

Alternativa tecnológica para diminuir a abundância de fluidos de corte na retificação cilíndrica externa de mergulho de aços endurecidos

Luiz Gustavo Guermandi (UNESP-SP/Brasil) - luiz_guermandi@hotmail.com
• Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Vargem Limpa, Caixa Postal 473, CEP 17033-360, Bauru-SP
Danilo de Jesus Oliveira (CEETEPS) - daniloliv@gmail.com
Matheus Gonçalves Pereira (UNESP-SP/Brasil) - m_pereira_2@hotmail.com
Eduardo Carlos Bianchi (UNESP-SP/Brasil) - bianchi@feb.unesp.br
Paulo Roberto de Aguiar (UNESP-SP/Brasil) - aguiarpr@feb.unesp.br

Resumo

Atualmente, as empresas estão buscando produzir de forma sustentável. Dessa forma, na indústria metal mecânica, o uso de fluidos de corte em abundância está sendo fortemente substituído por métodos que diminuem o uso desses fluidos. Nesse contexto, há a mínima quantidade de lubrificante, MQL. Apesar de usar uma quantidade mínima de fluido de corte, não apresenta bom desempenho, em termos da qualidade final do produto e vida da ferramenta, devido ao empastamento do rebolo, quando se reduz a quantidade de fluido de corte. Assim, neste trabalho, utilizou-se um sistema de limpeza da superfície de corte do rebolo para eliminar seu empastamento e, com isso, tornar o MQL mais acessível tecnologicamente. Para tal, analisaram-se a qualidade do produto e vida da ferramenta. Concluiu-se que a adição do sistema de limpeza, além de diminuir a quantidade de fluido usada, otimiza os resultados de qualidade superficial do produto e preservação da vida da ferramenta, os quais ficaram melhores, com relação ao uso do fluido de corte em abundância. Dessa forma, é possível diminuir a quantidade de fluido de corte, por meio do MQL mais limpeza, mas esse fato não deve ser generalizado, pois cada material usinado é um caso particular.

Palavras-chave: retificação; MQL; meio-ambiente.

Abstract

Nowadays, companies are seeking sustainable manufacturing processes. Therefore, in the metal machining industry, excessive use of cutting fluid has been strongly substituted by methods that decrease this fluid usage. In this context, there is a minimum quantity of lubricant, MQL. However, using minimum quantity of cutting fluid, does not give satisfactory results, in terms of both product and tool life, as the grinding wheel clogs up when the amount of cutting fluid is reduced. Therefore, in this study we used a cleaning system for the grinding wheel cutting surface in order to eliminate clogging and this resulted in MQL becoming a more feasible technologically. As a result both the product quality and tool life was analysed and it was concluded that by utilizing this cleaning system, besides decreasing the amount of fluid used, it also optimized the results of product surface quality and tool life preservation, which were even better when compared to the results obtained when using excessive cutting fluid. Thus, it is possible to decrease the amount of cutting fluid through the MQL process, combined with the cleaning process but this fact should not be generalized, because each machined material is a particular case.

Keywords: grinding; MQL; environment.

1. INTRODUÇÃO

O processo de retificação abrange os processos de manufatura na indústria metal-mecânica que dizem respeito ao acabamento de peças. A retificação consiste em um rebolo de grãos abarativos, que irão realizar a remoção do cavaco durante a usinagem, caracterizando um processo de inúmeras geometrias de corte não definidas, diferente dos processos anteriores, como torneamento e fresamento, por exemplo. Dessa forma, devido às inúmeras arestas de corte, um dos principais problemas, na retificação, é a geração excessiva de calor na zona de corte.

Dessa forma, para diminuir essa geração de calor, aplicam-se os lubri-refrigerantes. Dentre estes, estão os fluidos de corte, um método convencional de lubri-refrigeração, caracterizado pelo fluido de corte em abundância. Assim, segundo Pawlak *et al.* (2004), os fluidos de corte são aplicados na usinagem dos materiais com o propósito de reduzir, através da lubrificação, as características dos processos tribológicos que estão sempre presentes na superfície de contato entre a peça e a ferramenta e, também reduzir o calor na região de corte, através da refrigeração.

Entretanto, uma vez usado, o fluido de corte contém pequenas partículas de materiais, como pedaços do rebolo, cavacos e outras impurezas. Com isso, depois de certo tempo, eles podem ser contaminados por bactérias e, por fim, agredirem a saúde dos operadores que estão diariamente em contato com essas substâncias intrínsecas ao processo de fabricação. Em função disso, o fluido de corte deve ser trocado e todo o sistema que o contém, lavado periodicamente. Entretanto, esse descarte feito de forma indevida é significativamente prejudicial ao meio ambiente.

