

UNIRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE DE ACABAMENTO SUPERFICIAL COM VARIAÇÃO DO FLUIDO DE
CORTE EM TORNEAMENTO**

RICARDO ANTONIO BERTA

Orientador: Prof. Dr. WARLEY AUGUSTO PEREIRA

Artigo apresentado à Universidade de Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

RIO VERDE - GOIÁS

2015

ANÁLISE DE ACABAMENTO SUPERFICIAL COM VARIAÇÃO DO FLUIDO DE CORTE EM TORNEAMENTO

Ricardo Antonio Berta¹

Warley Augusto Pereira²

RESUMO

Nos processos de torneamento, onde são aplicados os fluidos de corte na manufatura de produtos, deseja-se obter um melhor rendimento da ferramenta e melhor acabamento da peça. Mesmo com a introdução de ferramentas que suportam altas temperaturas e resistência ao atrito, o fluido de corte ainda é necessário em alguns casos, onde se deseja obter dimensões rigorosas e um alto nível de qualidade no produto. Os fluidos de corte são aplicados em vários processos. Neste trabalho, é abordada a importância do fluido para pequenas usinagens em torno convencional. Como critério de medição da eficiência do fluido de corte, utilizou-se a rugosidade superficial da peça após o torneamento. Os resultados mostraram que ao contrário do que a literatura diz a respeito, de que o fluido de corte apresenta um impacto positivo na rugosidade superficial da peça, nas condições de usinagem que foram propostas, o fluido de corte impactou negativamente na rugosidade superficial da peça. Mostrou-se inviável a utilização do fluido de corte pelo aumento de custo, sem o aumento de qualidade, para fabricação de peças não seriadas.

Palavras chave: Rugosidade superficial, refrigeração, lubrificação, torneamento.

ABSTRACT

In the turning process, where are applied the cutting fluid in the products manufacturing, in order to get a better tool income, and a better finish. Even with the advent of better tools that support high temperature and friction resistance, the cutting fluid is still necessary in order to get strict dimensions and a high quality control. The cutting fluid are applied in several processes. In this labor, will be addressed the importance of the cutting fluid in small machining in conventional lathe. As measure criteria of the fluid efficiency was used the measure of surface roughness of the piece after the turning. The results shows that unlike the literature says about the cutting fluid, has a good impact over the surface roughness, in this machining condition it has a negative impact over the surface roughness. If prove unfeasible using cutting fluid by increasing the coast without increasing quality, for the manufacture of non-serial parts.

Key words: surface roughness, cooling, lubrication, turning.

¹ Aluno do curso de Engenharia Mecânica

² Professor da Universidade de Rio Verde - Orientador

1 INTRODUÇÃO

Cada dia mais, surgem novas tecnologias na área de usinagem dos materiais, novas ferramentas, novos meios, novas peças, desde tornos convencionais até o mais moderno torno CNC.

Hoje, existem várias ferramentas no mercado que prometem suportar altíssimas temperaturas de usinagem, com uma boa qualidade de acabamento sem a utilização do fluido de corte.

Nos processos de usinagem de materiais, onde é aplicado fluido de corte na manufatura de produtos, deseja-se obter um melhor rendimento da ferramenta e melhor acabamento da peça. Mesmo com a introdução de ferramentas que suportam altas temperaturas e resistência ao atrito, o fluido de corte ainda torna-se necessário, no aspecto de se obter dimensões rigorosas e um alto nível de qualidade no produto, dependendo das condições da usinagem,

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência que o fluido de corte tem sob a rugosidade superficial da peça, em trabalhos de torneamento, em tornos convencionais. As peças foram submetidas à condições semelhantes aos trabalhos realizados por torneiros locais. As ferramentas, máquinas e material, foram os mesmos utilizados em tornearias convencionais, às quais não utilizam equipamento computadorizado e de ponta.

