

Capítulo 5

Resultados e Discussão

Através da observação dos resultados obtidos, imediatamente quatro gráficos puderam ser criados (R_a , R_z , R_y e S_m , versus a profundidade de corte), e posteriormente mais um com a pós-análise (m_4 versus a profundidade de corte).

A pós-análise ainda permite criar três micrografias para cada um dos corpos de prova, com aumento de 100, 200 e 500 vezes, totalizando nove fotos microscópicas que retratam a estrutura metalográfica após o fim do ensaio.

Para um melhor entendimento, descrever-se-á a confecção de um dos gráficos, o de R_a versus profundidade de corte. As considerações para este gráfico deverão ser estendidas aos outros.

Inicialmente apresentam-se os dados da Figura 31.

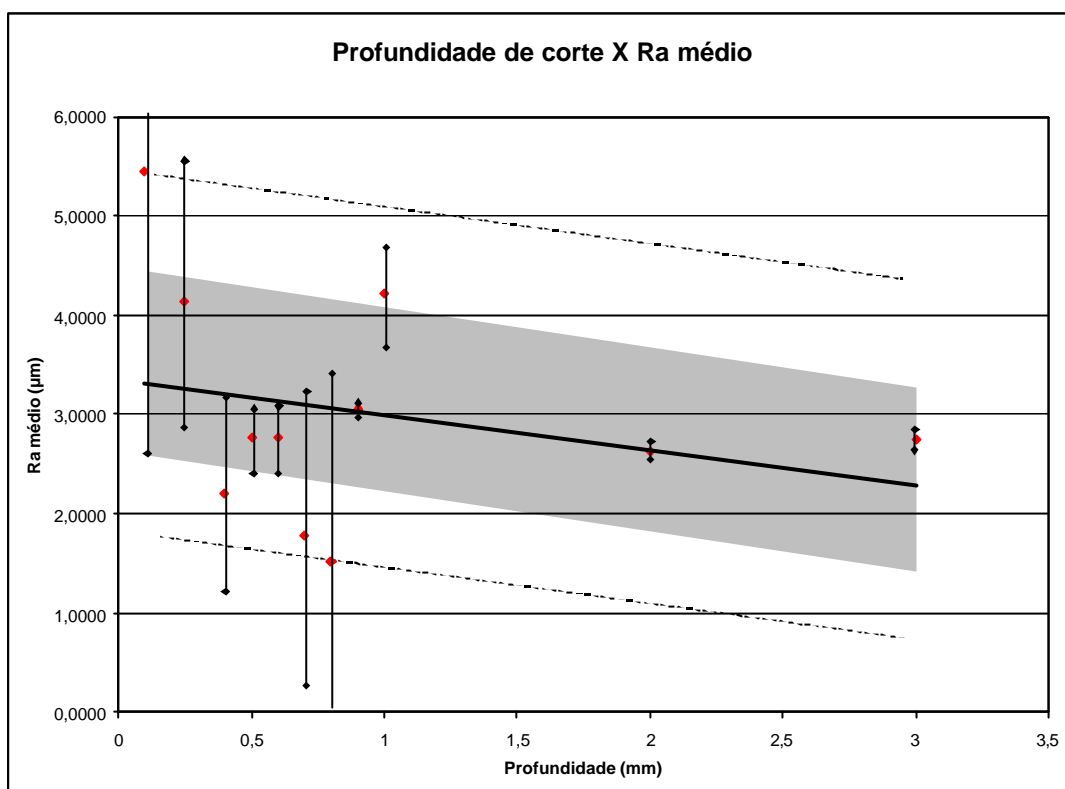


Figura 31: Resultados de Rugosidade média (R_a) versus profundidade de corte.

De uma maneira similar ao exposto na Tabela 6, procurou-se estabelecer quais são os valores de rugosidade comuns e quais são os possíveis. Para tanto, traçou-se uma reta média entre todos os pontos registrados no gráfico, e paralelas desta reta média foram transpostas até atingirem os pontos máximo e mínimo registrados. A região compreendida entre estas duas paralelas (descritas de forma tracejada, enquanto a reta média é contínua) representa os valores possíveis de serem atingidos.

