

INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE POSIÇÃO SECUNDÁRIO E DA APLICAÇÃO DE UM PEQUENO VOLUME DE FLUIDO NO ACABAMENTO DE SUPERFÍCIES USINADAS EM PRESENÇA DE ARESTA POSTIÇA DE CORTE

Alexandre Martins Reis

Bergson Merchiorato Ferreira Maia

Márcio Bacci da Silva

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

Faculdade de Engenharia Mecânica

Campus Santa Mônica

CEP: 38400-902 Uberlândia, MG, Brasil

E-mail: amreis@mecanica.ufu.br

Resumo

Este trabalho analisa a influência do ângulo de posição secundário da ferramenta (χ') sobre o acabamento de peças de aço ABNT 1045, torneadas em condições de APC (aresta postiça de corte). Utilizou-se ferramentas de aço rápido com cunhas cortantes de mesma geometria, variando-se apenas o χ' . A medida do Ra das superfícies usinadas a seco praticamente não variou com o χ' . O Ra teórico foi menor que o medido para valores de χ' menores que 15° , e o contrário para χ' maiores. Analisou-se também o efeito conjunto do χ' e da aplicação de fluido por gotejamento (vazão = 12ml/min), no acabamento. O fluido, gotejado sobre a peça próxima à ponta da ferramenta, diminui o Ra principalmente para χ' pequenos. A forma de aplicação e o pequeno volume de fluido sugerem um mecanismo de lubrificação onde o fluido melhora o acabamento sem penetrar na interface cavaco-ferramenta e eliminar a APC.

Palavras-chave: Acabamento de Superfícies Usinadas, Ângulo de Posição Secundário, Aresta Postiça de Corte, Fluido de corte.

1. INTRODUÇÃO

O estudo do acabamento das superfícies de peças usinadas é muito importante, pois este afeta as condições de funcionamento e a confiabilidade dos componentes mecânicos. O acabamento da superfície usinada é composto de quatro elementos (Machado et al, 1993): rugosidade, ondulações, marcas de avanço, falhas. Estes quatro elementos podem ser assim definidos :

- Rugosidade : São irregularidades finas resultantes da ação inerente do processo de corte (marcas de avanço), e que são medidas em um pequeno comprimento denominado “cut – off”.
- Ondulações : Consistem de todas irregularidades superficiais cujos espaçamentos são maiores que o “cut – off”.

- Marcas denotando direções das irregularidades : Apontam as direções predominantes das irregularidades superficiais. Elas dependem da orientação da peça e da ferramenta de corte na máquina e da natureza do movimento relativo entre as duas.
- Falhas : São interrupções na topografia típica da superfície de um componente. São não intencionais, inesperadas e indesejáveis.

Entre eles o mais usado na caracterização do acabamento da superfície usinada é a rugosidade, que por sua vez pode ser medida por vários parâmetros, sendo mais comuns os seguintes :

- R_a : É o valor médio aritmético de todos os desvios do perfil de rugosidade da linha média dentro do comprimento de medição “L” (ISO 4287/1, Din4768). Este valor é obtido medindo-se os desvios dos picos e vales em relação a uma linha de centro (Machado et al, 1993), calculado através da equação 1. Esta linha de centro é tal que as áreas abaixo e acima do traço do perfil são iguais.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)|.dx \quad (1)$$

- R_{max} : É a distância entre duas linhas paralelas à linha média que tangenciam o perfil no pico mais alto e no vale mais profundo, em um comprimento de amostragem definido.

Os valores teóricos de R_a e R_{max} , no torneamento, podem ser calculados em função da geometria do processo de acordo com as equações 2 e 3 respectivamente. Estes valores são chamados de teóricos porque só levam em consideração a influência geométrica do avanço (f) e do raio de ponta da ferramenta (r) (Shaw, 1986).

$$R_a = \frac{f^2}{18\sqrt{3}r} \quad , \text{ onde: } f = \text{avanço (mm/volta);} \quad (2)$$

$r = \text{raio de ponta (mm).}$

$$R_{max} = \frac{f^2}{8.r} \quad , \text{ onde: } f = \text{avanço (mm/volta);} \quad (3)$$

