



PROPOSIÇÃO DE UMA NOVA GEOMETRIA DE CORPOS-DE-PROVA PARA ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA PENDULAR

Francisco F. Ramos Neto

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia, MG, Brasil

Robson José de Souza

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia, MG, Brasil

Sinésio D. Franco

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
itm-sdfranco@ufu.br – Uberlândia, MG, Brasil

Resumo. *A esclerometria pendular constitui-se em uma ferramenta importante no estudo do processo abrasivo, podendo fornecer de forma relativamente rápida resultados para a classificação de diferentes materiais. Até o presente momento têm sido utilizadas, basicamente, amostras com superfície plana, que levam a uma variação da profundidade de riscamento durante o ensaio. No presente trabalho, uma nova geometria de corpos-de-prova para a esclerometria pendular é proposta, que seja capaz de gerar uma profundidade de riscamento constante. Essa geometria seria resultante da inserção de um raio de curvatura na superfície de teste igual ao raio descrito pelo penetrador. Ensaios realizados em amostras de aço ABNT 1020 recozido mostraram que a variação da profundidade de riscamento durante a realização do sulco em amostras planas conduz a uma energia específica média, que é inferior à obtida em amostras com superfícies curvas, ou seja, com profundidade constante de riscamento. Além disso, o efeito de escala em amostras com superfície curva pode ser visualizado mais facilmente, na medida em que as curvas de energia específica são deslocadas para a direita, e, portanto, detectáveis com perdas de massas maiores.*

Palavras-chaves: *Esclerometria Pendular, Desgaste Abrasivo, Geometria de Amostras*

1. INTRODUÇÃO

A esclerometria é uma técnica utilizada na simulação do processo abrasivo de diferentes sistemas tribológicos. Através dessa técnica, procura-se reproduzir a ação de uma partícula dura. Dentre os diversos tipos de esclerômetros existentes, destacam-se os seguintes tipos: retilíneo, rotativo e pendular. Esse último é particularmente interessante na simulação da interação entre partículas duras e superfícies técnicas, quando se tem elevadas deformações e sob altas taxas de

deformação plástica, Sodeberg *et al.* (1985).

Este método utiliza um penetrador fixado à extremidade de um pêndulo, que percute sobre uma amostra. A energia dissipada na produção do risco é determinada pela variação da energia potencial do pêndulo de maneira análoga à utilizada nos ensaios clássicos de resistência ao impacto. A energia específica de riscamento e , dada pela relação entre a energia dissipada E e a perda de massa \mathbf{Dm} produzida na amostra, é um parâmetro representativo da resistência à abrasão dos materiais, Sodeberg *et al.* (1985) e Bryggman *et al.* (1979). A boa correlação entre ensaios de esclerometria pendular e ensaios globais pôde ser notada também no que se refere à camada subsuperficial desgastada, Bryggman *et al.* (1985). Desta forma, um material com elevada energia específica de riscamento deve apresentar uma boa resistência ao desgaste abrasivo. Adicionalmente, a esclerometria pendular permite, através de interrupções instantâneas, a análise dos diversos mecanismos de formação e remoção do cavaco, Franco (1989).

Os resultados de esclerometria pendular mostram um rápido aumento da energia específica com a redução da profundidade de riscamento. Este comportamento é bastante complexo e tributário de dois fatores principais, quais sejam: a) efeito de escala, Gane & Skinner (1973) e Backer *et al.* (1952), e b) mecanismos de formação do cavaco ou fragmento de desgaste, Bryggman *et al.* (1985). A grande maioria dos ensaios realizados nesse tipo de equipamento foi efetuada em amostras planas, tendo, portando, o inconveniente da variação contínua da profundidade de riscamento. Isso pode levar, em princípio, ao desenvolvimento de diferentes tipos de cavaco em um mesmo ensaio. Além disso, a energia específica obtida com uma amostra plana é constituída de valores elevados para volumes removidos nas extremidades do sulco e valores menores correspondes à região central. Na tentativa de resolver esse problema, Liu (1996) idealizou uma amostra contendo um filete, como mostrado na **figura 1**. Através de realização de pré-testes na amostra, o raio de curvatura era introduzido, de tal forma, que os ensaios pudessem ser realizados a uma profundidade e seção constantes. Todavia, neste caso, a inexistência de material nas laterais pode levar, principalmente em materiais com elevada deformação plástica durante o processo de riscamento, a uma movimentação considerável de material nas laterais do corpo-de-prova.