1.1 Fluidos de corte

F. W. Taylor foi um dos primeiros a provar o grande auxílio que os líquidos poderiam trazer no corte de metais. Em 1883, ele demonstrou que um jato de água aspergido na ferramenta, no cavaco e na superfície da peça, tornava possível o aumento da velocidade de corte em 30% a 40%. Foi essa constatação, feita por Taylor e por outros pesquisadores, que impulsionou o estudo e o desenvolvimento de vários tipos de fluidos de corte, ao longo dos anos e, principalmente, nas últimas décadas (SILLIMAN, 1992; MACHADO & DINIZ, 2000).

Os fluidos de corte possuem a capacidade de refrigerar, lubrificar, melhorar o acabamento de superfície, reduzir o desgaste das ferramentas, além de ajudar na remoção dos cavacos da área de corte, proteger todas as partes envolvidas da corrosão e lubrificar guias e

barramentos (RUNGE; DUARTE, 1989). A função dos fluidos de corte é proporcionar melhorias no processo de usinagem, sejam elas de caráter funcional (aquelas que proporcionam um melhor desempenho ao processo) ou de caráter econômico (aquelas que proporcionam a redução do consumo de energia durante o corte, ou a redução do custo da ferramenta na operação) (FERRARESI, 1970).

Além disso, os fluidos de corte possuem outras funções, como prevenção contra a soldagem cavaco-ferramenta; retirada do cavaco da região de corte; proteção contra a corrosão; redução da dilatação (distorção) térmica da peça; evitar danos à estrutura superficial e o crescimento exagerado de tensões residuais na superfície da peça usinada, principalmente, em processos de retificação. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2000)

No processo de usinagem é gerada uma grande quantidade de calor devido ao atrito ferramenta-peça e cavaco-ferramenta. O calor gerado precisa ser reduzido e extraído da ferramenta e da peça, para reduzir o desgaste da ferramenta, o dano térmico à estrutura superficial e a dilatação térmica da peça, a fim de se obter dimensões e tolerâncias rigorosas. O calor pode ser reduzido, diminuindo-se o atrito entre a peça e a ferramenta. Reduzindo o atrito entre peça e ferramenta, também se reduz os esforços de corte e a potência, utilizadas no corte das peças. Uma maneira de se reduzir esse atrito é utilizar um fluido com a capacidade lubrificante. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2000)

Os fluidos de corte apresentam características, que variam de acordo com a sua fórmula básica. Cada tipo tem vantagens e limitações típicas, que nem sempre são facilmente reconhecidas, devido à grande gama de possibilidades de variações químicas. Os fluidos de corte podem ser agrupados da seguinte forma: ar; tipos aquosos que podem ser à água ou emulsões; óleos, que podem ser minerais, graxos compostos e óleos de extrema pressão.(DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2000).

Os fatores mais adequados que influenciam na escolha do fluido de corte são o material da peça a ser usinada, a intensidade, o material da ferramenta e a operação de usinagem. Alumínio, latão, bronze e cobre não se recomendam a utilização de fluidos com água, devido ao risco de combustão, ocasionada pela liberação de hidrogênio, que é inflamável. Na usinagem de níquel e suas ligas, se recomenda o uso de emulsões. Para as ligas de aço carbono é recomendado o uso de óleos. Para o aço inoxidável austenítico é recomendado que se utilizem óleos do tipo EP (Extrema Pressão) para dificultar o empastamento do cavaco na ferramenta. Já para o FOFO (ferro fundido cinzento) é recomendado a seco ou com ar comprimido. No caso de aços endurecidos, se forem usinados com ferramentas de cerâmica ou CBN (Nitreto cúbico de boro), é preferível não se utilizar

fluido de corte, afim de que o calor gerado pela usinagem possa diminuir a dureza do material, facilitando, assim, o corte, já que a ferramenta é resistente ao calor.(DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2000)