Assim, Dhar *et al.* (2007) afirmam que, apesar das vantagens tecnológicas que os fluidos de corte promovem, ultimamente vêm sendo questionados os efeitos negativos que eles causam, ou seja, além das agressões ambientais, também problemas relacionados à saúde do trabalhador. Dessa forma, Sokovi e Mijanovic (2001) relataram que as empresas estão sendo forçadas a implementar estratégias de lubri-refrigeração menos nocivas. Com base nisso, Tawakoli *et al.* (2007) mostram que uma das estratégias para promover a diminuição do uso de fluidos de corte, é otimizar o fluxo de fluido, situação que ocorre com o uso da mínima quantidade de lubrificante (MQL), que utiliza uma mistura de óleo com ar comprimido pulverizados na região de corte, o que reduz a abundância de fluido.

Apesar disso, Socovic e Mijanovic (2001) dizem que, para buscar alternativas e melhorias para os processos atuais de produção, é necessário substituir os métodos tradicionais, para que se possam obter condições de fabricação associadas ao menor impacto ambiental e que estejam tecnológica e economicamente coerentes. O MQL, apesar de respeitar o zelo ambiental humano e ser mais economicamente viável, não apresenta os mesmos resultados técnicos que os fluidos de corte em abundância. Isso ocorre, pois como há a mínima quantidade de lubrificante em vez da abundância, os cavacos não são retirados da zona de corte e se misturam ao óleo pulverizado, formando uma pasta que adere à superfície de corte do rebolo e entope seus poros. Com isso, em situações mais severas de usinagem, os resultados, principalmente de rugosidade e desgaste diametral do rebolo, são piores que os conseguidos pelos fluidos de corte em abundância.

Tal dificuldade associada ao uso da mínima quantidade de lubrificante está alicerçada no trabalho de Sahm e Schneider (1996), pois quando são usadas ferramentas abrasivas, com uma redução no uso de fluidos de corte, fica dificultada a limpeza dos cavacos na zona de corte e, conseqüentemente, ocorre um aumento no entupimento dos poros do rebolo, comprometendo a qualidade final da peça.

Conforme o trabalho realizado por Lee *et al.* (2002) na retificação de canais em peças, entretanto, a utilização de um jato de ar comprimido adicional é uma alternativa para reduzir o fenômeno do entupimento, pois o ar incide no rebolo e retira grande parte das impurezas que aderiram à ferramenta.

Portanto, esse trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa tecnológica para substituir os fluidos de corte em abundância, no processo de retificação de aços endurecidos, pela técnica do MQL com limpeza, por meio do jato de ar comprimido, já que o MQL sem limpeza, por si só, respeita o zelo ambiental e humano, mas falha na qualidade final do produto. Com isso, uma nova linha de pesquisa pode ser criada, no que diz respeito a levar o processo de manufatura na indústria metal-mecânica, especialmente por retificação, a um patamar mais sustentável.

1.1. Os problemas decorrentes do uso dos fluidos de corte em abundância

Segundo Pleifer *et al.* (1994), os fluidos de corte são formados por substâncias tóxicas, que têm a função de garantir maior vida útil de operação aos mesmos. Entre elas, estão dispersantes, anticorrosivos, biocidas e clorantes. Conforme Anon (2003), essas substâncias, causam danos à saúde humana. As pessoas podem entrar em contato com tais substâncias, por meio do contato pela pele, pela inalação da névoa de fluidos ou por engolir pequenas partículas. Em função disso, podem ocorrer problemas como irritação da pele, alergias, distúrbios respiratórios e digestivos. Tais distúrbios são devidos aos metais pesados existentes na composição.

Sadeghi *et al.* (2009) ainda relatam que os fluidos de corte, em operação, sempre produzem névoa, fumaça e outras partículas que prejudicam a qualidade do ar.

No trabalho de Socovic e Mijanovic (2001), é relatado que os fluidos de corte podem sofrer contaminação durante o processo produtivo, por meio de outros corpos, fluido ou microorganismos, degradando suas propriedades anticorrosivas e de lubrificação. Para enfatizar nesse aspecto, Sluhan (1994) relata que muitos desses fluidos de corte tornam-se propícios ao crescimento de bactérias e fungos e, com isso, ficam mais tóxicos ao ser humano e ao meio ambiente.