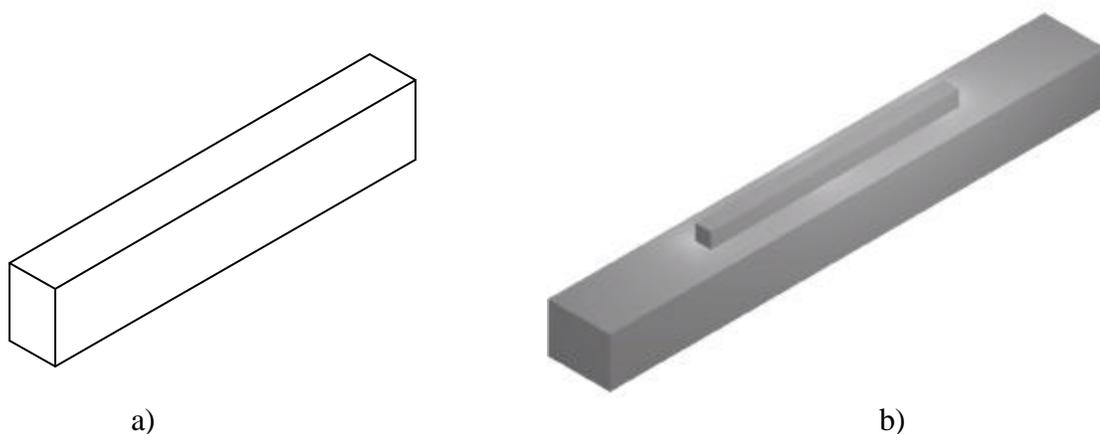


Figura 1 – Corpos-de-prova para a esclerometria pendular, a) geometria plana tradicional e b) proposta por Liu (1996).

Assim, o presente trabalho tem por objetivo apresentar uma nova geometria de corpos-de-prova para a esclerometria pendular, de tal forma a se minimizar os problemas decorrentes da variação de profundidade durante o ensaio.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os ensaios esclerométricos foram efetuados em um esclerômetro pendular de baixa energia potencial de disparo descrito em Franco (1989). A energia potencial de disparo utilizada foi de 19J e a velocidade de percussão de 4,1 m/s. Como elemento riscante foi utilizado um penetrar piramidal de base quadrada e extremidade truncada, com ângulo entre faces de 87°, em metal duro à base de WC-Co. A extremidade truncada foi mantida em 0,58 mm.

Neste trabalho foram realizados ensaios em amostras com superfície plana e em uma nova geometria de amostra, cujas dimensões são apresentadas na **figura 2**. O raio de curvatura da nova amostra foi de 400mm, idêntico ao raio descrito pelo pêndulo. A usinagem foi realizada em uma fresadora CNC. As amostras utilizadas foram obtidas a partir de barras de aço ABNT 1020 no estado recozido, com dureza de 122HV30.