Seguindo a definição desta região de valores possíveis, traçaram-se mais duas paralelas à reta média, situadas exatamente como medianas entre as paralelas (máxima e mínima) e a reta média. A região compreendida entre estas duas novas paralelas será definida como a região de valores comuns para esta operação analisada, e está representada como a faixa cinza do gráfico que acompanha a inclinação da reta média.

A dispersão dos valores em relação a sua média é um fator bastante comum para índices de rugosidade, quando estes são analisados em escala industrial. Da mesma forma, como este ensaio busca retratar o mais fielmente possível as condições industriais de HSM, a dispersão era esperada. Estão dispostas as barras de erro para cada um dos parâmetros obtidos como retas verticais centradas nos pontos de cada gráfico (para os valores que não permitiram obter valor médio, foi utilizada uma regressão de t de Student para descrição de uma estimativa do erro).

Valores de rugosidade, por sua própria definição de representações estatísticas e de conceitos numéricos absolutos, são sujeitos a variações deste tipo. Além de todos os desvios descritos no Capítulo 3 para rugosidades obtidas através de perfilômetros e rugosímetros, outros motivos para tal dispersão são descritos a seguir, e são igualmente válidos para todas as dispersões de valores encontrados.

Inicialmente, trata-se de um corte interrompido: o fresamento de topo escolhido para o ensaio induz a uma componente do espectro do perfil da rugosidade, conhecido como o "passo" do avanço. Este componente, por ser de uma frequência muito menor que dos picos e vales registrados, pode muitas vezes resultar em valores mais altos que o esperado ao se analisar a rugosidade.

Como o ensaio em questão tem como prioridade avanços e velocidades periféricas da ferramenta elevadas (próprias da HSM), este efeito do passo do avanço é ainda mais notável, já o avanço por faca da ferramenta é muito maior que o convencional.

É claro também que esta componente do espectro do perfil da rugosidade causada por marcas do avanço não pode ser considerada a única responsável pelas dispersões verificadas. O nível de cut-off utilizado estabelece, tal como um filtro para frequências, quais espectros serão utilizados no registro do perfil de rugosidade e quais serão relevados. Logo, uma grande parte deste efeito do passo do avanço será eliminada, mas não toda.

Da mesma forma, é necessário reconhecer que toda superfície obtida através de algum nível de cut-off estabelecido não será a representação real daquilo que foi trabalhado na peça. Contudo uma análise sem a utilização de filtro para as frequências de rugosidade levariam a processos sem aplicação prática, e portanto de difícil aproveitamento posterior ou quando assumidas pequenas variações de ensaio.

Ainda com relação ao cut-off, as normas de aplicação e seleção destes níveis (como a DIN 4798, por exemplo, utilizada neste caso) foram desenvolvidas e funcionam bem para padrões estatísticos de leituras de rugosidade pouco irregulares, com distribuições de frequências mais ou menos iguais em todas as faixas. Portanto, pode-se afirmar que, em casos que estas condições não possam ser plenamente garantidas, muitas vezes um nível de cut-off sugerido pela norma pode não ser o ideal, ou ainda contribuir para ocultar características importantes para a compreensão do evento.

Contudo, as normas de seleção dos níveis de cut-off são amplamente difundidas nas aplicações industriais, e devem, sempre que possível, serem aplicadas em ensaios que busquem retratar e contribuir para a compreensão de fenômenos de processos de fabricação.

Outro fator que certamente tem grande influência na dispersão dos dados amostrais é a vibração. Não aquela causada por desbalanceamentos do conjunto fuso-ferramenta, mas aquelas provocadas pela natureza não contínua do corte: o fresamento de topo deste caso conduz a vibrações de frequência de harmônicos proporcionais a rotação do fuso, que são transmitidos à peça (e ao perfil de rugosidade que será medido depois) toda vez que há um impacto de um dente da fresa, para arranque de mais material.