$r = \text{raio de ponta (mm).}$

Para ferramentas sem raio de ponta (Figura 1) , os valores teóricos de R_a e R_{max} no torneamento, podem ser calculados em função do avanço, do ângulo de posição principal (χ) e do ângulo de posição secundário (χ'), através das equações 4 e 5 (Machado e da Silva, 1993).

$$R_a = \frac{f}{4(\cot\chi + \cot\chi')} \quad (4)$$

$$R_{max} = \frac{f}{(\cot\chi + \cot\chi')} \quad (5)$$

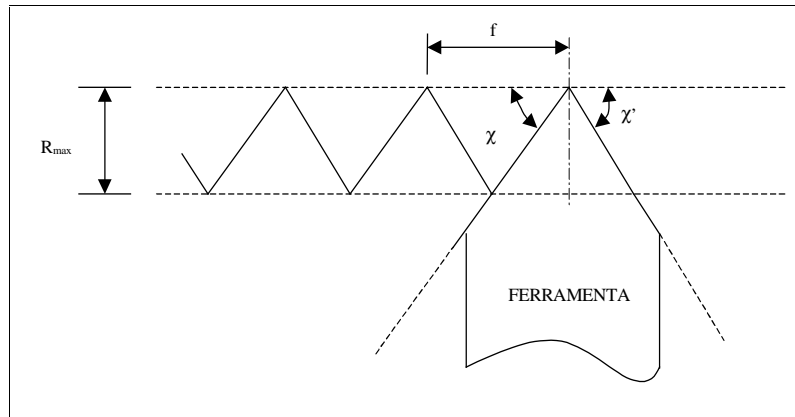


Figura 1 - Ferramenta sem raio de ponta.

O tipo de rugosidade produzida pela operação de torneamento, é altamente dependente da geometria da ferramenta de corte, principalmente dos ângulos de posição principal (χ) e secundário (χ').

Quando um bom acabamento da superfície usinada é desejado, a operação de usinagem é normalmente realizada em elevadas velocidades de corte. Isto porque em baixas velocidades de corte ocorre a formação de APC (aresta postiça de corte) que é uma das principais causas da pobre qualidade da superfície nestas condições. Entretanto, ainda existem operações tais como brochamento, rosqueamento e furação de pequenos diâmetros, onde o emprego de velocidades de corte elevadas não é viável.

O melhoramento conhecido do acabamento da superfície usinada, pela aplicação de fluido de corte em baixas velocidades é freqüentemente atribuído ao efeito da lubrificação da superfície de saída da ferramenta que previne a formação da APC. Entretanto testes realizados por da Silva (1998) mostraram que a lubrificação não tem efeito sobre o tamanho e a forma da APC, mesmo assim influencia o acabamento da superfície usinada.

Assim, este trabalho tem dois objetivos principais: 1) Verificar a influência do χ' sobre o acabamento das superfícies de peças de aço ABNT 1045, torneadas em condições de APC ($V_c = 28$ m/min); 2) Analisar o efeito conjunto do χ' e da aplicação de fluido por gotejamento (vazão = 12ml/min), sobre o acabamento da superfície usinada.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho, usando-se um torno IMOR Max XI – II – 520, foram realizados testes de torneamento em barras de aço ABNT 1045, com dimensões iniciais $\phi = 100$ mm e $L=350$ mm e com a seguinte composição química (% em massa) : 0,48% C; 0,24% Si; 0,70% Mn; 0,10% Cr; 0,07% Ni; 0,02% Mo; 0,04% Cu; 0,027% Al; 0,024% P; 0,020% S .

Para verificar o efeito do ângulo de posição secundário, sobre o acabamento da superfície usinada, foram utilizadas ferramentas de aço rápido cujas cunhas cortantes possuíam a mesma geometria ($\alpha = 5^\circ$, $\gamma = 5^\circ$, $\lambda = 0$, $\chi = 45^\circ$), diferenciando-se apenas pelo ângulo de posição secundário ($\chi' = 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ$).

Os testes foram divididos em duas etapas principais : 1) a seco; 2) com fluido de corte em pequeno volume (na posição sobre cabeça).