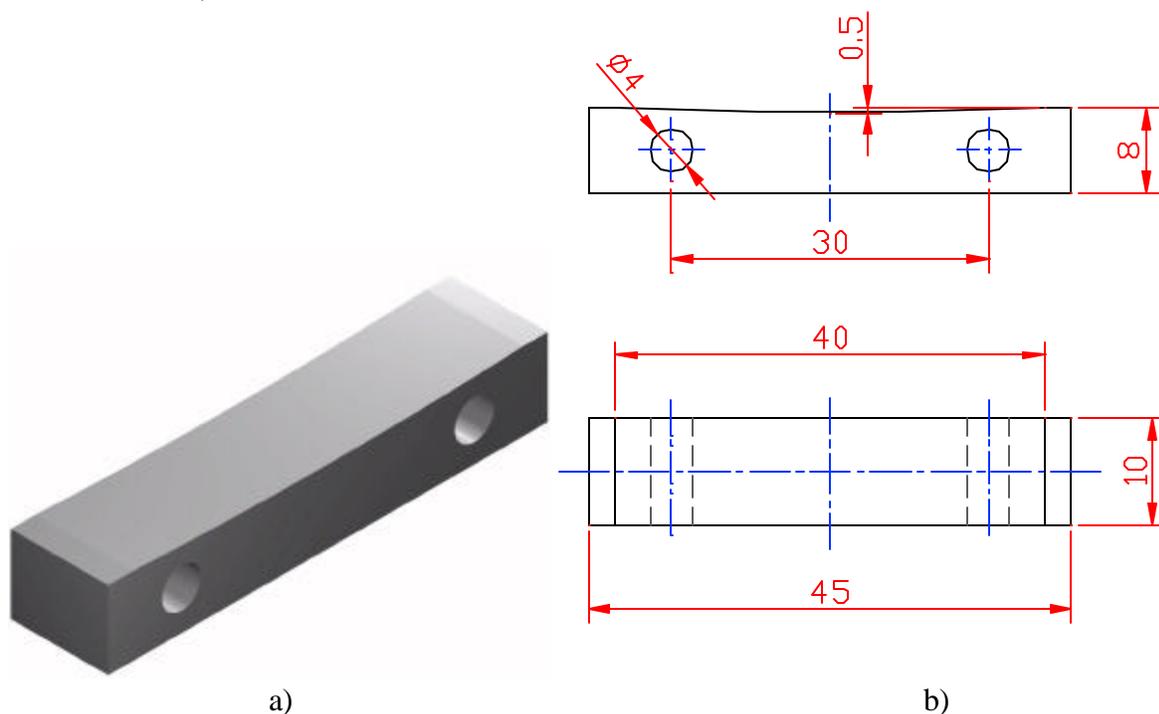


Figura 2 – Geometria e dimensões dos novos corpos-de-prova propostos para os ensaios de esclerometria pendular, a) vista tridimensional e b) dimensões.

A superfície dos riscos produzidos foi observada através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A morfologia dos cavacos foi verificada através de observação das seções longitudinais dos mesmos após embutimento e polimento com pasta de diamante. Como reativo foi utilizado o Nital. A perda de massa gerada pelo riscamento foi determinada através do método gravimétrico interrompido com limpeza ultrasonora das amostras (resolução da balança - 10^{-5} g).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A **figura 3** apresenta a superfície das amostras com a nova geometria após a realização de um ensaio. Nota-se através dessa figura a existência da curvatura, utilizada com o objetivo de garantir uma profundidade de riscamento constante. A profundidade do sulco se mantém praticamente constante ao longo do risco, como pode ser observado através de ampliações da região central e

extremidades. Vale ressaltar, que para a geometria proposta, ensaios realizados em amostras com profundidade de riscamento inferiores a aproximadamente 1 mm produzem perdas de massa inferiores às observadas nas amostras planas (**figura 4**). Acima desse valor, a perda de massa passa a ser maior para amostras com superfície curva.