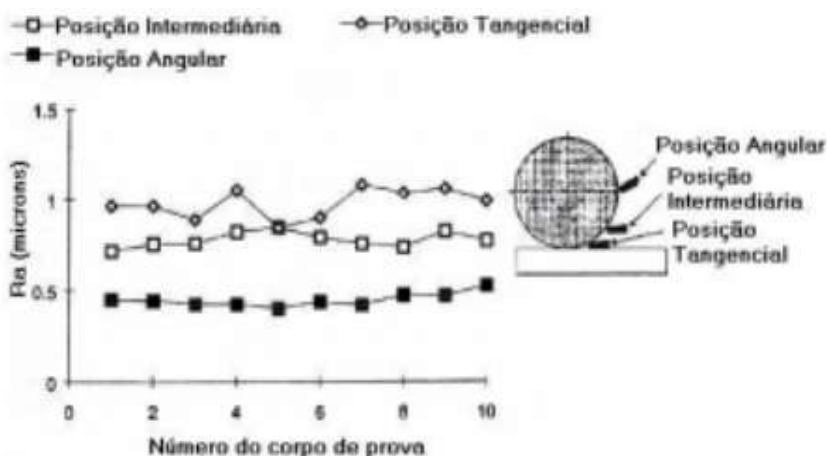
Com relação às ferramentas de corte, as ferramentas de aço rápido possuem problemas com a água, devido à corrosão, sendo assim, deve-se evitar a utilização da água com ferramentas de aço rápido, podendo ser substituídas pelas emulsões com aditivos antioxidação. O metal duro suporta qualquer tipo de óleo, a escolha, então, deve ser baseada em outros fatores. Ferramentas de cerâmicas à base de óxidos são resistentes às altas temperaturas, porém são sensíveis a variações da mesma, devendo evitar a utilização do fluido de corte com essas ferramentas. As ferramentas cerâmicas, os cermets, as ferramentas com cobertura de óxido de alumínio, os CBN e os diamantes policristalinos, são ferramentas muito resistentes ao calor e possuem alta dureza a quente. Elas dispensam a utilização de fluidos de corte, que pode ser utilizado com essas ferramentas, somente quando há necessidade de proteger a peça. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2000).

Sales (1999) mostra que nos fluidos de corte emulsionáveis são mais difíceis de se retirar calor da interface, quando comparados aos fluidos minerais ou sintéticos, pois, como são fluidos dissolvidos em água, que tem baixo ponto de ebulição. Quando tocam a peça quente, a troca de calor e a evaporação do fluido são imediatas, reduzindo a temperatura da peça quente e impedindo que mais fluido penetre na interface cavaco-ferramenta, diminuindo a eficiência da troca de calor.

O ar comprimido visa resfriar a região de corte através de um jato, puro ou misturado a outro fluido, na interface, contra a superfície interna do cavaco. A água tem sua aplicação bastante restrita por ser altamente corrosiva aos materiais ferrosos. As emulsões constituem de óleos minerais adicionados à água, em proporções que podem variar de 1:10 a 1:100, com agentes emulgadores que garantem a miscibilidade com a água. Normalmente, empregam-se aditivos anticorrosivos, tais como nitreto de sódio para minimizar os efeitos nocivos da presença de água nas emulsões. Os fluidos semissintéticos são, também, formadores de emulsões e apresentam de 5 a 50% de óleo mineral no fluido concentrado, além de, aditivos e compostos químicos, que se dissolvem na água formando moléculas individuais. As soluções são compostos monofásicos de óleos dissolvidos completamente na água. Pertencem a esta classe, os fluidos sintéticos, os quais são livres de óleo mineral em suas composições; baseiam-se em substâncias químicas que formam uma solução com a água. Eles apresentam uma vida maior, já que são menos suscetíveis ao ataque das bactérias e reduzem o número de

trocas na máquina. Quanto aos óleos minerais, também conhecidos como óleos integrais, encontram-se na forma pura ou com aditivos, normalmente, de alta pressão. Estes óleos são hidrocarbonetos obtidos a partir do refinamento do petróleo cru. As suas propriedades dependem do comprimento da cadeia, estrutura e grau de refinamento (MACHADO; DINIZ, 2000).

Aplicar corretamente o fluido também é de grande importância, para se obter bons resultados. De acordo com Ebbrell et al. (1999), a aplicação correta dos fluidos na região de corte é necessária, pois possibilita o aumento da capacidade de sua lubrificação e refrigeração, promovendo a remoção de cavaco mais facilmente. A aplicação correta promove menores dispersões dos fluidos na região de corte, mas, para isso, é necessário levar em conta o tipo e o posicionamento do bocal, o que tem grande influência no processo de corte. A Figura 1 representa a influência do posicionamento do bocal de aplicação do fluido de corte, sobre a rugosidade superficial da peça usinada.



