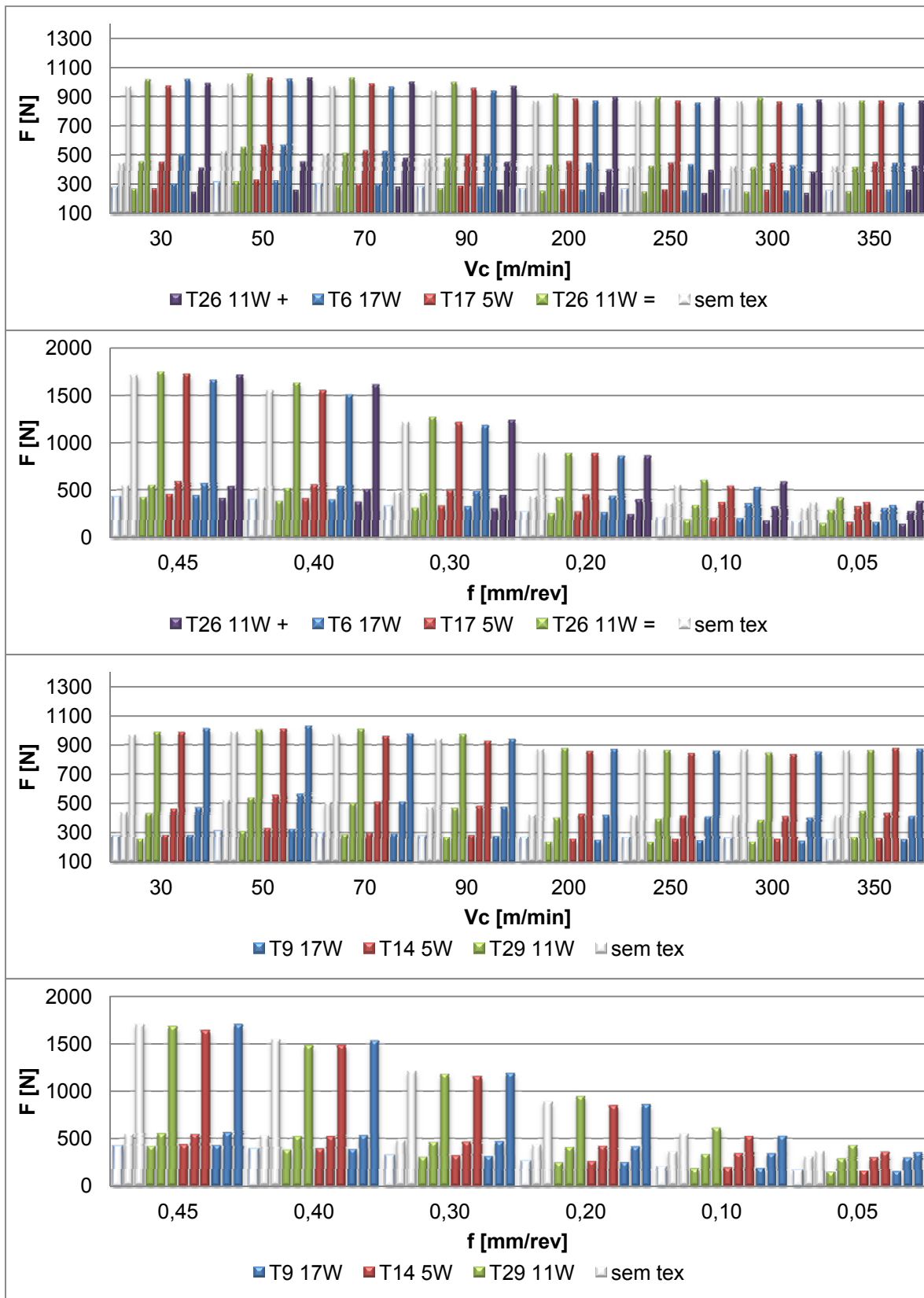


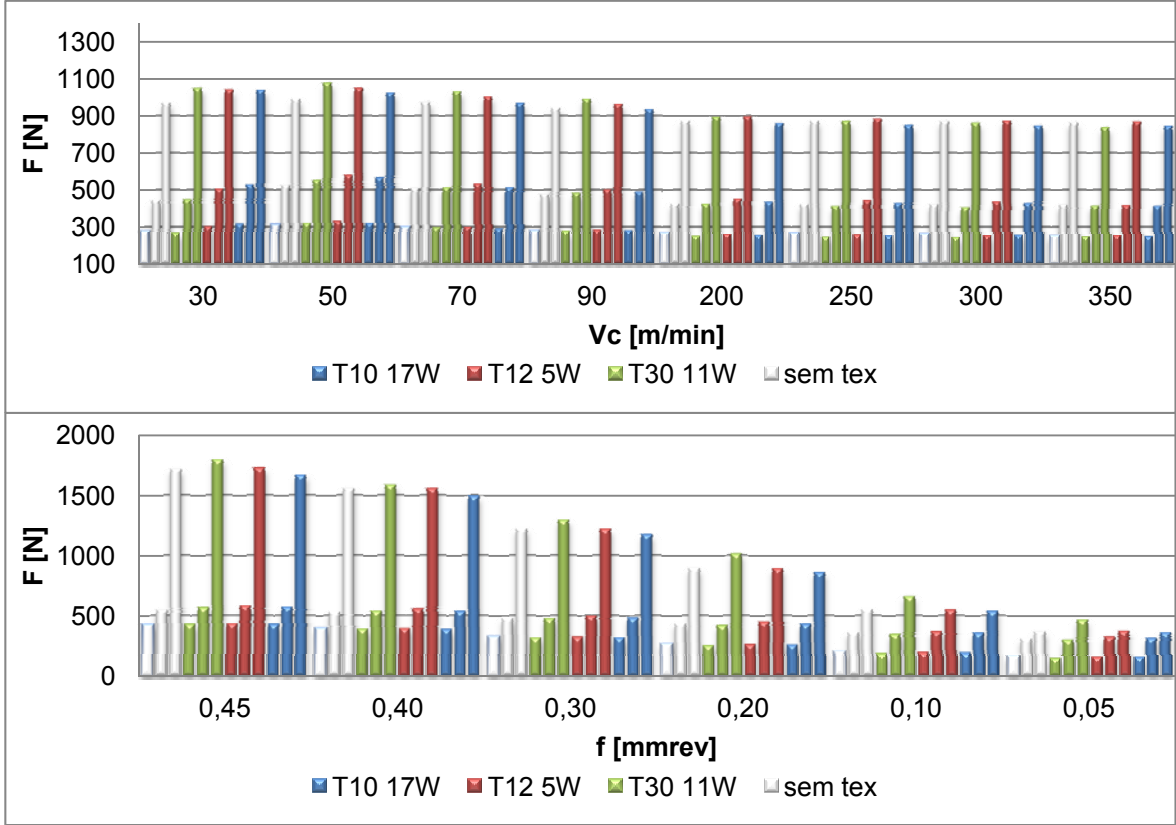




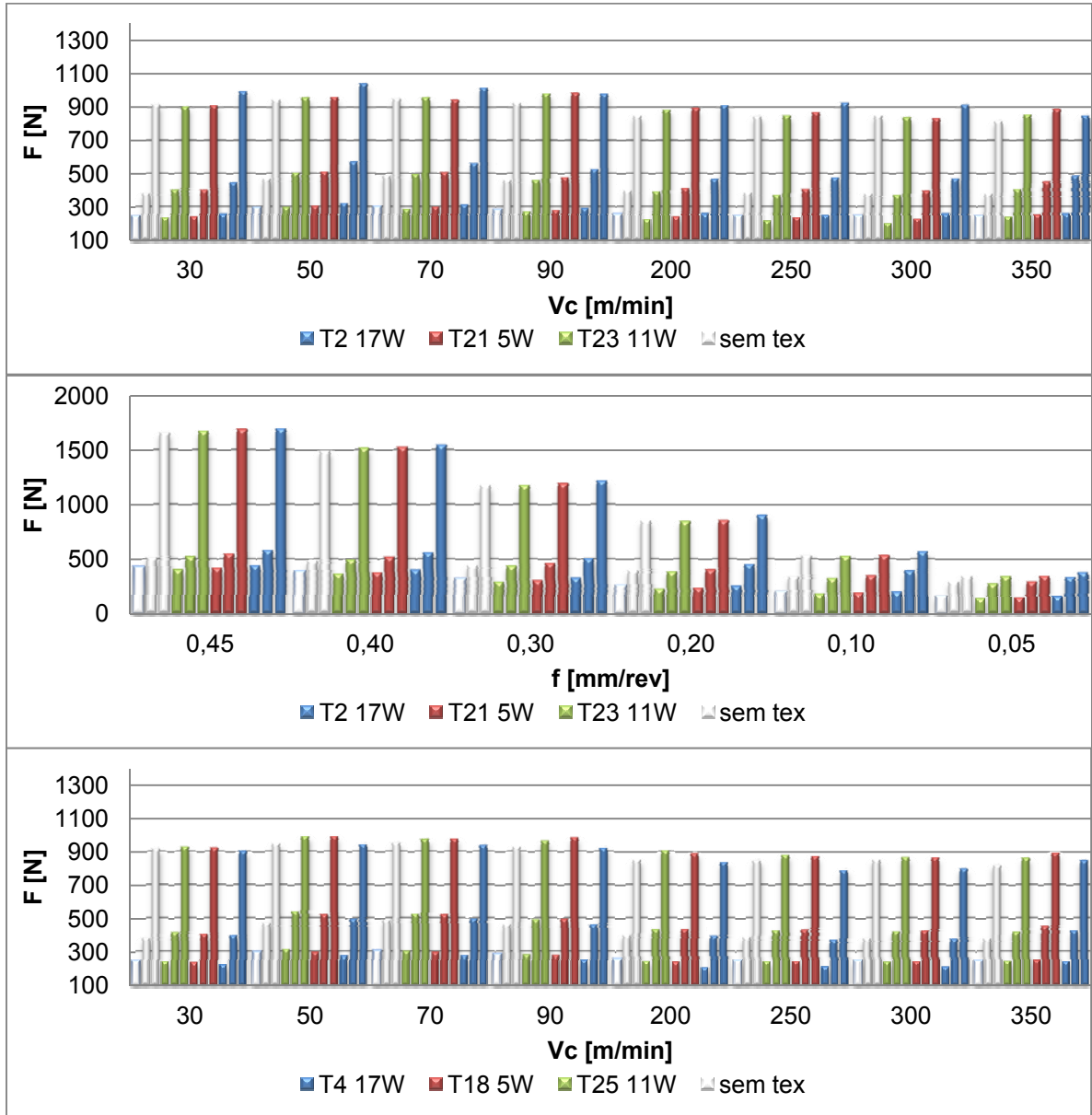
USINAGEM COM MQF - Forças de corte, avanço e passiva, em atmosfera a MQF, para 5 texturas nas potências de 5, 11 e 17 W. [$v_c = (30-350)$ m/min., $f = 0,2$ mm/rev.] e [$f = (0,05-0,45)$ mm/rev., $v_c = 200$ m/min], $a_p = 2$ mm.