Já com relação ao aspecto econômico, os fluidos de corte geram gastos em função da efetuação de limpeza, manutenção e descarte (BARTZ, 1995), contribuindo para uma parcela significativa do custo de produção, conforme a figura 1. Brinksmeier *et al.* (1994) afirmam que todo fluido deve ser trocado após determinado tempo de uso para, assim, garantir um nível de produção consistente e isso deve ser feito da maneira mais ecológica possível. O meio ambiente, pois, pode ser afetado por efluentes líquidos, sólidos e gasosos, que danificam o ar, água e solo.

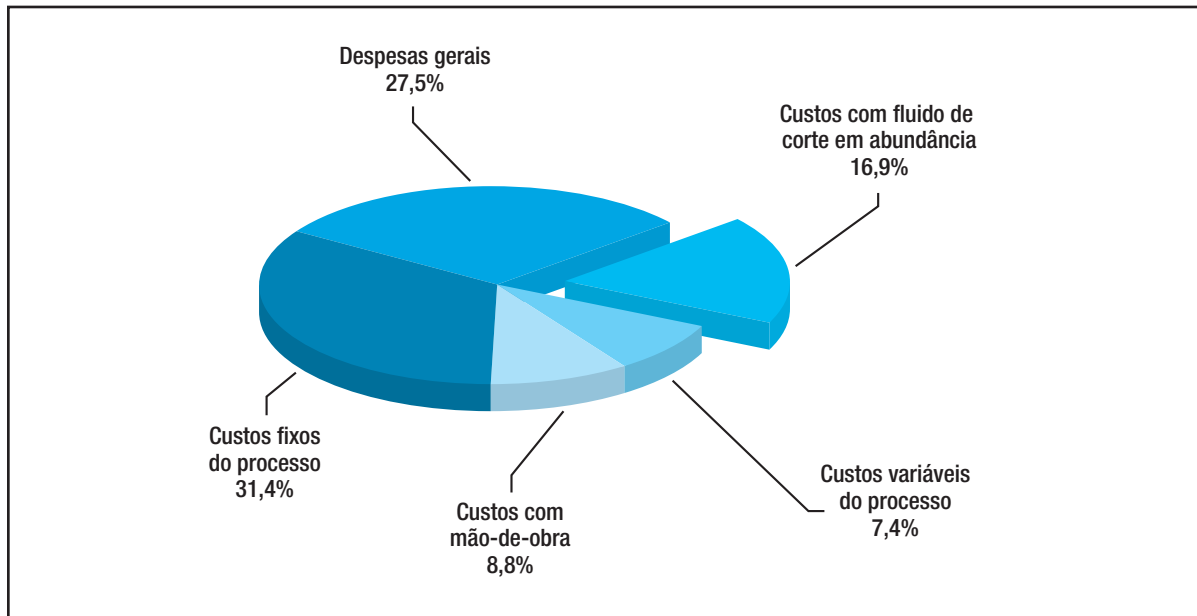


Figura 1 – Custos com fluido de corte.

Fonte: YOUNG *et al.* (1997).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados três ensaios, com três corpos de prova por ensaio, para cada condição de lubri-refrigeração imposta: a convencional (fluido em abundância), MQL sem limpeza e MQL mais limpeza, para quatro ângulos de incidência do jato de ar comprimido na superfície de corte do rebolo. Com referência ao trabalho de Cameron e Warkentin (2009), foram definidos quatro ângulos de incidência: perpendicular, tangencial, 30 graus e 60 graus em relação ao perpendicular, como na figura 2. O trabalho destes autores investigou a limpeza da superfície do rebolo com fluido de corte.

O bocal de limpeza foi fixado a uma distância de 0,5mm da superfície de corte do rebolo.

Os experimentos foram realizados em uma retificadora cilíndrica SULMECÂNICA, modelo RU-AP 515H, equipada por um comando numérico.

O rebolo utilizado foi de CBN, com ligante vitrificado e dimensões 350mm de diâmetro externo, 127mm de diâmetro interno, 20mm de largura e 5mm de espessura de material abrasivo, cujo código é SNB151Q12VR2, da empresa Nikkon Ferramentas de Corte LTDA.