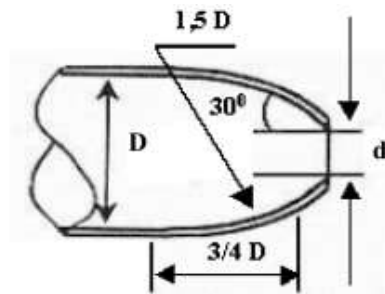
Fonte: Ebbrell et al. (1999).

Figura 1 - Rugosidade em função do posicionamento do bocal.

A Figura 2 representa um bico tradicional (convencional) que, por ter uma ou duas paredes convexas, propicia a separação do fluxo do fluido de saída, que é extremamente turbulento e de baixa pressão, dificultando a coerência do jato. Um bico ideal teria formato arredondado e paredes internas côncavas, que garantem uma maior coerência do jato, onde D [mm] é o diâmetro externo da tubulação de alimentação do fluido e d [mm] é o diâmetro do orifício de saída de fluido, Figura 3. (WEBSTER, 1995).



Fonte: Webster (1995).
Figura 2 - Bico tradicional.



Fonte: Webster (1995).
Figura 3 - Bico especial arredondado.

Webster et al. (1995), Campbell (1995), e Ramesh et al. (2001) realizaram diversos estudos, definindo parâmetros adequados que viabilizassem um método de lubrificação a alta pressão capaz de vencer a barreira de ar formada em torno do rebolo. Na Figura 4, Campbell (1995) apresenta os principais fatores associados à aplicação de fluido de corte.



Fonte: Campbell (1995) – adaptada.
Figura 4 - Fatores que afetam a aplicação do fluido.

1.2 Torneamento

Dentre os vários fatores que afetam diretamente as condições de trabalho entre a ferramenta e a peça, a temperatura na ferramenta é um fator que limita bastante a produtividade das operações de usinagem, principalmente, quando são desenvolvidas altas temperaturas durante o processo de corte, às quais afetam extremamente o desempenho das ferramentas de corte, responsáveis em grande parte pela produtividade destas operações.

Os aços de corte-fácil (free cutting steels) são aços especiais, que apresentam características adequadas para facilitar a usinagem. Eles são empregados em componentes mecânicos de baixa responsabilidade, já que propriedades como ductilidade, resistência à tração e resposta a tratamentos térmicos, são consideradas secundárias (EVANGELISTA; MACHADO, 2006).

Nos processos de usinagem, uma porção do material é retirada pela ação da ferramenta, produzindo o cavaco, caracterizado pela forma irregular (CHIAVERINI 1914).

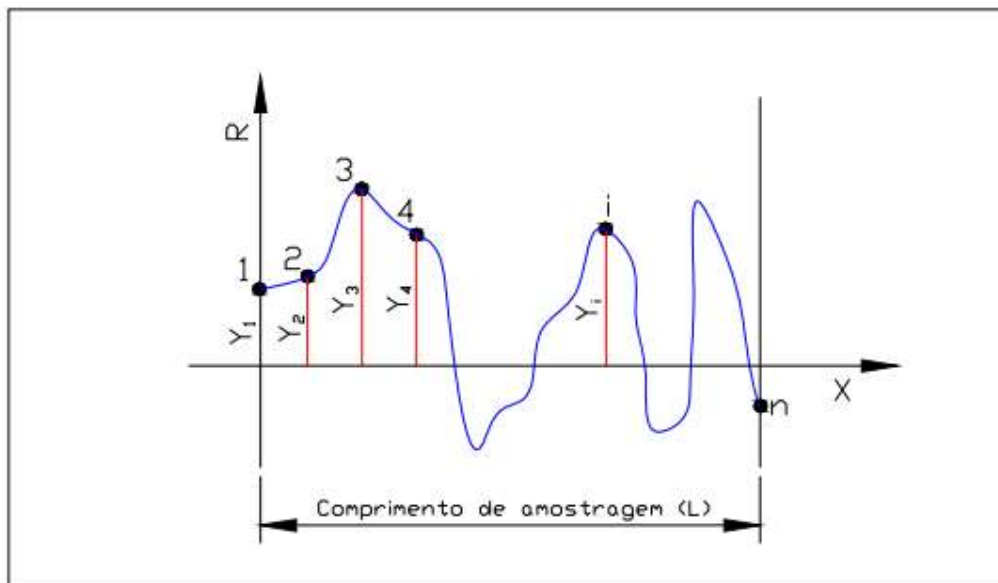
Em todos os processos de usinagem, a formação do cavaco envolve a fratura (SHAW, 1984). Mesmo os cavacos contínuos apresentam uma microfratura localizada, que não se estende ao longo de toda a largura da seção transversal do cavaco, mas são separados por regiões fraturadas que sofrem fluxo plástico.