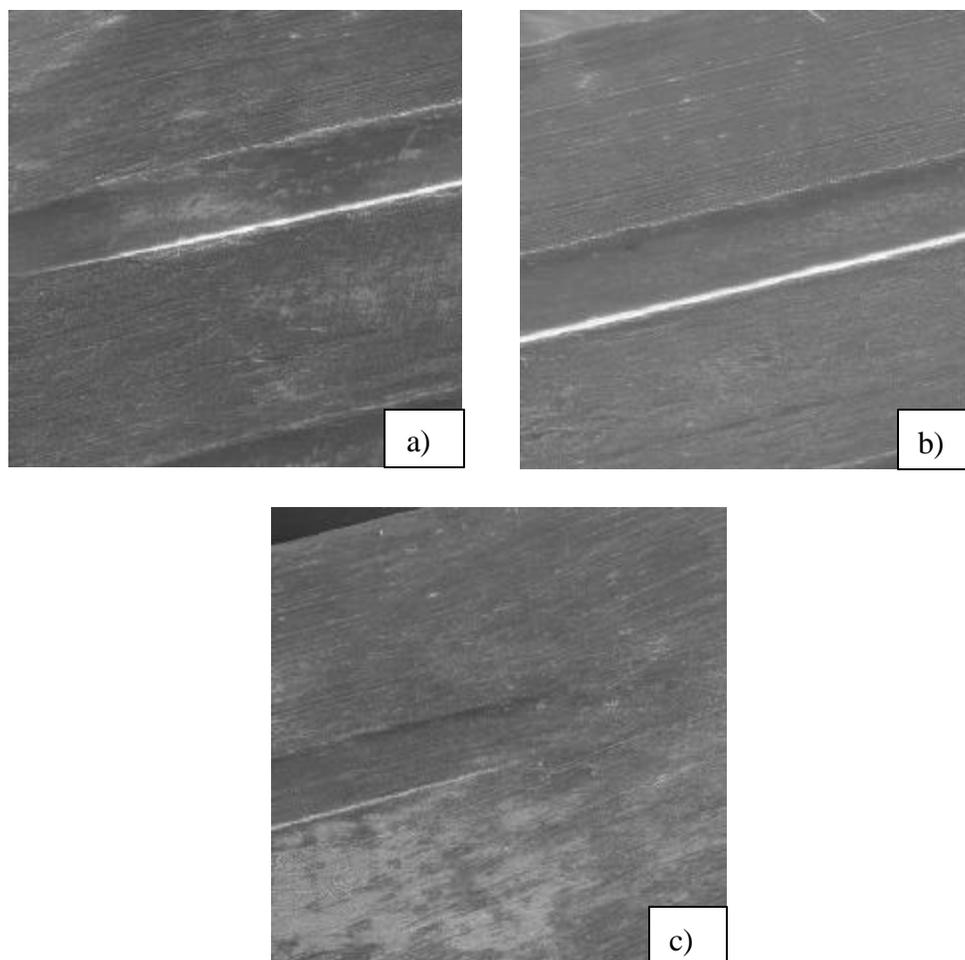


Figura 3 – Superfície dos novos corpos de prova após a realização do ensaio, a) extremidade esquerda, b) centro e c) extremidade direita, MEV, 30X e inclinação de 30°.

Os resultados de energia específica em função da perda de massa, bem como os respectivos coeficientes de correlação para as regressões potenciais são apresentados na **figura 5**. Nota-se dessa figura que a energia específica aumenta com a redução da perda de massa decorrente do processo de riscamento para as duas amostras. Essa redução é atribuída ao efeito de escala do evento, Briggman *et al.* (1985), Franco (1989) e Backer (1952). Todavia, esse aumento da energia com a redução da perda de massa é mais acentuado na amostra com superfície curva. Além disso, a curva correspondente à amostra com superfícies plana se encontra abaixo da curva com superfícies curva.

Essas diferenças de comportamento das duas curvas podem ser atribuídas à variação da seção ao longo do risco na amostra plana. Nessa amostra, tem-se uma profundidade de riscamento que varia continuamente desde zero, no início do processo, até um valor máximo (localizado no centro do sulco). A seguir, a profundidade é reduzida de forma progressiva até zero novamente. Como a

energia específica é função das dimensões do evento, ou, no caso, da profundidade de riscamento, tem-se durante o processo de riscamento uma variação deste parâmetro, desde um valor máximo, localizado nas extremidades do risco, até um valor mínimo, localizado no centro do mesmo. Assim, a energia específica, obtida pela divisão da energia total pela perda de massa no processo de riscamento, é constituída de uma média entre os diferentes valores. Esse processo de obtenção acaba levando, portanto, a um retardamento na detecção do fenômeno de efeito escala, ou um deslocamento para esquerda do crescimento rápido da energia em função da variação de massa.