Na segunda etapa, o fluido utilizado foi um óleo mineral integral com aditivos de extrema pressão, recomendado para uma ampla faixa de operação, de condições de corte leves a pesadas nos processos de torneamento, fresamento e furação, apresentando boas propriedades

lubrificantes e anticorrosivas. Este fluido foi gotejado, com uma vazão de 12 ml/min, sobre a peça visando molhar a superfície usinada próximo à ponta da ferramenta.

As condições de corte utilizadas foram as seguintes : $V_C = 28\text{m/min}$; $a_p = 2\text{mm}$; $f = 0,095, 0,116, 0,141\text{ mm}$. Para cada ferramenta foram feitos testes com cada avanço, usinando um comprimento de 15mm sobre a peça.

Após os testes, o parâmetro Ra das superfícies usinadas foram medidos, na direção perpendicular as marcas de avanço, com um rugosímetro portátil Mitutoyo/SurfTest F 211. Foram tomadas 4 medidas de rugosidade para cada teste e tirada a média dos valores. Amostras das superfícies usinadas com cada uma das ferramentas ($f = 0,116\text{mm}$) foram analisadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), Mod. Leo 940 A. Fab. Zeiss.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As condições de corte utilizadas neste trabalho favorecem à formação de APC, para todos os testes, de acordo com resultados experimentais encontrados na literatura. No entanto, a presença ou não de APC pode ser verificada por várias maneiras, uma delas é a simples observação da superfície inferior do cavaco (Nakayama et al, 1956)(Sata, 1963).

Analisando a superfície inferior dos cavacos provenientes de todos os testes realizados, inclusive daqueles com fluido de corte, observou-se a presença de riscos paralelos à direção longitudinal do cavaco e de partículas de APC em forma de linhas perpendiculares à direção de corte. Estes resultados já eram esperados devido a baixa velocidade de corte utilizada e a forma de aplicação do fluido (pequena quantidade e com a pressão atmosférica), que não permite a penetração do mesmo na interface cavaco-ferramenta e consequentemente a eliminação da APC.

Observando o gráfico da rugosidade média (Ra) em função do χ' , para os três avanços usados nos testes à seco (Figura 2 a), nota-se que a rugosidade aumenta com o aumento do avanço, como era de se esperar pela equação teórica (equação 4). Nesta mesma figura, nota-se também que a rugosidade tem uma tendência muito leve a diminuir com a redução do χ' . Esse resultado foi de uma certa forma surpreendente, pois esperava-se que a rugosidade aumentasse bastante com o aumento do χ' , isso porque valores elevados destes ângulos levam a um aumento na profundidade dos vales, aumentando por consequência a rugosidade média (Ra).

A Figura 2 b) mostra os valores teóricos da rugosidade média (Ra) em função do χ' , comparados com os valores práticos medidos nos testes à seco com avanço $f = 0,116\text{mm/volta}$ (vale ressaltar que gráficos semelhantes foram obtidos com os demais avanços). Nesta figura observamos que para valores de χ' menores que 15° , a rugosidade teórica foi menor que a rugosidade medida, para valores de χ' maiores que 15° ocorreu o contrário. Este resultado pode estar relacionado com a geometria das marcas de avanço e com a disposição de partículas aderidas à superfície usinada. As Figura 3 a) e 3 b) mostram um esquema da geometria da superfície usinada por ferramentas com χ' grande e pequeno, respectivamente, procurando ressaltar as marcas de avanço e partículas aderidas à superfície. Este esquema sugere que para χ' grande, partículas aderidas à superfície da peça, “camuflam” a profundidade real dos vales, fazendo com que a leitura do rugosímetro indique valores de Ra menores que o teórico. Para χ' pequeno, estas partículas agem de forma oposta e a leitura do rugosímetro indica valores de Ra maiores que o teórico.

