

USINAGEM COM FLUIDO DE CORTE À ALTA PRESSÃO

Vitor Tomaz Guimarães Naves;
Marcio Bacci da Silva.

Resumo: Em processos de usinagem o uso de fluido de corte é uma medida que, quando escolhido e aplicado de forma adequada, favorece a redução do calor gerado durante a formação do cavaco, consequentemente podendo aumentar a vida da ferramenta, beneficiar o acabamento superficial de peças usinadas, auxiliar na remoção do cavaco, proteger a máquina contra corrosão atmosférica e etc. E para aumentar a eficiência da ação lubrificante e refrigerante dos fluidos de corte, é importante que este fluido atinja regiões mais próximas possível do ponto crítico nas zonas de cisalhamento secundário, durante a formação do cavaco, e uma técnica para alcançar esta região é através do uso de fluido de corte à alta pressão. Este trabalho mostra resultados do desgaste em ferramentas de corte durante a usinagem do aço inoxidável ABNT 316 quando usinado a seco e com aplicação de fluido de corte. O fluido de corte foi aplicado de maneira convencional, em forma de jorro, e através de jatos à alta pressão. As pressões do fluido injetado à alta pressão foram de 10 MPa, 15 MPa e 20 MPa. Os jatos para esta aplicação foram orientados para a superfície de saída da ferramenta e direcionados para a aresta de corte. A velocidade de corte foi de 300 m min^{-1} , o avanço de $0,2 \text{ milímetros rev}^{-1}$ e a profundidade de corte de 1 mm. Foram observados durante os testes de usinagem que o tipo de desgaste predominante foi o de ponta da ferramenta e o mecanismo de desgaste que se destacou foi o de adesão. Os resultados mostram uma significativa redução do desgaste da ferramenta quando o fluido à alta pressão foi aplicado. Constatou-se que a pressão de 15 MPa foi a que melhor contribuiu para o processo de usinagem, gerando o menor desgaste na ferramenta de corte.

1. Introdução

Os fluidos de corte são comumente empregados em processos de fabricação com o objetivo de atender as necessidades de lubrificação e refrigeração durante a remoção de material. Em se tratando de usinagem, as elevadas concentrações de energia térmica e as altas tensões cisalhantes geradas durante a formação do cavaco influenciam no aparecimento de desgaste em ferramentas de corte, o que pode comprometer a integridade da superfície usinada e outros fatores ainda pode ser afetados. A justificativa então para o uso de fluido de corte é retardar estes danos e beneficiar a qualidade do processo produtivo de uma forma geral.

Trent e Wright (2000) relatam que os fluidos de corte não devem apenas melhorar os processos de usinagem, mas também satisfazer uma série de outros fatores, como por exemplo, não pode ser tóxico ou ofensivo à saúde do operador; não deve apresentar risco de incêndio, não oferecer algum tipo de prejuízo ao sistema de lubrificação de máquinas ferramentas, não deve corroer ou manjar o material usinado, deve fornecer uma proteção contra corrosão à superfície do material usinado e para a máquina ferramenta e, logicamente ser de baixo custo para viabilizar sua aplicação. Para Machado et. al. (2009) a escolha apropriada de um fluido de corte deve recair naquele que possui composição química e propriedades corretas, para atacar as adversidades de um processo de corte específico. Deve ser aplicado usando um método que permite que o fluido chegue o mais próximo possível da aresta de corte, dentro da interface cavaco-ferramenta, para que ele possa exercer suas funções apropriadamente.

A aplicação de fluidos de corte à alta pressão é uma técnica utilizada em usinagem que permite refrigerar e lubrificar regiões bem próximas à ponta da ferramenta, o que melhora de maneira significativa o controle do cavaco, propicia o uso de velocidade de corte mais alta, contribuindo para o aumento da taxa de remoção de material e retardando a evolução do desgaste nas ferramentas de forma eficaz. O fluido de corte quando aplicado em alta pressão facilita a refrigeração da interface cavaco-ferramenta e favorece a redução do calor gerado durante os processos de usinagem. Contribui também na redução do atrito durante o escoamento do cavaco pela superfície de saída da ferramenta, promovendo um contato mais suave na movimentação do cavaco sobre a superfície de saída o que contribui para aumentar a integridade da ferramenta. Estas características dos fluidos tornam-se possíveis devido à capacidade de penetração do jato, reduzindo o ângulo do plano de cisalhamento primário através de sua atuação sobre o cavaco, criando uma cunha hidráulica entre a ferramenta e a peça. Dessa maneira é importante que o jato seja forçado a atingir a aresta de corte com alta pressão e impacto suficiente para diminuir a curvatura do cavaco, favorecendo a sua quebra.