O deslocamento da curva de energia específica da amostra com superfície plana para baixo pode ser associado à mudança de profundidade durante o sulcamento. Na amostra plana tem-se uma grande parte do volume do material sendo removido na região central do sulco, ou seja, na região de menor energia específica. Para se ter a mesma perda de massa na amostra curva é necessário que a profundidade do risco seja reduzida, levando assim, a valores de energia específica maiores na amostra com superfície curva. Essa concentração do volume de material removida na amostra plana pode ser notada nos cavacos (ver **figura 6**). No cavaco da amostra com superfície curva, a variação da espessura do mesmo é bem menor em relação à da amostra plana. Além disso, nota-se, que as lamelas geradas pelo cisalhamento adiabático nas regiões centrais dos cavacos na amostra plana são mais espaçadas, consumindo, portanto, menor energia de riscamento por unidade de volume.

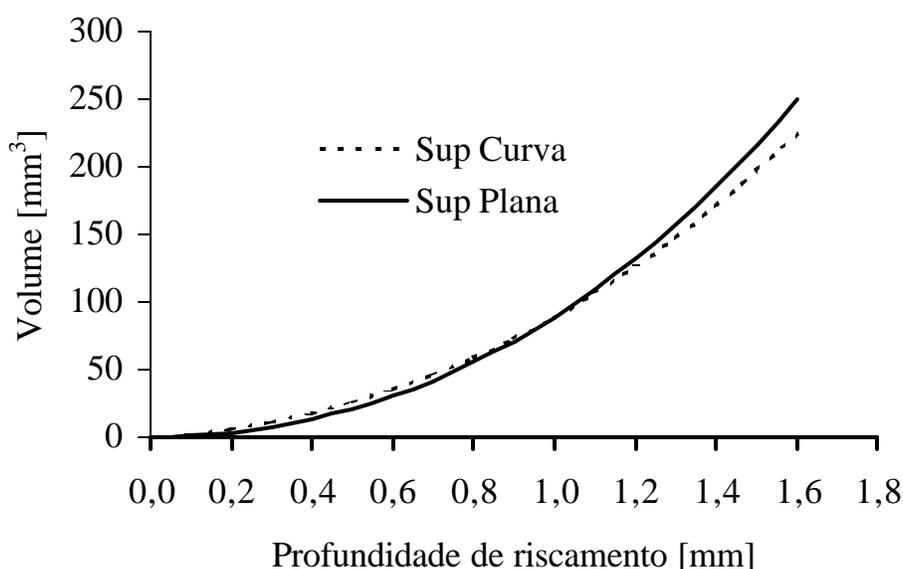


Figura 4 – Simulação da variação do volume removido na esclerometria pendular em função da profundidade de riscamento para uma amostra plana e para uma amostra curva com as dimensões dadas pela **figura 2**.

Além de reduzir as diferenças de e em função da posição no sulco, a adoção da nova geometria para os corpos de prova possibilita a utilização desta técnica de forma mais eficiente no estudo de desgaste abrasivo de revestimentos de baixa espessura, como por exemplo, os verificados em anéis nitretados de motores de combustão interna. Neste caso, tem-se uma zona de difusão de cerca de 100 μm de espessura, que pode, então, ser ensaiada com baixas profundidades de riscamento, pois nesse caso a perda de massa pode ser medida em balanças com resolução de até 10^{-4} , Ramos Neto

(2001).