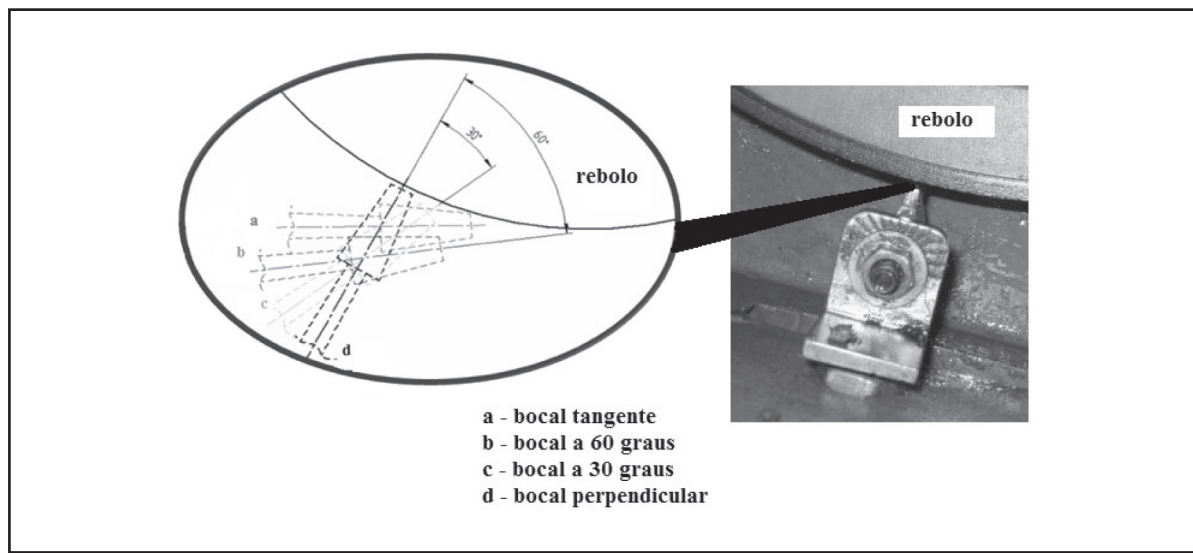


Figura 2 – Desenho esquemático das orientações do bocal de limpeza.

Os corpos de prova consistem em anéis de aço de ABNT 4340, temperado e revenido (54 HRC de dureza média), com diâmetro externo de 54mm, diâmetro interno de 30mm e espessura de 4mm.

O fluido de corte utilizado no método convencional de refrigeração, foi óleo solúvel semi-sintético QUIMATIC ME-I, com concentração de 2,5%, sendo este aplicado a uma vazão de $2,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. Neste fluido de corte, há na sua composição, anticorrosivos, biocidas, fungicidas, alcalinizantes, antiespumantes, tensocínticos não iônicos, alcanolomidas, entre outros.

O equipamento de MQL é composto por: compressor, regulador de pressão, medidor de vazão de ar e bocal. Nesse experimento, a vazão do ar possuía uma pressão de $6,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ e a vazão do fluido de corte $2,7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$. O aplicador utilizado nesta pesquisa, foi o ITW Accu-lube 79053D de micro-lubrificação, fornecido pela empresa ITW Chemical Products Ltda. Esse equipamento usa um sistema pulsante de fornecimento do óleo e permite a regulação da vazão de ar comprimido e lubrificante de maneiras separadas. A vazão de ar comprimido era monitorada com auxílio de um medidor de vazão, do tipo turbina, modelo SVTG12/12BA4A44BS, fornecido pela empresa CONTECH e calibrado a uma pressão de $8,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

O sistema para limpeza do rebolo é composto por: compressor, medidor de vazão e pressão de ar comprimido, distribuidor de fluxo e bocais. A vazão do ar foi $8,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ e a pressão para cada bocal foi $7,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. O aparelho utilizado na medição da vazão do ar comprimido, era um aparelho Siemens SITRANS - P, fornecido pela empresa Digitrol.

A medição da rugosidade foi realizada no parâmetro R_a , por meio de um rugosímetro da Taylor Hobson, modelo Surtronic 3+. Os valores de rugosidade apresentados nos resultados são médias de 5 leituras, em posições diferentes para cada um dos 3 corpos de prova usados para cada ensaio de cada condição de lubri-refrigeração.

A medição do desgaste do rebolo foi feita, usando um corpo de prova cilíndrico de aço ABNT 1020 para impressão do rebolo. Essa medição foi possível, devido à não utilização da largura total do rebolo, onde a largura do rebolo utilizável era de 15mm e a largura da peça 4mm. Desta forma, o resalto produzido no rebolo, após o ensaio, possibilitou a marcação do desgaste no corpo de prova cilíndrico. A obtenção do desgaste diametral foi feita por meio de um programa, do rugosímetro Surtronic 3+, de projeção e medição de perfil. Foram feitas cinco medições em cada peça de cada ensaio.