Esta vibração transmitida ao perfil de rugosidade, de forma similar ao efeito do avanço descrito anteriormente, também pode, de forma positiva ou negativa, ser filtrada pelos níveis de cut-off. Entretanto ressalta-se que não se trata de um efeito vibratório de longa duração, já que os cortes realizados para o ensaio eram de pouca

extensão e conseqüentemente de pouca duração. Assim, o efeito final desta vibração sobre o perfil de rugosidade muitas vezes não seria um espectro que pudesse ser detectado, e ainda assim traria mais variação aos resultados e ampliando a dispersão registrada.

Com relação específica à rugosidade média (R_a) obtida, os valores são compatíveis com os relatados na Tabela 6. Porém, ambígua é a condição decrescente da tendência dos valores de rugosidade média em relação ao aumento da profundidade de corte. Classicamente, o contrário seria esperado, já que um maior volume de material a ser removido (devido ao aumento da profundidade de corte) requisitaria maiores esforços de corte. Estes esforços de corte por sua vez, criariam uma superfície com rugosidade média cada vez mais alta, dada a rapidez da formação do cavaco e da superfície ser sempre a mesma, porém com um volume de material crescente. Desta forma, é interessante que se analise os outros parâmetros de rugosidade antes de se propor condições gerais para tal.

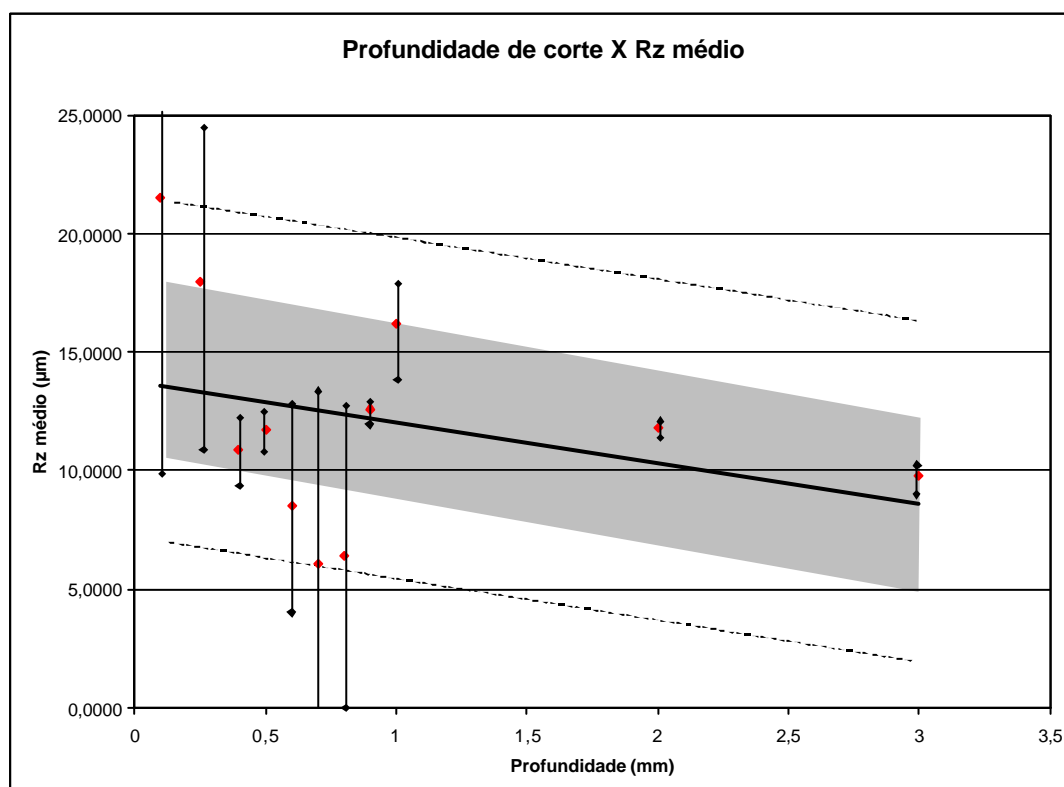


Figura 32: Resultados de R_z versus profundidade de corte.

Ao se verificar a distribuição dos valores R_z (Figura 32), fica evidente a distribuição de picos elevados e vales profundos, típicos de operações de desbaste em fresamento de topo. A dispersão de valores é ligeiramente menor que a observada para a rugosidade média, todavia a tendência decrescente de valores em relação ao aumento da profundidade de corte é igualmente inesperada.