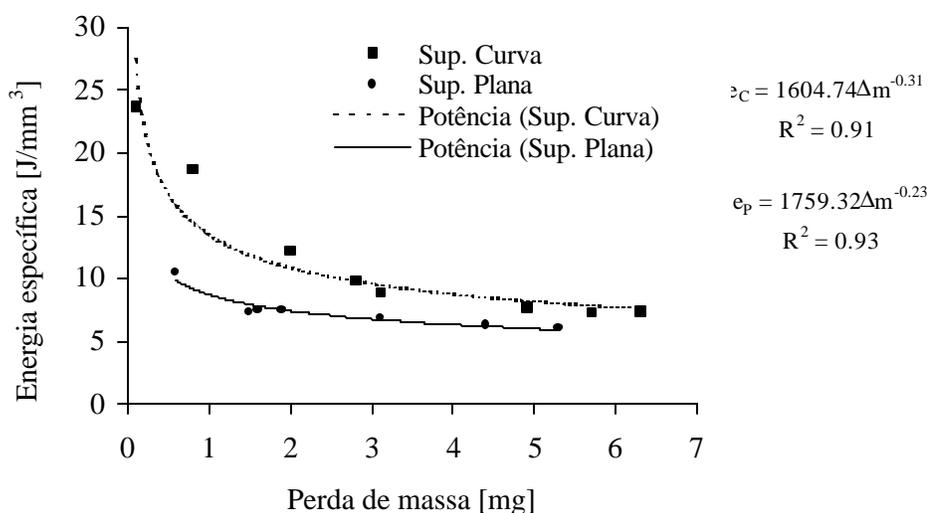


Figura 5 - Energia específica de riscamento para amostras com superfície plana e com superfície curva e equações de regressões para a energia específica (e_p – energia específica para superfície plana e e_c – energia específica para superfície curva).

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, uma nova geometria de corpo-de-prova para a realização de ensaios de esclerometria pendular foi proposta. Ensaios foram realizados em um pêndulo com energia potencial de disparo de 19 J em amostras de aço ABNT 1020 recozido. Dos resultados obtidos, pode-se concluir, que:

- a) a variação da profundidade de riscamento durante a realização do sulco em amostra planas conduz a uma energia específica média, que é inferior à obtida em amostras com superfícies curvas, ou seja, com profundidade constante de riscamento;
- b) o efeito de escala em amostras com superfícies curva pode ser visualizado mais facilmente, na medida em que as curvas de energia são deslocadas para direita, e portanto, detectáveis com maiores perdas de massa;
- c) a utilização de superfícies curvas nas amostras permite uma redução da profundidade de riscamento, abrindo caminho para o estudo do desgaste abrasivo via esclerometria pendular de revestimentos anti-desgaste.

5. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Face às vantagens associadas à inserção de um raio de curvatura na amostra igual ao descrito pelo elemento riscante, foi desenvolvido, projetado e construído no Laboratório de Tribologia e Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia um acessório que permite a avaliação de amostras curvas em função da temperatura. Desta forma poder-se-á identificar de forma mais precisa os efeitos deste parâmetro no processo de riscamento, bem como em processos de usinagem.