As medições de circularidade foram obtidas para todos os ensaios, sendo feitas 5 medições, em posições diferentes dos corpos de prova retificados. A medição do desvio de circularidade foi realizada em uma máquina específica para controle de tolerâncias geométricas, Tayrond 31c marca Taylor Hobson.

Para os ensaios, foram estabelecidas as seguintes condições de usinagem: velocidade de mergulho ou avanço (v_f) de 0,5mm/min, velocidade de corte (v_c) de 30m/s, tempo de centelhamento (t_s) igual a 8 segundos, largura de retificação de 4mm, profundidade de dressagem (a_d) de 0,02mm, onde a condição de dressagem foi mantida constante, usando um dressador multigranular, tipo *fliese*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Rugosidade

A figura 3 apresenta um gráfico com os resultados obtidos para a rugosidade média R_a , referente à comparação entre as condições de lubri-refrigeração convencional e as condições utilizando a técnica do MQL.

Por meio de uma análise dos resultados de rugosidade, a maioria dos valores está abaixo de 1,6 μ m, valor máximo para uma peça retificada (DINIZ *et al.*, 2001).

Assim, analisando-se estes resultados, verifica-se que todas as condições de limpeza foram satisfatórias, pois os valores obtidos de rugosidade média ficaram abaixo do obtido até mesmo com a condição convencional e muito abaixo daquele obtido com o MQL sem limpeza. Além disso, a condição de limpeza com a incidência perpendicular do jato de ar comprimido se igualou ao convencional, praticamente.

De uma forma geral, a condição MQL com limpeza para um ângulo de 30 graus, foi a melhor condição.

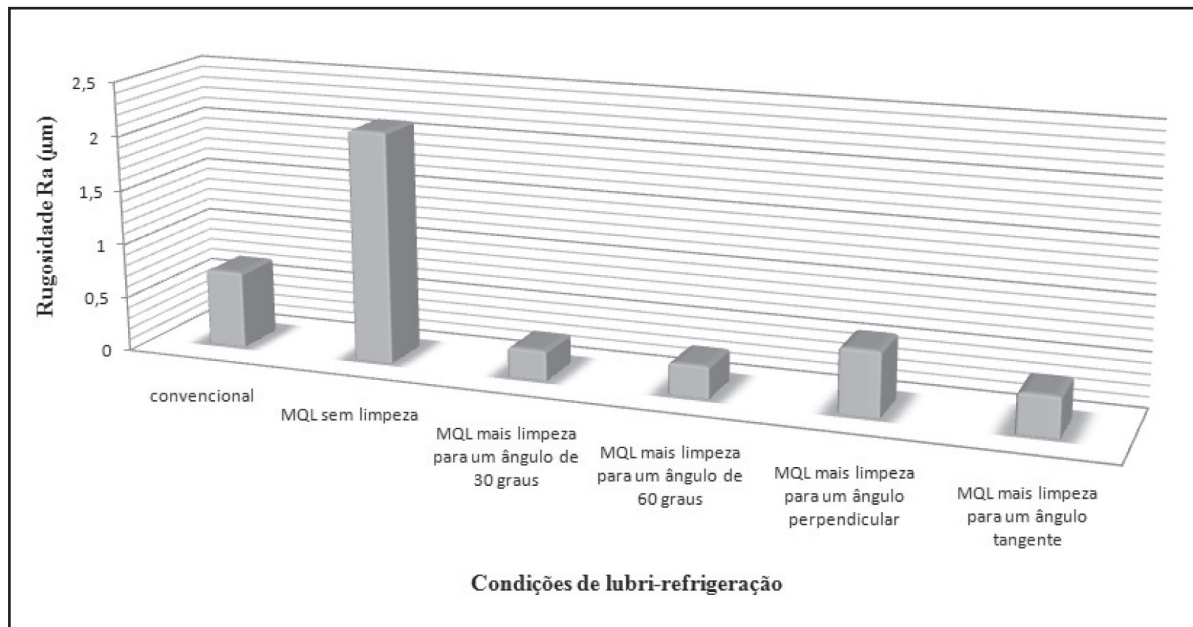


Figura 3 – Resultados de rugosidade para as diferentes condições de lubri-refrigeração.