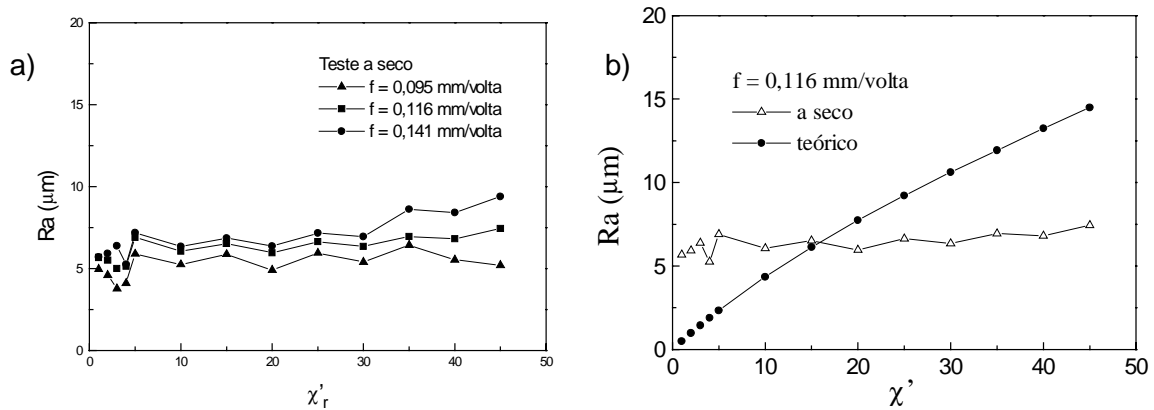


Figura 2 – a) Rugosidade média (Ra) em função do χ' , para os três avanços, nos testes à seco; b) Valores teóricos de Ra em função do χ' , comparados com os valores práticos medidos nos testes à seco com avanço $f = 0,116$ mm/volta.

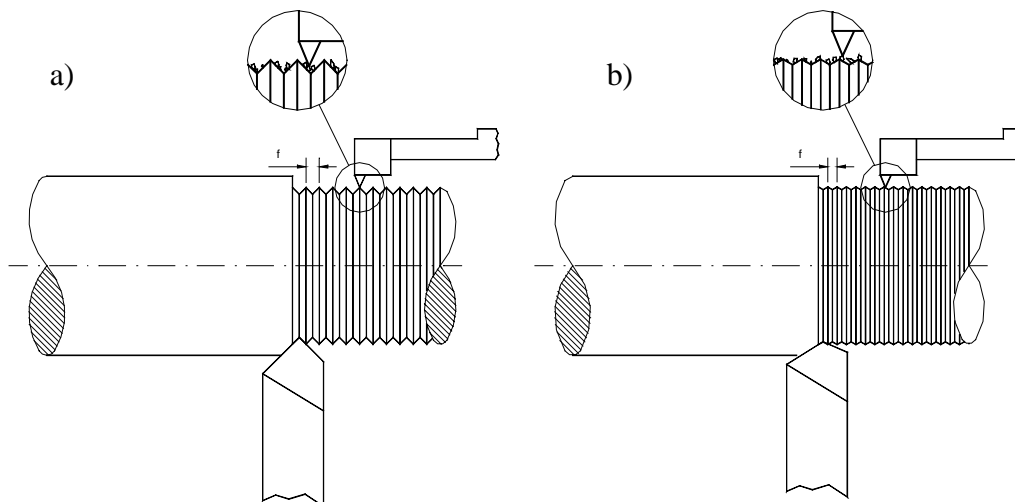


Figura 3 – Esquema da geometria da superfície usinada por ferramentas com χ' : a) grande e b) pequeno.

Quando se usou pequenas quantidades de fluido de corte (vazão = 12 ml/min), gotejado sobre a peça, de tal forma que a superfície usinada fosse molhada, obteve-se alguns resultados interessantes. A Figura 4 mostra o gráfico comparativo de Ra em função de χ' , para as condições de usinagem à seco e com fluido de corte. Neste gráfico pode-se perceber que o uso do fluido de corte, de uma maneira geral, melhorou o acabamento da superfície usinada em termos do Ra. Porém, esta melhora se deu de maneira mais acentuada para valores de χ' pequenos ($\chi' = 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ$).