O uso de fluidos de corte à alta pressão não deve ser visto como um meio para compensar deficiências, provenientes de outros fatores de aplicação – como ferramentas e máquinas inadequadas, instabilidade no processo, dados de corte incorretos entre outros, mas sim como uma tecnologia que pode contribuir na usinagem de materiais exigentes como, por exemplo, titânio, níquel e suas ligas devido à alta taxa de calor gerado na formação do cavaco destas ligas. Se o fluido for estrategicamente aplicado, em jatos bem direcionados com alta pressão, ele pode ser vantajoso em várias aplicações, podendo reduzir os esforços de usinagem, consequentemente reduzindo a potência elétrica consumida pela máquina, melhorar o acabamento superficial e contribuir para precisão dimensional e geométrica de peças usinadas.

A eficiência dos processos de usinagem pode ser influenciada pela utilização correta dos fluidos de corte. Um fluxo abundante e sem direção específica sobre a região de corte é a forma mais tradicional de aplicação. Contudo, esse método perde eficiência em altas velocidades de corte (Micaroni, 2006). Fluidos de corte podem favorecer os processos de usinagem, e é importante que ele atinja regiões próximas à aresta de corte. De uma forma geral os fluidos de corte usualmente empregados nas operações de usinagem devem apresentar fatores importantes que justifiquem o seu uso. Logo, deve-se considerar principalmente os custos operacionais de sua aplicação, as exigências legais de conservação do meio ambiente e a preservação da saúde do operador da máquina.

Machado (1990) usinando uma liga Ti-6Al-4V e Inconel 901, Bonney (2004) trabalhando com ligas a base de Níquel e Inconel 718, Da Silva (2006) na pesquisa da liga Ti-6Al-4V e Micaroni (2006) com a usinagem de aço ABNT 1045 são exemplos de pesquisadores que investigaram a ação de fluidos de corte à alta pressão no processo de torneamento. Em outro trabalho Machado e Wallbank (1994) investigaram as forças de corte, temperatura de corte, formação do cavaco, integridade superficial e mecanismos de desgaste de uma liga Ti-6Al-4V e concluíram que o sistema de aplicação do fluido à alta pressão reduziu o comprimento de contato cavaco-ferramenta e a temperatura de corte, porém não causou mudanças significativas nas forças de corte. O desgaste ocorreu de forma reduzida aumentando assim a vida da ferramenta.

Sales et. al (2011), em sua investigação no torneamento da liga Ti-6Al-4V, concluiu que o aumento da pressão no fluido de corte de fluxo convencional para 7 MPa de pressão forneceu benefícios na vida da ferramenta e na rugosidade superficial. Estes autores avaliaram também a pressão de 11 MPa para o jato de fluido e concluíram que esta pressão fez aumentar o desgaste da ferramenta, reduzindo a vida da ferramenta quando comparado com a pressão de 7 MPa. A justificativa para este comportamento foi dada pelo fato da troca de calor na interface cavaco-ferramenta aumentar, fazendo com que a temperatura na zona de corte fique reduzida significativamente, o que pode ter comprometido a usinagem devido ao encruamento do material.

O objetivo deste trabalho é apresentar resultados que justifiquem a utilização do fluido de corte à alta pressão e comparar com a usinagem a seco e fluido aplicado na forma de jorro durante o torneamento de um aço inoxidável ABNT 316.

2. Procedimento Experimental

Foram utilizados insertos de metal duro da classe K com especificação CNMA 120408-KR 3205 da Sandvik sem quebra cavacos. Os insertos possuem geometria rombóide com ângulo de 80°. A técnica de revestimento nas ferramentas é a MTCVD (*Medium Temperature Chemical Vapour Deposition* ou deposição química de vapor em médias temperaturas) com composição de carbonitreto de titânio, óxido de alumínio e nitreto de titânio. Estas ferramentas caracterizam-se pela sua dureza que oferece resistência ao desgaste por abrasão, resultando na redução do desgaste de flanco.