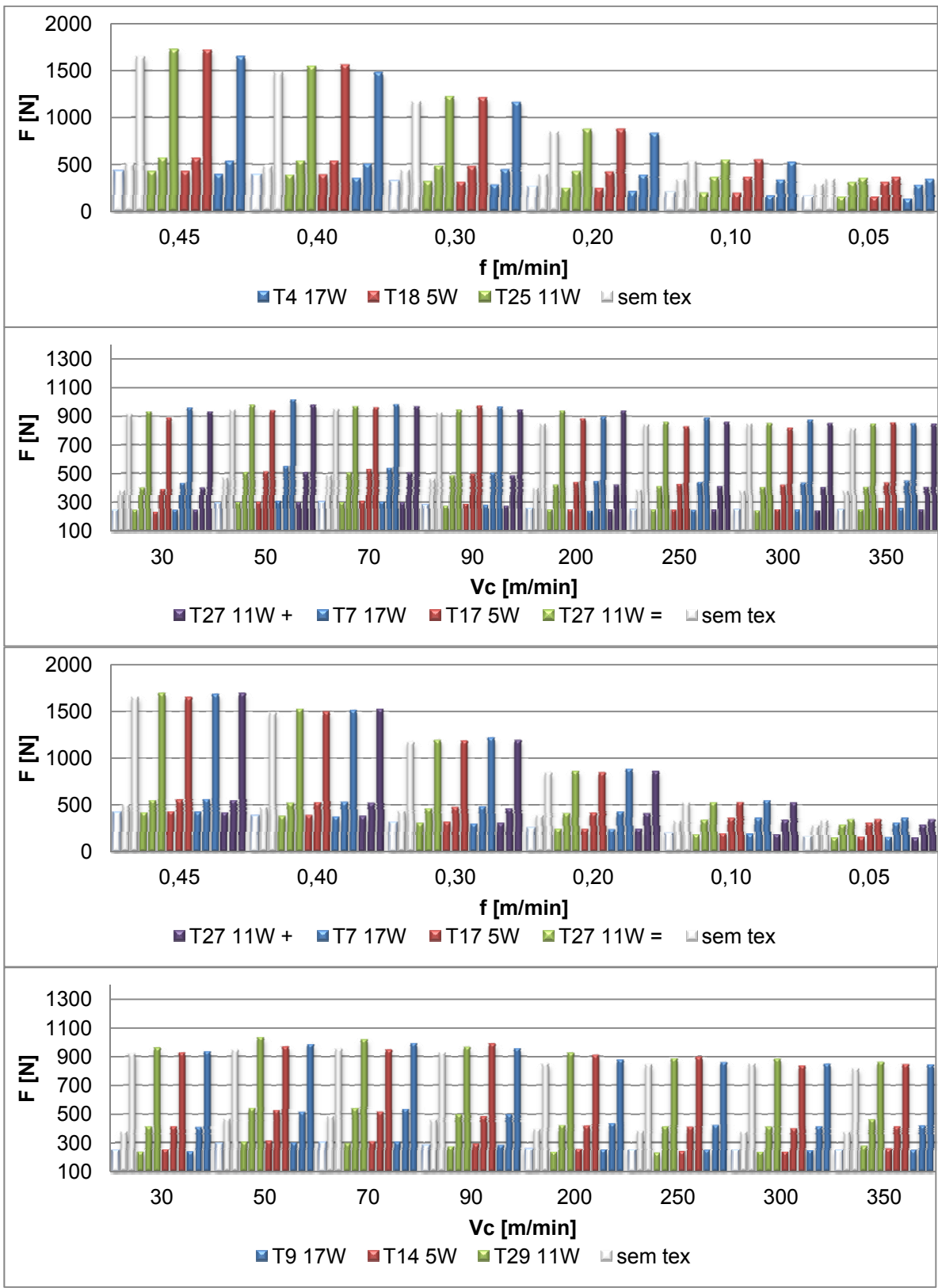


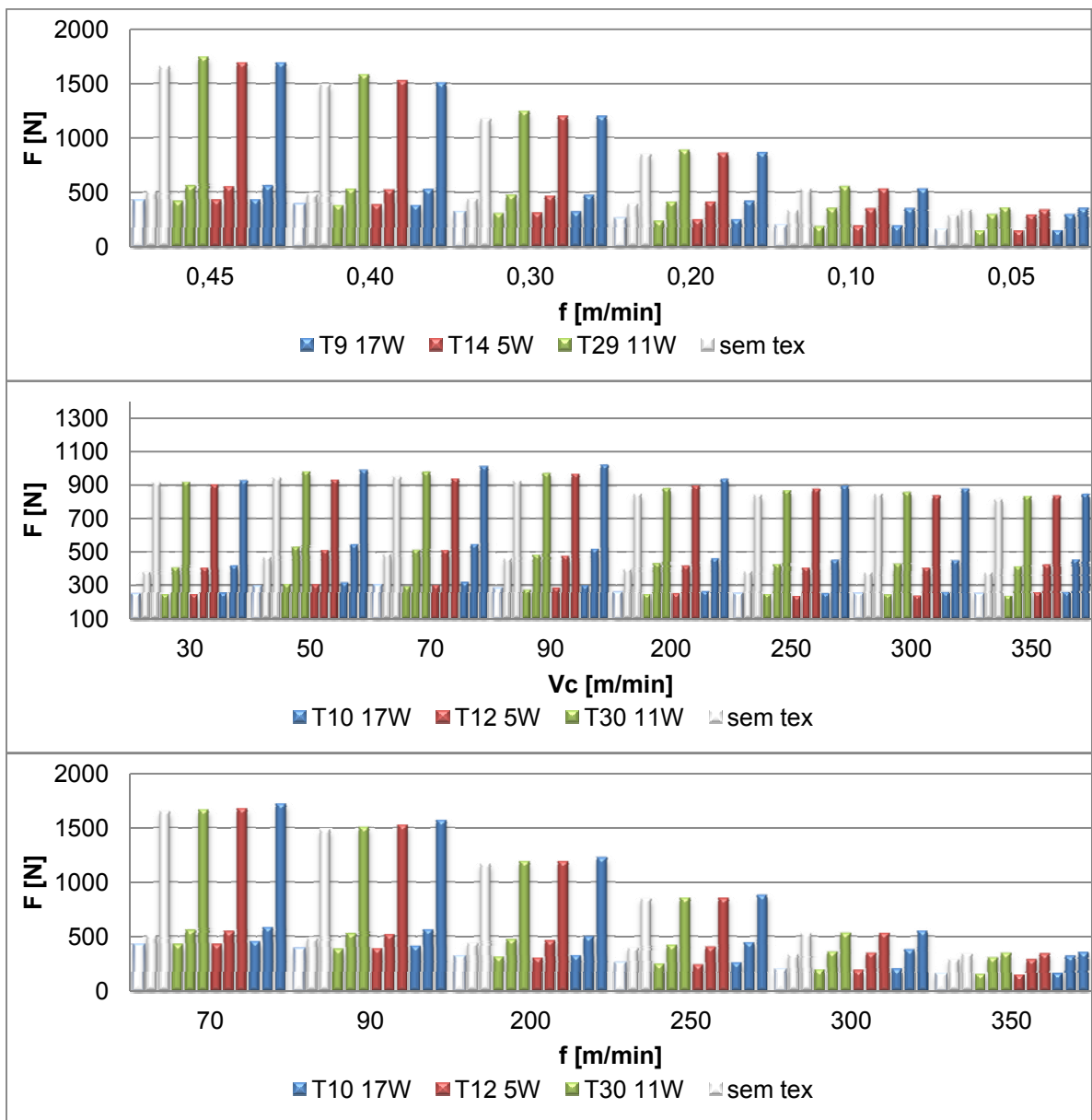




USINAGEM COM JORRO - Forças de corte, avanço e passiva, em atmosfera a jorro, para 5 texturas nas potências de 5, 11 e 17 W. [$v_c = (30-350)$ m/min., $f = 0,2$ mm/rev.] e [$f = (0,05-0,45)$ mm/rev., $v_c = 200$ m/min], $a_p = 2$ mm.







ANEXO II EVOLUÇÃO DO DESGASTE NA SUPERFÍCIE DE SAÍDA - EM FERRAMENTAS DA TERCEIRA ETAPA

Vista do progresso do desgaste da superfície de saída das ferramentas testadas em usinagem com jorro, v_c 350 m/min., $a_p = 2$ mm e $f = 0,25$ mm/rev. (Cada fotografia representa uma parada no teste para medição de desgaste.)