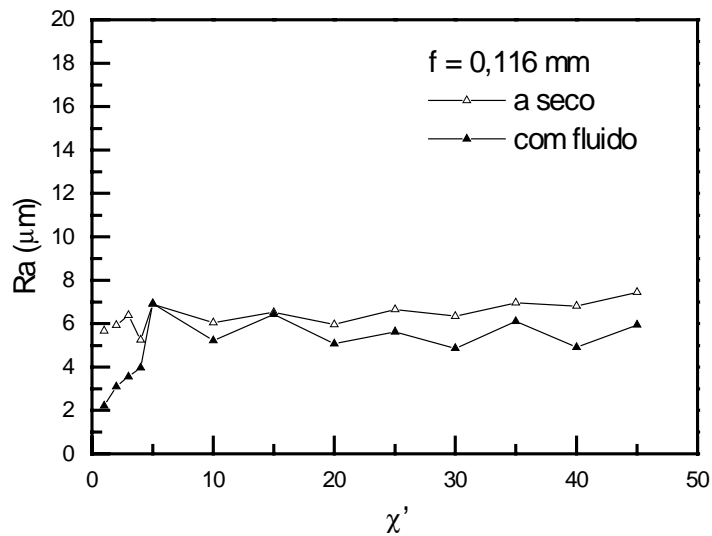


Figura 4 - Gráfico comparativo de Ra em função de χ' , para usinagem à seco e com fluido, $f=0,116$ mm.

Amostras retiradas das superfícies usinadas foram analisadas no MEV, na tentativa de identificar possíveis diferenças entre elas. Em todas as amostras analisadas, foram encontradas algumas das características das superfícies usinadas listadas por Field et al (1971), tais como deformações plásticas, trincas, sulcos, lascas, e também as marcas de avanço. A Figura 5a) mostra uma foto (tirada no MEV, com uma ampliação de 200X), da superfície da amostra usinada por uma ferramenta com $\chi' = 45^\circ$, na condição a seco. Nesta figura, nota-se que as marcas de avanço são bem visíveis sobre a superfície, mas em alguns pontos elas são cobertas por partículas que parecem ter sido depositadas sobre a superfície recém usinada da peça. Isso porque estas partículas apresentam sob elas, riscos paralelos as marcas de avanço, sugerindo que a ferramenta em um passo subsequente à formação da superfície usinada, tenha comprimido estas partículas sobre a superfície. Tais partículas, que serão chamadas aqui de partículas T, também foram visualizadas por Da Silva (1998), que as identificou como sendo partículas de APC. Este autor sugere que a APC se deforma na direção da aresta de corte, aderindo à superfície usinada da peça, após esta ser formada. Ao se desprenderem do corpo da APC, as partículas T caem entre a aresta de corte secundária da ferramenta e a superfície da peça em usinagem secundária, sendo comprimidas pela ponta da ferramenta contra esta última. Assim as partículas T são atritadas contra a superfície recém usinada da peça e se aderem periodicamente à ela na direção perpendicular à direção de corte. Desta forma tais partículas contribuem para modificar a geometria da superfície.