O fluido de corte foi aplicado com pressões de 10 MPa, 15MPa e 20 Mpa e na forma de jorro. A velocidade de corte foi de 300 m/min, o avanço de 0,2 mm/revolução e profundidade de corte de 1 mm. O fluido utilizado foi uma solução de água e óleo de base vegetal (Blaser – Vasco 1000) com concentração de 5%. Os testes de usinagem foram realizados em um torno CNC modelo Multiplic 35D da fabricante ROMI com 16 kW de potência. A unidade de bombeamento de fluido de corte à alta pressão é o modelo HVC 20 fabricado pela Kennametal.

Nos testes com fluido de corte aplicado à alta pressão, o jato de 10 MPa, forneceu uma vazão de 13,2 l/min a uma velocidade do jato de 81,8 m/s. Para a pressão de 15 MPa a vazão foi de 16,8 l/min e a velocidade do jato de 104,2 m/s. Por fim, a pressão de 20 MPa, fez com que a vazão fosse de 18,6 l/min o que dava uma velocidade de 115,3 m/s. O diâmetro do orifício de saída do jato de fluido de corte à alta pressão é de 1,85 mm e localizava-se aproximadamente a 8 mm de distância da ponta da ferramenta.

As velocidades adquiridas pelo jato contribuíram para que uma cunha hidráulica entre o cavaco e a superfície de saída da ferramenta fosse formada, favorecendo de forma bastante positiva a função de quebra cavaco. Desta forma, os cavacos coletados eram do tipo segmentado em forma de lascas ou pedaços. Já no sistema de aplicação a jorro, a pressão estática era muito pequena, ou quase nula com vazão de 8,5 l/min. Para as aplicações a seco e com jorro o tipo do cavaco foi contínuo com forma emaranhada. Machado et al. (2009) reforçam que os cavacos contínuos são indesejáveis pois eles podem causar muitos problemas, e se eles não quebrarem naturalmente, um quebra-cavaco deverá ser usado para promover a sua fragmentação e desta forma facilitar o processo de usinagem.

A Figura 1 mostra o corpo de prova preso à castanha do torno, a mangueira flexível que é acoplada ao porta ferramenta e por onde o fluido é escoado, um manômetro analógico e o sistema de medição de força de usinagem.

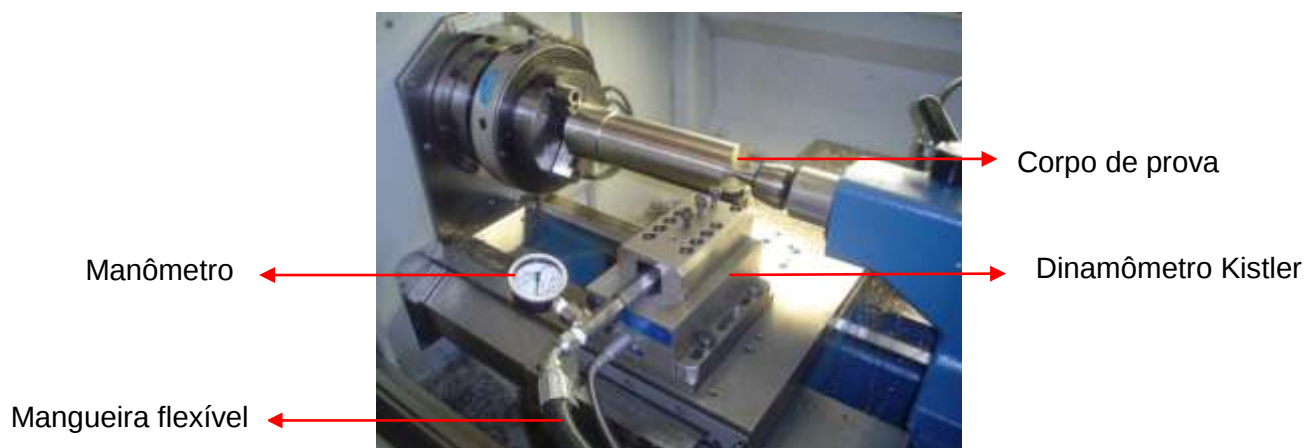


Figura 01 – Torno CNC e componentes para aplicação de fluido de corte a alta pressão.

As figuras a seguir mostram as imagens adquiridas no momento em que o jato à alta pressão é formado. A imagem da Figura 02 (A) mostra a direção do jato orientado para a ponta da ferramenta com inclinação aproximadamente de 18°. A Figura 02 (B) ilustra o jato visto no plano de referência da ferramenta.