Com relação à eficiência do sistema de limpeza, por meio do ar comprimido, essa é uma função da velocidade periférica do rebolo e do ângulo de incidência do ar comprimido do sistema de limpeza, já que a pressão e vazão do sistema foram mantidas constantes. Isso ocorre, pois o fenômeno da limpeza se dá pela soma vetorial das componentes da velocidade periférica do rebolo e do ar comprimido, sendo que esta última depende do ângulo de incidência. Assim, quanto mais eficiente essa combinação de velocidades, será gerada uma resultante que transferirá uma maior quantidade de movimento àquela pasta de óleo, mais cavacos aderidos na superfície de corte do rebolo, promovendo sua maior eliminação. Assim, o MQL com limpeza para uma inclinação de 30 graus, foi a melhor combinação de velocidades.

Ainda pela análise da figura 3, apesar de a condição convencional ter um maior fluxo de fluido e eliminar os cavacos da zona de corte mais eficientemente, em comparação ao MQL sem limpeza, como se descreve na literatura, a utilização da limpeza, fez com que a rugosidade se tornasse próxima ou menor à rugosidade obtida com a técnica convencional. Com isso, pode-se afirmar que mesmo na convencional, os cavacos ainda acabam se alojando nos poros do rebolo, o que é natural do processo de retificação, mas na limpeza esta proporção de cavacos nos poros ficou ainda menor, pois o ar do sistema de limpeza age diretamente na eliminação da pasta e conseqüentemente dos cavacos aderidos nos poros, e, assim, evita-se riscar a superfície da peça sendo usinada, melhorando a rugosidade.

3.2. Desgaste diametral do rebolo

A figura 4 mostra os resultados obtidos para o desgaste diametral do rebolo. Nesta figura, são comparadas as diversas condições de lubri-refrigeração também, ou seja, a convencional e o MQL mais a limpeza com os respectivos ângulos de inclinação do bocal de limpeza. Assim, a condição de referência também, será a refrigeração convencional, com a qual os outros resultados são comparados.

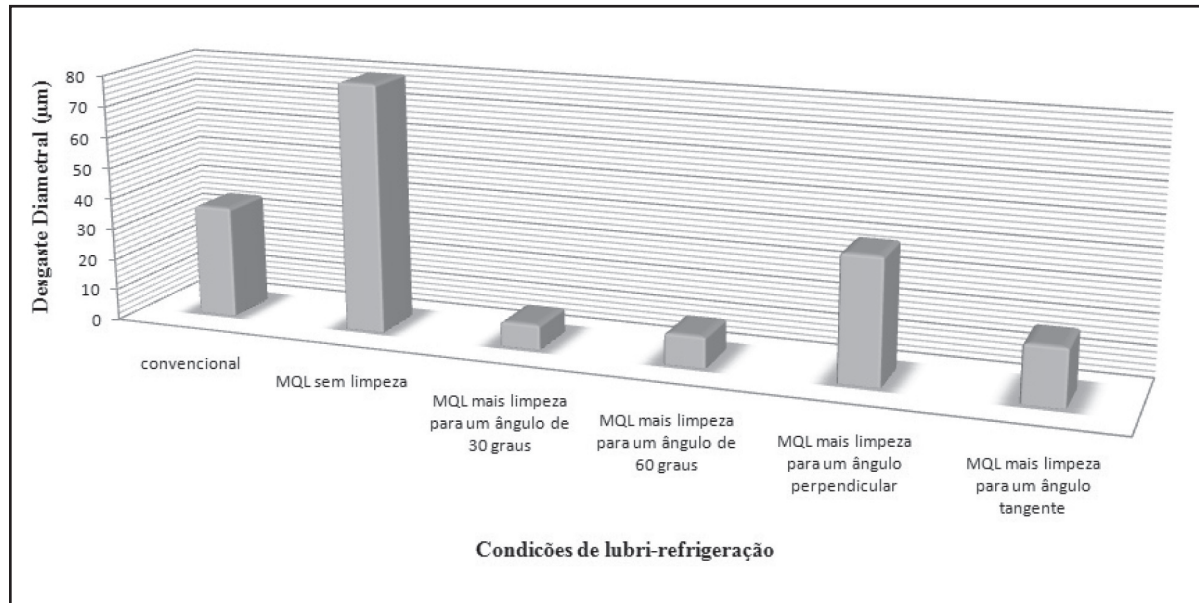


Figura 4 – Resultados de desgaste diametral do rebolo para as diferentes condições de lubri-refrigeração.