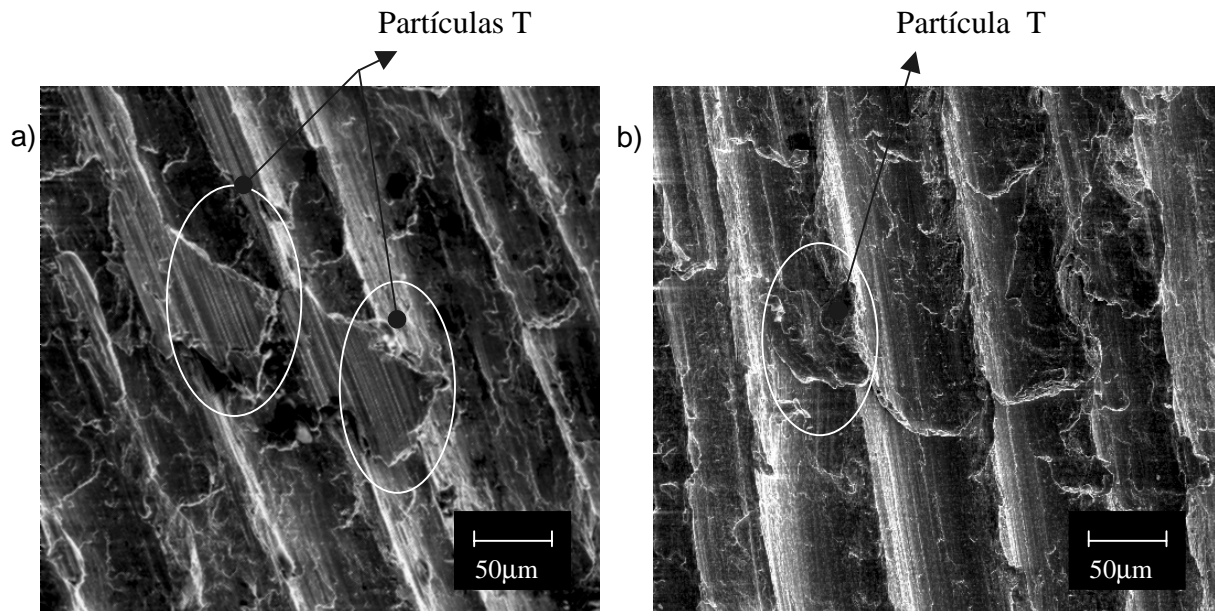


Figura 5 – Superfícies usinadas à seco (ampliação 200X) por ferramentas: a) $\chi' = 45^\circ$, b) $\chi' = 1^\circ$.

As partículas T foram observadas em todas as superfícies usinadas a seco, independentemente, do χ' da ferramenta de corte utilizada. Cabe ressaltar porém que estas partículas apresentaram larguras menores nas amostras usinadas com ferramentas onde o χ' é grande ($\chi' = 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ$). Já nas amostras usinadas por ferramentas com o χ' pequeno ($\chi' = 5^\circ, 4^\circ, 3^\circ, 2^\circ, 1^\circ$), as partículas T se confundem com outros tipos de partículas de APC que caem pela superfície principal de folga e são aderidas a peça ao longo da direção de corte. A Figura 5 b) mostra uma foto (tirada no MEV, com uma ampliação de 200X), da superfície da amostra usinada por uma ferramenta com $\chi' = 1^\circ$, na condição a seco. Comparando-se a Figura 6 a), que mostra a foto (tirada no MEV, com uma ampliação igual a 200X) da superfície usinada por uma ferramenta com $\chi' = 1^\circ$, usando uma pequena quantidade de fluido de corte, com a figura 5 b), percebe-se que as partículas T de APC aderidas sobre a superfície usinada desapareceram, quando se usou fluido de corte. Apesar da Figura 6 a) não mostrar nenhuma partícula T, na análise de outras regiões desta mesma superfície, consegue-se identificar uma pequena quantidade de partículas T aderidas. Este fato pode ter ocorrido devido ao efeito conjunto do fluido de corte, que diminui a aderência das partículas T sobre a superfície formada, com χ' pequeno, que permite o “raspamento” da superfície, retirando desta forma as partículas T aderidas sobre ela. Isto explica de uma certa forma a redução do Ra das superfícies usinadas por ferramentas com χ' pequeno. Por outro lado, comparando-se a foto da superfície usinada por uma ferramenta com $\chi' = 45^\circ$, usando fluido de corte, mostrada na Figura 6 b), com a foto mostrada na Figura 5 a), nota-se que as partículas T, mesmo na usinagem com a aplicação de fluido de corte, ainda estão presentes sobre a superfície da peça em uma quantidade considerável. Nestas condições, o fluido de corte continua atuando, mas como χ' é grande o efeito de “raspamento” diminui bastante. Esta ação solitária do fluido não foi suficiente para diminuir de maneira satisfatória a quantidade de partículas T aderidas sobre a superfície da peça. Isto explica porque o Ra variou muito pouco com a aplicação do fluido nos testes com χ' grande.