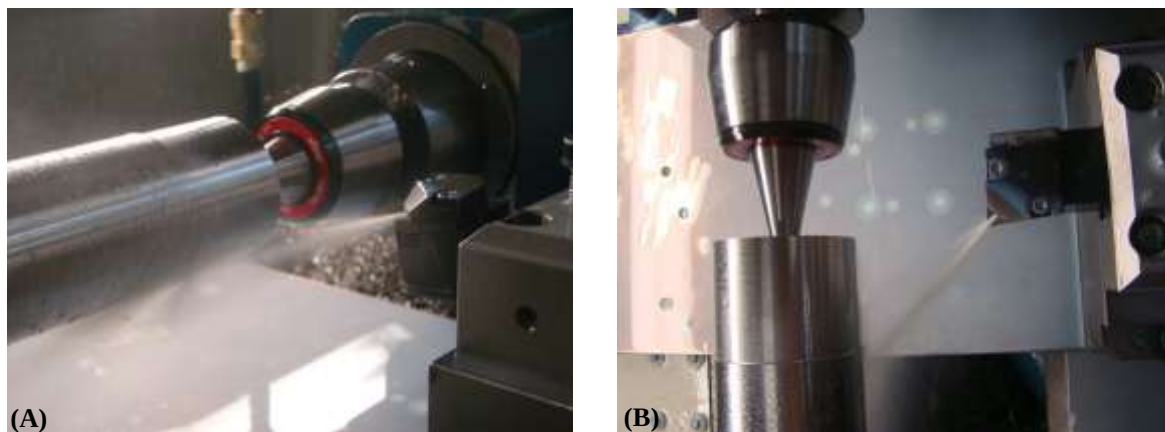


Figura 02 – Fotos do jato à alta pressão sendo aplicado pelo porta ferramenta.

3. Resultados e Discussão

A Figura 3 mostra o gráfico da remoção de material, e a Figura 4 o desgaste medido na ferramenta após estas retiradas. Trata-se de uma média de um ensaio seguido por duas réplicas. Para a medição do desgaste foi utilizado um estéreo microscópico da marca Olympus que ampliou a imagem do desgaste em 45 vezes, aumento suficiente para mensurar o comprimento do desgaste na aresta principal de corte. O tipo de desgaste predominante foi o de ponta da ferramenta (VC), do inglês *nose wear*, desta forma optou-se em analisar e medir o comprimento particularmente deste desgaste.

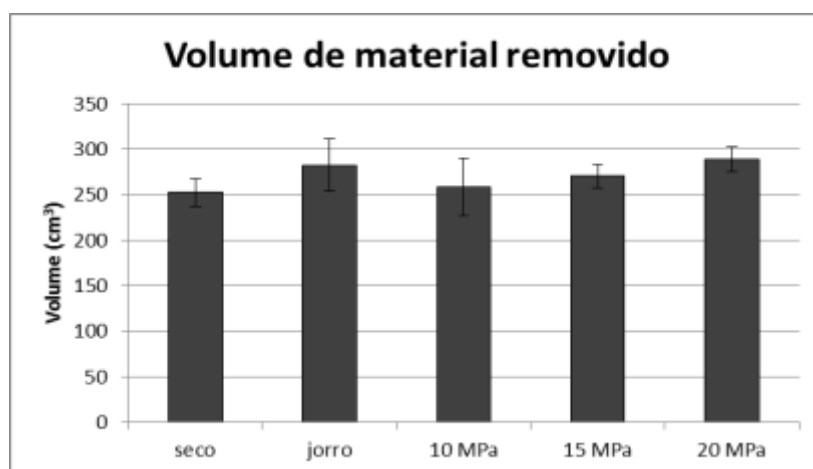


Figura 3 – Valores do volume de material removido.

Foram observados, em análises feitas em um microscópico eletrônico de varredura da marca Hitachi modelo TM 3000, os mecanismos de desgastes das ferramentas. Verificou-se que o principal mecanismo de desgaste ocorrido foi o de adesão. Acredita-se que o fluido de corte à alta pressão contribuiu na redução da presença de material aderido nas ferramentas, favorecendo a diminuição do desgaste. Pelas imagens feita no microscópico eletrônico de varredura, é possível notar que o desgaste na ferramenta quando aplicado fluido em jorro, Figura 5 (a), foi mais evidente quando comparado ao desgaste na ferramenta após a usinagem com fluido aplicado com 15 MPa de pressão, Figura 5 (b). Nestas figuras é possível destacar a presença do material aderido na região do desgaste de ponta da ferramenta.