Com o aumento do volume de cavaco a ser removido, dentro de um mesmo espaço de tempo (condicionado pelo avanço), seria de se supor que os picos do perfil de rugosidade aumentariam sua altura, assim como os vales aumentariam sua profundidade: da mesma forma que o descrito para a rugosidade média, o esforço mais elevado condiciona a superfícies mais irregulares, fato não observado.

Com relação ao parâmetro R_y , a Figura 33 ilustra a condição analisada:

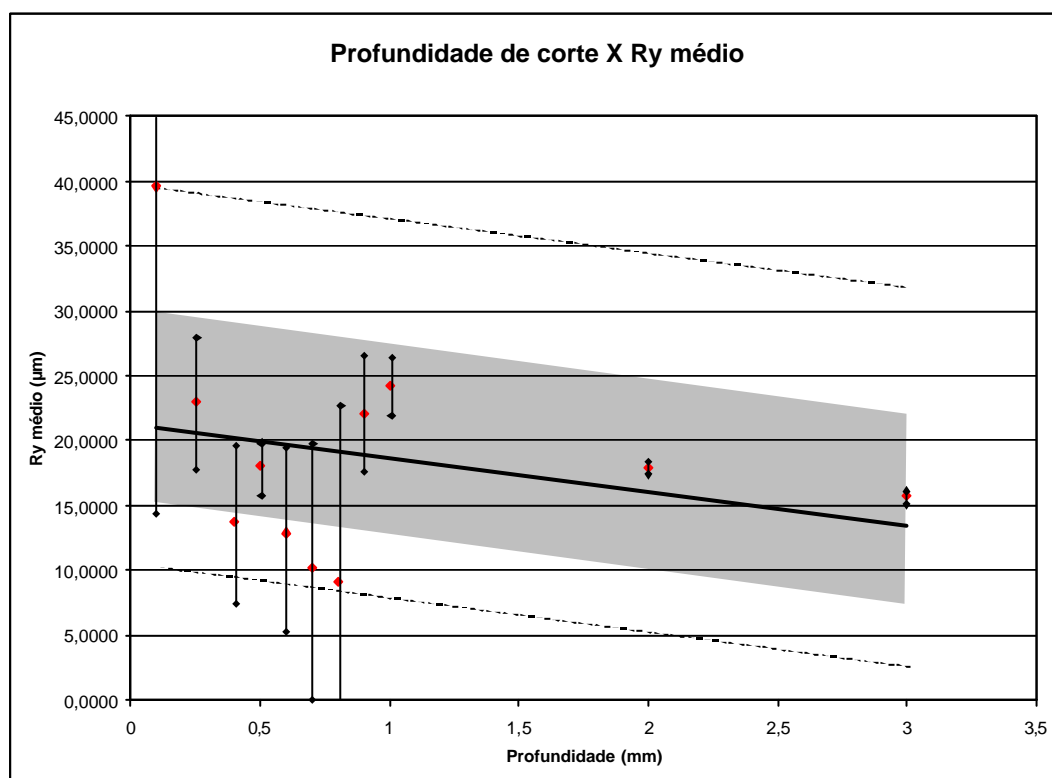


Figura 33: Resultados de R_y versus profundidade de corte.

Os mesmos comentários feitos ao gráfico de R_z são válidos para este: a tendência decrescente não é a classicamente esperada, além de profundidades de corte elevadas aparentemente não terem efeito sobre o esforço de corte, em relação a rugosidade.

O parâmetro de medida de espaçamento médio de picos (S_m) todavia, permaneceu praticamente constante para todas as amostras analisadas. Isto é verificado conforme o gráfico da Figura 34.