Para o caso do desgaste diametral do rebolo, observa-se que este está, também em função da velocidade periférica da ferramenta abrasiva e velocidade do ar comprimido, assim como a rugosidade.

Pela análise desses resultados, o menor desgaste foi para a condição MQL com limpeza para um ângulo de 30 graus, seguida da condição a 60 graus. Entretanto, a condição tangente, também ficou abaixo do valor obtido com a condição convencional. De uma forma geral, o melhor resultado, assim como para a rugosidade, foi para a condição MQL com limpeza, para um ângulo de 30 graus. Já para a limpeza com o ângulo de incidência perpendicular, obteve-se um resultado ligeiramente maior que o obtido pelo convencional.

Nota-se, além do mais, uma coerência entre o desgaste diametral e a rugosidade, ou seja, quando a rugosidade fica maior o desgaste, também é maior e quando esta se torna menor, o desgaste também, diminui.

Relacionando a condição mais eficiente de limpeza com a convencional, o desgaste diametral foi reduzido em grande escala, pois neste caso, assim como na rugosidade, têm-se as melhores somas vetoriais de velocidades do ar e periférica do rebolo, o que resultará na melhor expulsão da pasta de óleo, mais cavacos da superfície de corte do rebolo, influenciando, assim, em menor esforço e menor solitação térmica do ligante, já que os poros estão mais limpos e, com isso, não há desgaste por desprendimento do grão.

3.3. Circularidade

Os resultados de circularidade são mostrados na figura 5.

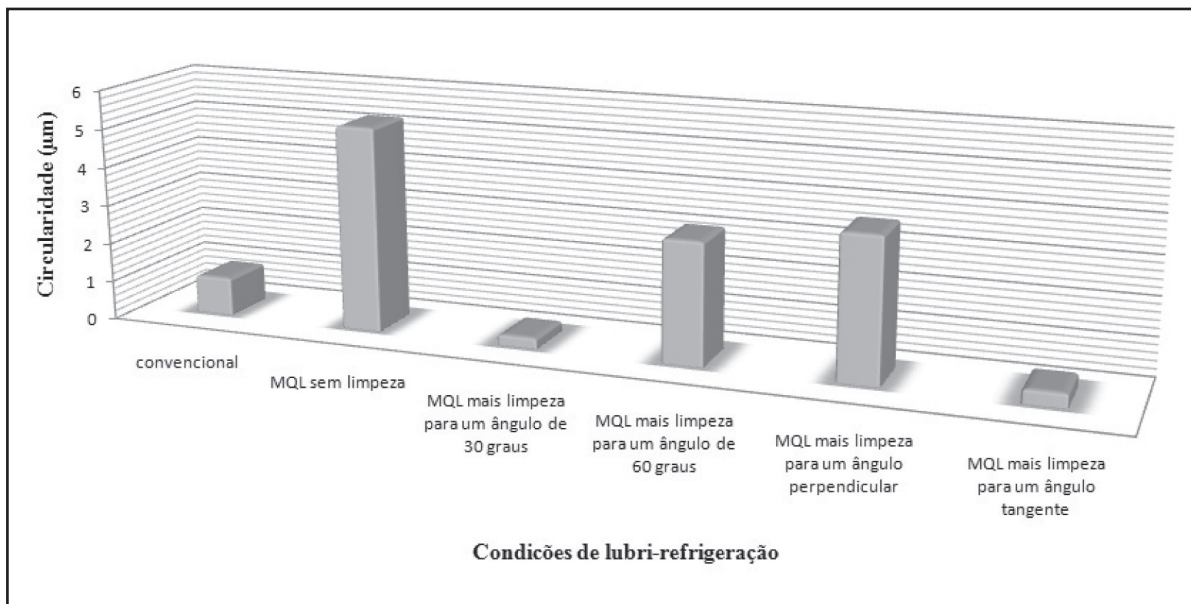


Figura 5 – Resultados de circularidade para as diferentes condições de lubri-refrigeração.

Pode-se verificar que as melhores condições obtidas foram o MQL mais limpeza, para um ângulo de 30 graus e tangente. De modo geral, a melhor condição foi para o ângulo de 30 graus.

A influência das velocidades de incidência do ar comprimido e periférica do rebolo, também se verifica na medida de circularidade, onde quanto melhor essa combinação vetorial, melhor a retirada dos cavacos aderidos aos poros do rebolo e melhor a qualidade dimensional obtida.