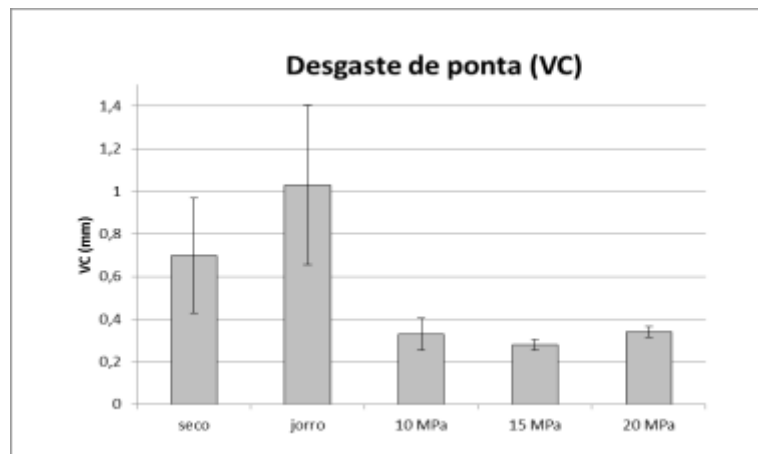


Figura 4 – Valores desgaste de ponta após aproximadamente 250 cm³ de material.

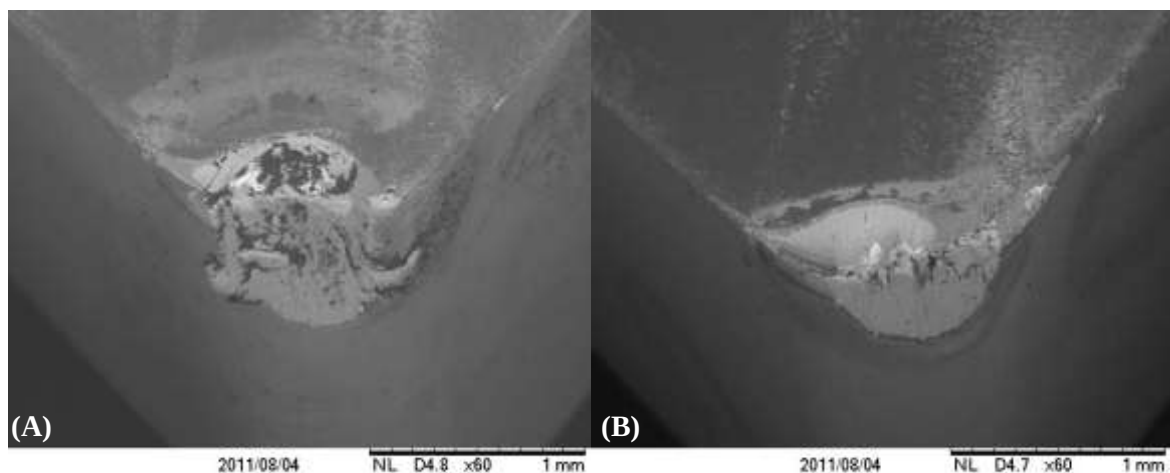


Figura 5 – Desgaste na ferramenta de corte com aplicação fluido na forma de jorro (a); Desgaste na ferramenta de corte com aplicação de fluido com 15 MPa de pressão (b).

Pelos gráficos avalia-se que após a remoção de aproximadamente 250 cm³ de material os menores valores encontrados para o desgaste de ponta foram obtidos quando o fluido de corte à alta pressão foi aplicado. Desta forma, é possível afirmar que o sistema de bombeamento fez com que o jato do fluido atuasse de forma eficaz na lubrificação e refrigeração durante a formação do cavaco. A aplicação de fluido na forma de jorro, em média, foi a que gerou o maior desgaste. Nota-se pela Figura 4 um desvio padrão maior que nas demais condições a seco e a jorro quando comparados aos testes com alta pressão. Acredita-se que a variação da dureza radial do material usinado possa ter contribuído nestes resultados, mas não de maneira isolada. Os valores de dureza na barra estão mostrados na Figura 6. Esta heterogeneidade de dureza pode ter comprometido o processo de usinagem, exigindo maiores esforços de corte, consequentemente maiores tensões no plano de cisalhamento primário e maiores temperaturas envolvidas. Fatores que contribuem para acelerar os mecanismos de desgaste. Entretanto, mais análises estão sendo realizadas para esclarecer melhor a dispersão nestes resultados, uma vez que tentou-se padronizar a faixa de material retirado para facilitar a comparação entre os testes.