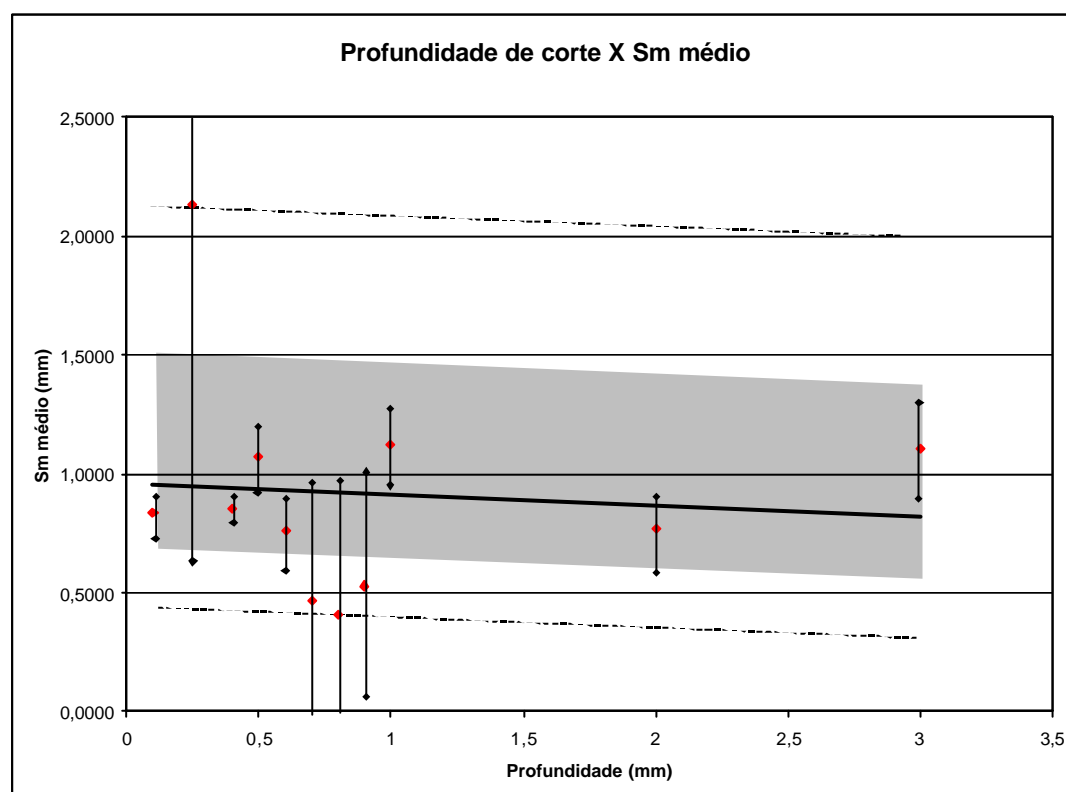


Figura 34: Resultados de S_m versus profundidade de corte.

A pequena dispersão de resultados, aliada a uma tendência praticamente estável para todas as profundidades de corte analisadas, condiz com uma usinagem que, embora empregue corte interrompido, produz padrões de superfícies regulares.

Este conjunto de resultados é perfeitamente compatível com o esperado, uma vez que não foram aplicadas nem são esperadas variações bruscas do avanço da

ferramenta durante a usinagem. Mais ainda, estes resultados ajudam a comprovar a permanência das características iniciais do ensaio durante toda sua duração.

Outra contribuição interessante é fornecida pelo gráfico que correlaciona o momento espectral de quarta ordem com a profundidade de corte (Figura 35):