Nota-se uma não coerência entre o resultado de rugosidade, para as condições de limpeza com um ângulo de 60 graus e perpendicular, e o resultado de circularidade, como se obteve entre a rugosidade e desgaste diametral do rebolo. Isso ocorreu, pois a circularidade é uma grandeza mais sensível à rigidez do processo, ou seja, máquina, ferramenta, peça, entre outros. No entanto, de forma geral, para a condição mais eficiente de rugosidade, tem-se a mesma para a circularidade.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os uso da técnica de lubri-refrigeração MQL, associada a um jato de ar comprimido para limpeza da superfície de corte do rebolo, com ângulo de incidência de 30 graus, propiciou melhores resultados em todas as variáveis analisadas, quando comparados à lubri-refrigeração convencional.

Assim, destaca-se o sucesso na aplicação do método do MQL mais limpeza, para o caso de retificação estudada para o aço ABNT 4340, temperado e revenido. Isso prova a possibilidade de diminuir a quantidade de fluido de corte no processo, sem comprometer a qualidade final do produto.

Vale ressaltar, no entanto, que apesar de se conseguir esses resultados na retificação cilíndrica externa de mergulho do aço ABNT 4340, nas condições desse trabalho, não é tão simples e imediato o uso do MQL mais limpeza, de forma difundida, para diminuição da quantidade de fluido de corte, o que demandará mais pesquisas, pois cada material de peça diferente origina uma situação de retificação diferente.

Mas por fim, confirma-se a possibilidade de direcionar as pesquisas para essa linha do MQL mais limpeza, para a diminuição dos fluidos de corte do processo de produção, em especial, a retificação na indústria metal-mecânica, conseguindo, pois, alcançar um âmbito de redução dos insumos, impactos ambientais e danos à saúde dos trabalhadores, tornando este processo de fabricação mais limpo, rápido e econômico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANON, H.S.E. Warnings for grinding coolants. **Metalworking Production**, nº.5, p.147, 2003.
- BARTZ, W.J. Lubricants and the environment. **Tribology International**, n.º 31, pp.35–47, 1998.
- BRINKSMEIER, E.; ECKEBRECHT, J.; BUHR, H. Improving ecological aspects of the grinding process by effective waste management. **Journal of materials processing technology**, v. 44, n 3-4, pp. 171-178, 1994.
- CAMERON, A.; WARKENTIN, R.B. An investigation of the effects of wheel cleaning parameters in creep-feed grinding. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 2009.
- DHAR, N.; ISLAM, S.; KAMRUZZAMAN, M. Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Tool Wear, Surface Roughness and Dimensional Deviation in Turning AISI-4340 Steel. G.U. **Journal of Science**, vol. 20, pp. 23-32, 2007.
- DINIZ, A. D.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 4ªed. São Paulo: Artliber, 2001.
- LEE, S.W.; LEE, Y.C.; JEOND, H.D.; CHOI, H.Z. The Effect of High Pressure Air Jet on Form Accuracy in Slot Grinding. **Journal of Materials Processing Technology**, vol. 128, pp. 67–72, 2002.
- PAWLAK, Z.; KLAMECKI, E. B.; RAUCKYTE, T.; SHPENKPV, P. G.; KOKOWSKI, A. The Tribochemical and Micellar Aspects of Cutting Fluids. **Tribology International**, vol. 38, 2004.
- PFEIFER, T.; EVERSHEIM, W.; KÖENIG, W.; WECK, M. **Manufacturing Excellence: The Competitive Edge**. London: Chapman & Hall, 1994.
- SADEGHI M.H.; HADDAD M.J.; TAWAKOLI T.; EMAMI M. Minimal quantity lubrication-MQL in grinding of Ti–6Al–4V titanium alloy. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, nº.44, pp.487–500, 2009.
- SAHM, D.; SCHNEIDER, T. The production without coolant is interesting and must be more known. **Machines and Metals Magazine**, n.367, p.38–55, 1996.
- SLUHAN, C.A. Selecting the right cutting and grinding fluids. **Tooling and Production**, n.60, p.2, 1994.
- SOKOVIC, M.; MIJANOVIC, K.. Ecological aspects of the cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes. **Journal of Materials Processing Technology**, vol. 109, pp. 181-189, 2001.
- TAWAKOLI, T.; WESTKAEMPER E.; RABIEY M. Dry grinding by special conditioning. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, nº.33, pp.419–424, 2007.
- YOUNG, P.; BYRNE, G.; COTTERELL, M. Manufacturing and the environment. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, vol.13, pp. 488-493, 1997.