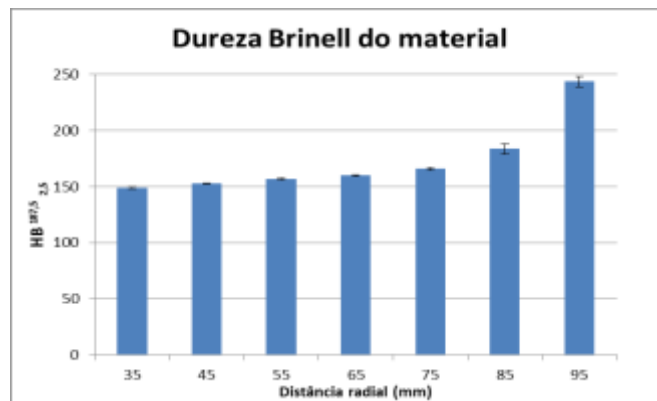


Figura 6 – Valores da dureza radial medida barra do aço inoxidável ABNT 316.

Entretanto, é evidente que há um significativo ganho com relação à vida da ferramenta quando o sistema à alta pressão é aplicado. Desta forma é possível afirmar que a aplicação de fluido de corte à alta pressão favoreceu a redução do desgaste na ferramenta de corte quando comparado com à usinagem a seco e com jorro. Dentre as pressões investigadas a de 15 MPa foi a que melhor contribuiu para o aumento da vida da ferramenta.

4. Conclusões

As conclusões que podem ser extraídas deste trabalho são:

- Para as condições de lubri-refrigeração avaliadas o fluido de corte quando aplicado à alta pressão apresentou ser a melhor opção para aumentar a vida da ferramenta.
- A pressão de 15 MPa foi, em média, a que apresentou os menores valores de desgaste na ponta da ferramenta. Os maiores valores de desgaste ocorreram para a condição a jorro.
- O principal tipo de desgaste ocorrido foi o de ponta da ferramenta. O mecanismo de desgaste mais evidente ao fim de vida da ferramenta foi o adesão.
- A dureza radial da barra pode ter influenciado para aumentar a dispersão nos resultados de desgaste nas condições a jorro e a seco. Entretanto, há indicações que a alta pressão do fluido apresentou resultados satisfatórios quando comparados a essas técnicas.

5. Agradecimentos

Os autores gostariam agradecer à FAPEMIG, Capes e CNPq, pelo suporte financeiro dado a esta pesquisa.

6. Referências

- BONNEY, J., **High-Speed Machining of Nickel-base, Inconel 718, Alloy with Ceramic and Coated Carbide Cutting Tools using Conventional and High-Pressure Coolant Supplies**, 2004, p. 238. PhD. Thesis, London South Bank University, London, Great Britain.
- Da SILVA, R. B., **High Pressure Coolant Supply Technology in Finishing Turning of Ti-6Al-4V alloy with various Cutting Tools**, 2006, 311 p. Ph.D. Thesis, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brazil.
- MACHADO, A.R., 1990, **Machining of Ti6Al4V and Inconel 901 with a High Pressure Coolant System**, PhD Thesis, University of Warwick, Coventry, England, UK, 288p.
- 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.
- MACHADO, A.R., COELHO, R.T., ABRÃO, A.M, DA SILVA, M.B., 2009, **Teoria da Usinagem dos Materiais**. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 384 p.

MICARONI, R.; **Influência do fluido de corte sob pressão no processo de torneamento do aço ABNT 1045**, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006. 149 p. Tese de Doutorado.

TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal Cutting**. 4th Edition, Butterworths – Heinemann. 2000, 446 p.

SALES, W. F., MAIA, L. H. A., BONNEY, J., EZUGWU, E. O., **Performance of nano-composite TiAlN and Si₃N₄ coated cemented carbide tools when turning Ti-6Al-4V alloy under high-pressure coolant supply**, COBEM 2011 – International Congress of Mechanical Engineering, 2011, Natal- RN.