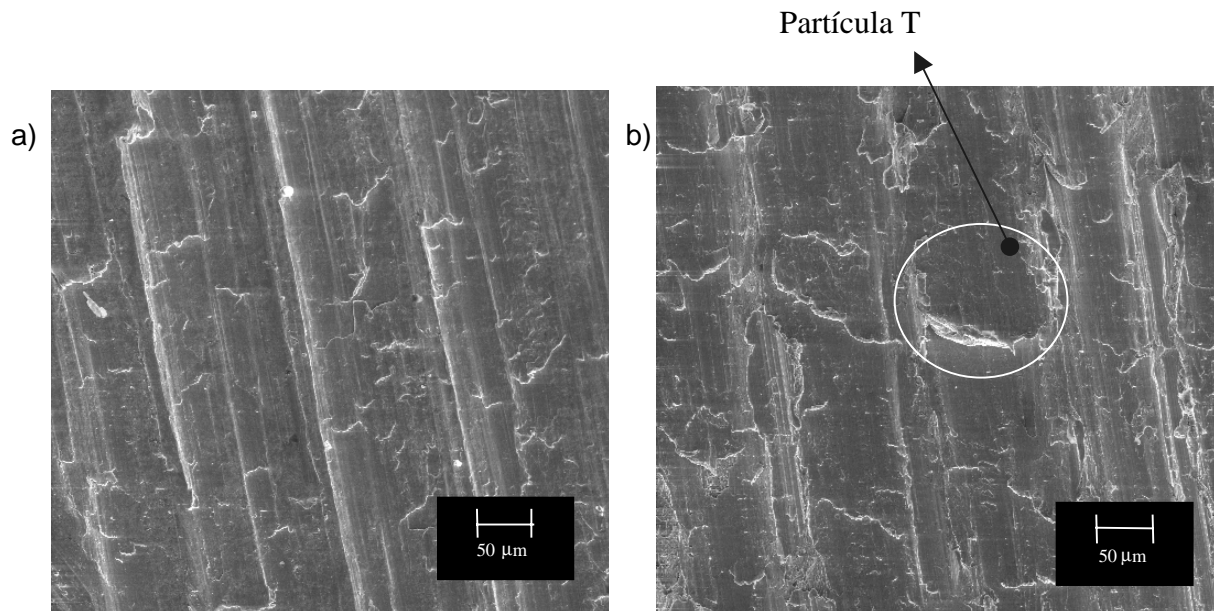


Figura 6 – Amostra usinada com fluido (ampliação 200X) por ferramentas: a) $\chi' = 1^\circ$, b) $\chi' = 5^\circ$.

4. CONCLUSÕES

Os testes realizados permitiram que se chega-se às seguintes conclusões :

- A rugosidade medida praticamente não variou com o χ' , nos testes realizados a seco. Este resultado contraria a teoria, pois segundo esta o Ra deveria aumentar consideravelmente com o aumento do χ' . Desta forma, a medida do parâmetro Ra não se mostrou eficaz na determinação da influência do χ' sobre o acabamento da superfície usinada em condições de APC.
- Para valores de χ' menores que 15° a rugosidade teórica foi menor que a rugosidade medida, e para χ' maiores que 15° ocorreu o contrário. Este fato está relacionado com a geometria das marcas de avanço e com a disposição de partículas de APC aderidas à superfície usinada.
- As análises no MEV das superfícies usinadas, permitiram identificar, além das características típicas das superfícies usinadas (lascas, trincas, rebarbas, fluxo lateral de material da peça, e partículas de APC aderidas à superfície da peça na direção de corte), partículas de APC aderidas sobre a peça na direção perpendicular a direção de corte e que alteram o perfil de rugosidade da superfície usinada nesta direção e são denominadas neste trabalho de partículas T .
- O uso do fluido de corte, gotejado sobre a peça, melhora o acabamento da superfície usinada em termos de Ra, pela lubrificação da superfície recém usinada diminuindo a aderência de partículas T sobre esta superfície. Esta melhora se dá de maneira muito mais acentuada para valores pequenos de χ' .

Referências Bibliográficas

Machado, A. R., Da Silva, M. B., 1993, “Usinagem dos Metais”, Apostila, DEEME – UFU, 174p.

Shaw, M. C., 1986, “Metal Cutting Principles”, Oxford University Press, New York, .

Da Silva, M. B., 1998, “Lubrication in Metal Cutting Under Built-Up Edge Conditions”, PhD Thesis, University of WarWick, England, UK, 235p.

Sata, T., 1963, “ Surface Finish in metal cutting”, Annals CIRP, Vol 12, pp.190-197.

Field, M., kahles, J. F., 1971, “Review of Surface Integrity of Machined Components”, Annals of the CIRP, Vol. 20/2, pp. 153 – 163.