Para Ferraresi (1970), o torneamento é o processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies de revolução, com o auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. Para tanto, a peça deve girar em torno do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta deslocar, simultaneamente, segundo uma trajetória coplanar com o referido eixo.

O raio de ponta (r) da ferramenta possui grande influência sobre a rugosidade superficial da peça, valores elevados de raio de ponta (r) garantem maior resistência à ponta e um maior contato, aumentando a força passiva de corte (Machado 2009).

1.1 Rugosidade

A rugosidade superficial é caracterizada pela forma como é feita sua medição. No Brasil, foi adotado pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, o sistema da “Linha Média” (M). Este é o sistema mais utilizado em todo o mundo. No sistema “M” todas grandezas de medição são definidas a partir de uma linha paralela à direção geral do perfil, no comprimento de amostragem, linha esta que é a média entre os picos e reentrâncias de irregularidades. A norma brasileira adota o “Ra” que é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas do perfil medido em relação à linha média em um comprimento de amostragem. A Figura 5 mostra como é feito o cálculo de Ra.



Fonte: Agostinho, et. al. (1990).

Figura 5. Desvio aritmético Ra.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o processo de torneamento foi selecionado o aço SAE 1045, por se tratar de um aço mais duro, se comparados aos aços SAE 1010 e SAE 1020, que são os mais comumente encontrados no mercado. O aço SAE 1045 possui um valor médio de dureza Brinell HB = 260. No formato de barras cilíndricas de diâmetro de $\frac{1}{2}$ pol x 100mm de comprimento. Esse material é amplamente utilizado em componentes de uso geral, onde seja aplicada uma resistência mecânica superior à dos aços de baixo carbono convencionais. Os corpos de prova, que são peças de dimensões pré-definidas para realização de testes, foram preparados a partir

de uma barra de 2100mm desse material, dividida em 21 partes com uma serra de fita para metais. Como mostra a Figura 6.



Fonte: Próprio autor.

Figura 6 – Corpo de prova em aço SAE 1045.

Os corpos de prova foram torneados em um torno da marca Nardini, modelo ND-325 (8 kW de potência) com ferramentas de metal duro classe K10, pois era a ferramenta que estava mais acessível.

A usinagem aconteceu de forma aleatória. Para isso, era feito um sorteio a cada três peças, para decidir a ordem na qual as peças seriam usinadas. Para o sorteio foi utilizado um dado e aplicado a cada dois números do dado, um fluido diferente. A ferramenta recebia retoque na afiação a cada cinco peças, para não haver influência da afiação da peça nos resultados obtidos.

Durante o torneamento foi utilizada uma velocidade de corte (V_c) de 20 m/min e avanço de 0,05mm/rev e, a profundidade de corte foi de 1,5 mm, para todas as peças.

Foram usinadas um total de 21 peças, sendo 7 peças com ar comprimido, 7 utilizando água como fluido de corte e 7 utilizando óleo emulsificante diluído em água, numa mistura 1:19 (uma parte de óleo emulsificante para cada 19 partes de água).