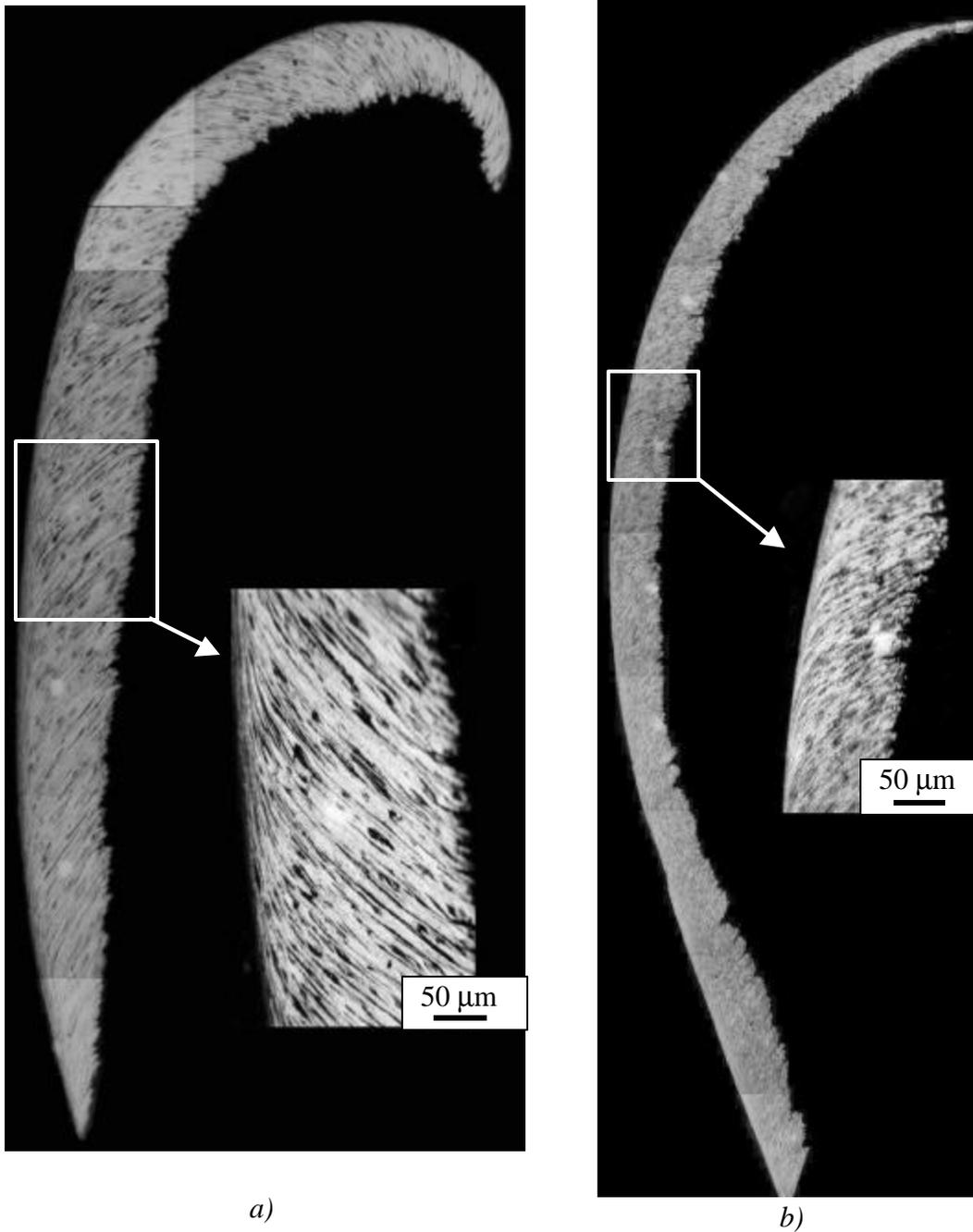


Figura 6 – Seção longitudinal de cavacos obtidos em amostras com superfícies, a) plana e b) curva, MO.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica a Ramos Neto, F.F.

REFERÊNCIAS

- Backer, W.R., Marshall, E.R. and Shaw, M.C., 1952, The size effect in metal cutting, Transactions of ASME, vol. 74, pp. 61-72.
- Bryggman, V., Hogmark, S. and Vingsbo, O., 1979, Evaluation of Abrasion by Means of Controlled Grooving, Proceedings of the IV International Abrasion Colloquium, Grenoble, pp. 5.1-5.14.
- Bryggman, V., Hogmark, S. and Vingsbo, O., 1985, Mechanisms of Gouging Abrasive Wear of steel Investigated with the Aid of pendulum single Pass grooving, Proceedings of the International Conference on Wear of Materials, Canadá, pp. 324-331.
- Franco, S. D., 1989, Contribuição ao estudo do desgaste abrasivo de materiais polifásicos, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Gane, N. and Skinner, J., 1973, The friction and scratch deformation of metals on a microscale, Wear, vol. 24, pp. 207-217.
- Liu, J., 1996, Modellversuche zur Drehbearbeitung metallischer Werkstoffe”, Tese de Doutorado, Ruhr-Universiaet Bochum.
- Ramos Neto, F.F. e Franco, S.D. Desenvolvimento de um Porta Amostra para Esclerometria Pendular à quente com Profundidade de riscamento constante”, a ser publicado.
- Sodeberg, S., Bryggman, V. and Canales A., 1985, Influence of precipitacion and solution strengthenig on abrasive wear resistance, Proceedings of the International Conference on Wear of Materials, Canadá, pp. 645-653.

Abstract: *With the aid of the pendular sclerometrie it is possible to perform tests which allow the classification of abrasive wear resistant materials in a very easy and quick manner. Until now, mainly flat samples have been used. This naturally leads to a continuous variation in the depth penetration as the pendulum scratches the sample. In this work a new geometry is proposed, whereby this depth remains constant. In this case, the sample surface is generated by machining on AISI 1020 steel showed that the use of flat samples may result in a specific scratching energy higher than that observed if one uses a sample with a constant depth of penetration during the test. Additionally, it seems that the size effect frequently observed in these tests may be detected with greater ease.*

Keywords: *Abrasive Wear, Pendular Sclerometrie, Sample Geometrie*