O torno não possuía sistema próprio para jorrar o fluido de corte, então foi feita uma adaptação, utilizando uma bomba de combustível universal para automóveis, modelo CONAM-3471 (Figura 7), com vazão de 85 L/h e alimentada por uma bateria estacionária de 12V. Não foi necessária a utilização de bico, pois a bomba não alcança a pressão necessária para fazer com que o bico funcione e o fluido correu até a região de contato peça-ferramenta-cavaco por escoamento.



Fonte: Próprio autor.

Figura 7 – bomba de combustível usada para bombear o fluido de corte.

Em cada amostra foram feitas 2 análises com o rugosímetro, modelo SJ-201 da Mitutoyo, no laboratório de metrologia da escola Sesi-Senai, unidade de Rio Verde. Sobre uma bancada de precisão, foram utilizados dois blocos prismáticos magnéticos, para servir de apoio para a peça e rugosímetro, como mostrado na figura 8



Fonte: Próprio autor.

Figura 8 - Análise da rugosidade superficial com rugosímetro SJ-201.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

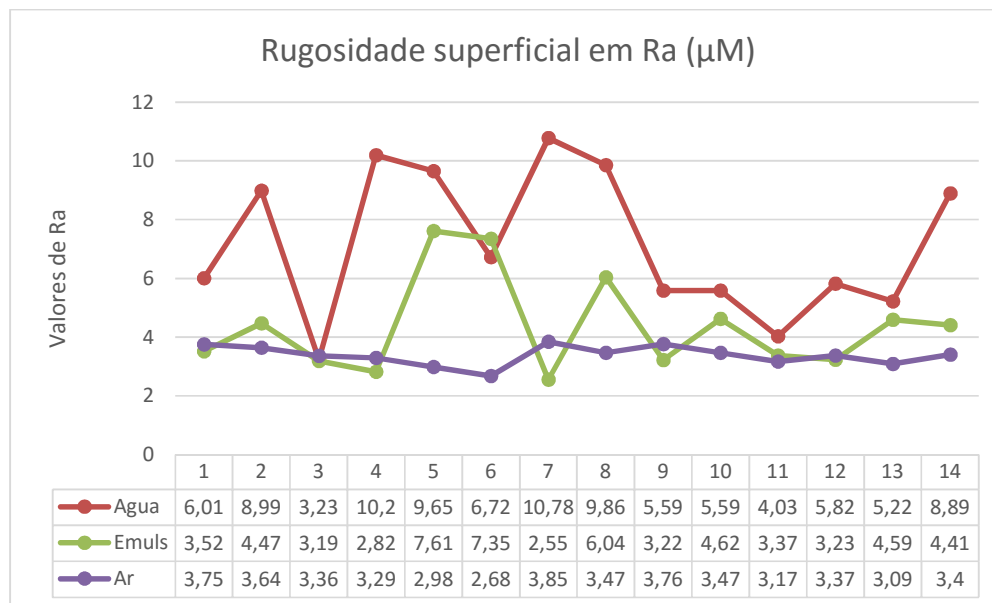
Os dados de rugosidade obtidos nos ensaios de rugosidade são mostrados na Tabela 1. Os resultados foram medidos em Ra (roughness average) que é a rugosidade média dada em μm , a unidade mundialmente mais utilizada e conhecida para a rugosidade superficial (NBR 4287).

Tabela 1 - Rugosidade Ra (μm) das amostras com diferentes fluidos de corte.

| Peça | Análise | Água | Emulsão | Ar |
|-------|---------|-------|---------|------|
| 1 | 1 | 6,01 | 3,52 | 3,75 |
| | 2 | 8,99 | 4,47 | 3,64 |
| 2 | 1 | 3,23 | 3,19 | 3,36 |
| | 2 | 10,2 | 2,82 | 3,29 |
| 3 | 1 | 9,65 | 7,61 | 2,98 |
| | 2 | 6,72 | 7,35 | 2,68 |
| 4 | 1 | 10,78 | 2,55 | 3,85 |
| | 2 | 9,86 | 6,04 | 3,47 |
| 5 | 1 | 5,59 | 3,22 | 3,76 |
| | 2 | 5,59 | 4,62 | 3,47 |
| 6 | 1 | 4,03 | 3,37 | 3,17 |
| | 2 | 5,82 | 3,23 | 3,37 |
| 7 | 1 | 5,22 | 4,59 | 3,09 |
| | 2 | 8,89 | 4,41 | 3,4 |
| Média | | 7,18 | 4,36 | 3,38 |

Fonte: Próprio autor.

Na figura 9, apresenta os valores em forma de gráfico para as usinagens com ar comprimido, enquanto os valores de rugosidade para as peças torneadas com água e emulsificantes ficaram com valores inconstantes.



Fonte: Próprio autor.

Figura. 9 - Valores de Ra em função das análises

Os resultados indicam que os corpos de prova que foram torneados sem fluido de corte mostraram, nitidamente, melhores resultados de acabamento superficial e uma melhor constância nos valores de rugosidade Ra. Notou-se, também, que logo após a usinagem, os corpos de prova usinados com ar comprimido estavam muito quentes, sendo necessário utilizar luvas de raspa para removê-los da placa do torno, enquanto os demais, não estavam quentes, podiam ser retirados sem o auxílio da luva, podiam ser tocados sem o risco de causar queimaduras.

O método estatístico para analisar os dados deste trabalho foi o teste de Tuckey também conhecido como método da diferença honestamente significativa, houve diferença significativa entre os valores de água se comparados aos valores de emulsificante e sem fluido. E não houve diferença significativa entre os valores de Ra para as peças usinadas em fluido e com emulsificante como fluido de corte.

Segundo o teste, houve diferença significativa entre os valores de água, se comparados aos valores de emulsificante e sem fluido. E não houve diferença significativa entre os valores de Ra para as peças usinadas sem fluido e com emulsificante como fluido de corte. Como mostrado na Tabela 2.

| Médias de tratamento | |
|----------------------|-----------|
| 1 | 7,18429 a |
| 2 | 4,35643 b |
| 3 | 3,37714 b |
| dms = | 1,57691 |

Fonte: Próprio autor.

Tabela 2 - Análise das médias método de Tukey.

Na tabela 2, as médias 1, 2 e 3, são respectivamente os valores de água, emulsificante e ar comprimido. As letras “a” e “b” representam os grupos onde houveram diferença significativa entre as médias. Sendo assim, a água que está em “a” e apresenta uma diferença significativa perante os outros.

Na tabela 2, os resultados foram estatisticamente diferentes, pelo método de tuckey a 1% de significância, mostrando que os resultados de rugosidade da água em 1, são estatisticamente diferentes dos resultados do fluido emulsificante em 2 e, da usinagem sem fluido em 3.

Isso pode ter ocorrido devido ao aumento da temperatura, o aço se tornou mais dúctil e a usinagem foi facilitada, neste trabalho, foi desconsiderado a exatidão da medida, porém os corpos de prova podem também ter sofrido influência da dilatação térmica em suas medidas. Assim, como dito por Teixeira Filho (2000), devido ao fato de nesta condição de corte, a temperatura favorecer a deformação e o cisalhamento do cavaco, reduzindo os esforços de corte e, também, porque o ar comprimido ajuda a retirar fagulhas de cavaco e outras impurezas da região de corte, reduzindo a rugosidade.

A rugosidade superficial das amostras sem fluido e com óleo não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, apesar de os resultados da usinagem sem fluido de corte terem sido aparentemente menos rugosos e mais constantes. Isso ocorreu devido as peças usinadas com emulsificante na diluição recomendada pelo fabricante, não ocasionar nenhum tipo de oxidação aparente na peça, apesar de o fluido ter sido diluído em água, isso ocorreu também e, os óleos emulsionáveis de corte podem substituir os óleos puros de corte, sem perder o poder de lubrificação nas arestas de corte.(DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2000).

Sendo assim, o fluido emulsificante, lubrificou e facilitou o corte, proporcionando um corte facilitado entre peça-ferramenta-cavaco, ajudando a melhorar o acabamento na peça, se comparado com a água pura.

Os resultados são o fluido “água” como refrigerante, pois a água apresenta apenas a propriedade de refrigerar a peça, além de que a água é um fluido não recomendado para este tipo de trabalho, por ambas as partes (peça e ferramenta) para serem oxidadas pela ação da água, o que na literatura consta, que devem ser evitados a utilização de água nessas condições.

O manuseio do operador pode também ter influência direta sobre os resultados do trabalho.

4 CONCLUSÕES

O objetivo desta pesquisa foi considerar a utilização de fluido de corte para melhorar a qualidade de trabalho em torno mecânico, para pequenas peças locais, de fabricação não seriada.

Em pequenas usinagens, a pesquisa mostrou que é inviável a utilização de fluido de corte, uma vez que o calor gerado é baixo para chegar a causar algum dano na ferramenta e/ou na peça, sua utilização apenas elevaria o custo de produção e a utilização comprometeria a vida útil da máquina, podendo oxidar as guias e os barramentos. Para ferramentas de aço rápido ou metal duro, pode comprometer sua vida útil, além de que usinar peças de aço provoca sua oxidação em pouco tempo, após serem usinadas.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C. S.; LIRANI, J. (1990). **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões**. 5ª reimpressão, Editora Edgar BlücherLtda, São Paulo, p. 295.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 4287**: Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro, 2002.

BARADIE, M.A.E. Cutting fluids: part I. Characterisation. Journal of Materials Processing Technology, Irlanda, 1996, 786-797.

CAMPBELL, J. D., Optimized coolant application. In: 1st International Machining and Grinding Conference, Technical Paper, MR95-211, Society of Manufacturing Engineers, 12-14 September, Dearborn, Michigan, 1995, p. 895-904.

CHIAVERINI, Vicente; **Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill LTDA, 1986. Vol 2.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 8. Ed. São Paulo: Artiliber, 2000.

EBBRELL, S. et al. The effects of cutting fluid application methods on the grinding process. International Journal of Machine Tools & Manufacture, School of Engineering, Liverpool John Moores University, Liverpool, jun./99.

EVANGELISTA, N., MACHADO, A. R., Tendências no Desenvolvimento de Aços de Corte Livre, Artigo submetido à revista Materials Science and Technology, Uberlândia, 2006.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1970

MACHADO, A. R.; Abrão, A. M.; Coelho, R. T.; Silva, M. B.: **Teoria da usinagem dos materiais**. Edgard Blücher, 371 p., São Paulo, 2009.

MACHADO, A.R. e DINIZ, "E., 2000, "Vantagens e Desvantagens do Uso (ou não) de Fluidos de Corte", Revista Máquinas e Metais, Aranda Editora, Ano XXXVII, n. 419, pp. 134-151.

RAMESH, K.; YEO, S. H.;ZHONG, Z. W.; SIM, K. C. Coolant shoe development for high efficiency grinding. Journal of Materials Processing Technology, nº 114, p. 240-245, 2001.

RUNGE P. R. F.; DUARTE G. N. **Lubrificantes nas Indústrias**. 1 ed. São Paulo, Triboconcept 1989.

SILLIMAN, J.D. (ed.). **Cutting and Grinding Fluids: selection and application**.2 ed. Dearborn, Michigan: SME, 1992

SALES, W.F., Determinação das Características Refrigerantes e Lubrificantes de Fluidos de Corte, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1999.

SALES, W. F.; MACHADO, A. R. ; GUIMARAES, G. . Nem Sempre o Fluido com Maior Poder Refrigerante Garante Temperaturas de Corte mais Baixas. Revista Máquinas e Metais, Aranda Editora, v. 407, p. 46-61, 1999.

SHAW, M. C. Metal cutting principles. New York: Oxford Science Publications, 1984. 594p.

TEIXEIRA FILHO, F.; FERREIRA, J. R.; SANTOS, J. N.; DINIZ, A. E. (2001). O uso (ou não) da refrigeração / lubrificação no torneamento de aço endurecido, Máquinas e Metais, abril, p. 260-283.

WEBSTER, J. Selection of coolant type and application technique in grinding. Supergrind, 1995, 205-218.