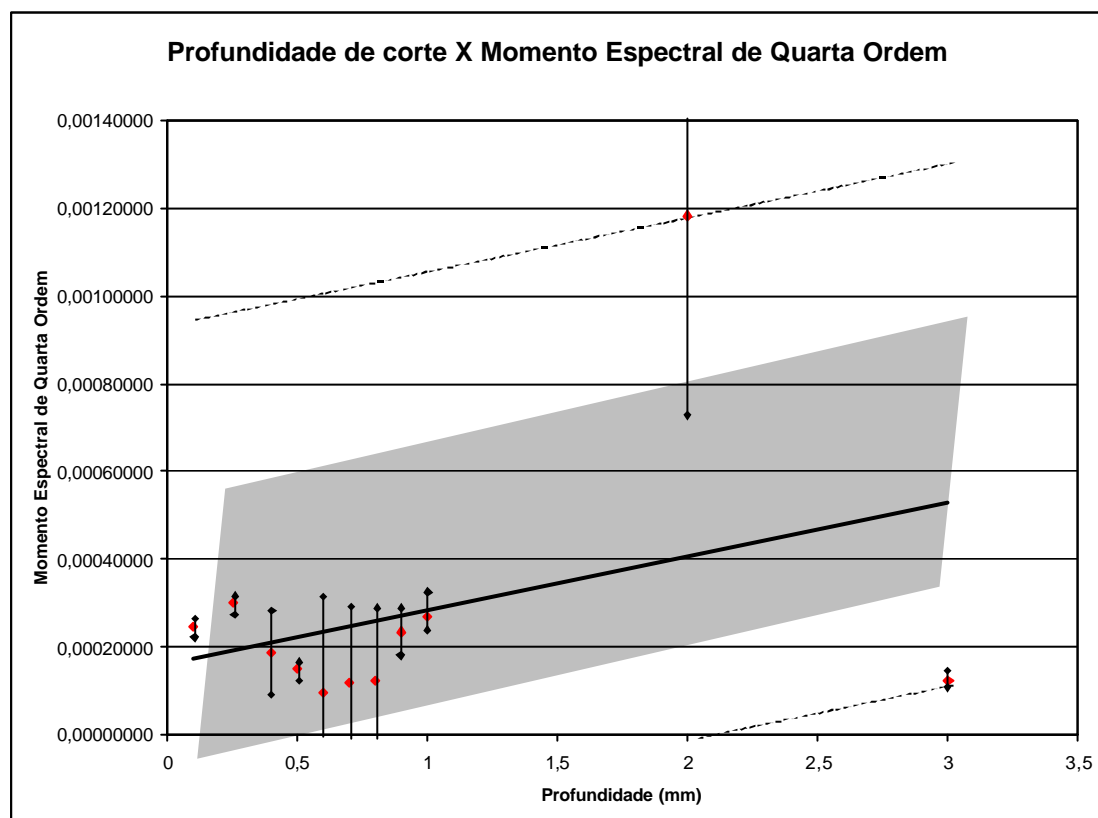


Figura 35: Resultados de m_4 versus profundidade de corte.

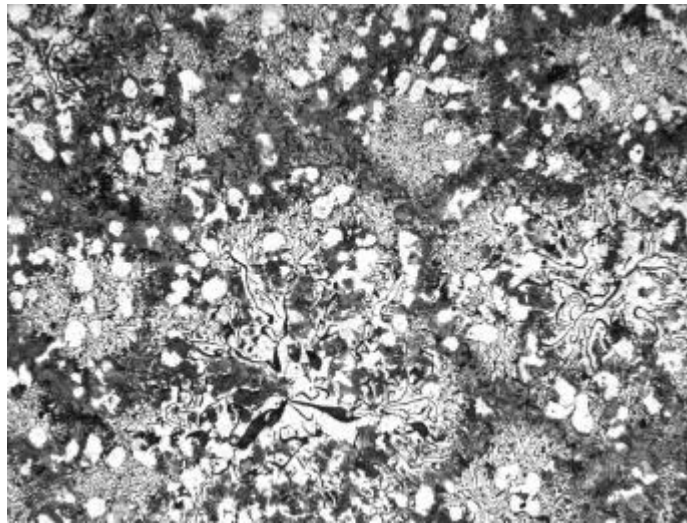
E assim, através deste último gráfico de parâmetro de rugosidade versus a profundidade de corte, observa-se uma tendência crescente para o momento espectral de quarta ordem. Isto significaria que, conforme a profundidade de corte é aumentada em um fresamento com HSM, os picos e vales da rugosidade tendem a aumentar de tamanho, bem como a agudez de seus topos. Fato bastante razoável, uma vez que o maior volume de material removido a cada passagem de uma faca da ferramenta acarretaria superfícies formadas de forma mais brusca.

Esta condição da rapidez da formação da superfície é confirmada através da variação do arredondamento dos topos dos picos e vales, uma vez que o tempo para formações suaves (em geral deformações elásticas) é característico de pequenas profundidades de corte e correspondem a momentos espectrais de quarta ordem mais baixos. O mesmo pode ser dito deste tipo de formação para o tamanho dos picos e vales.

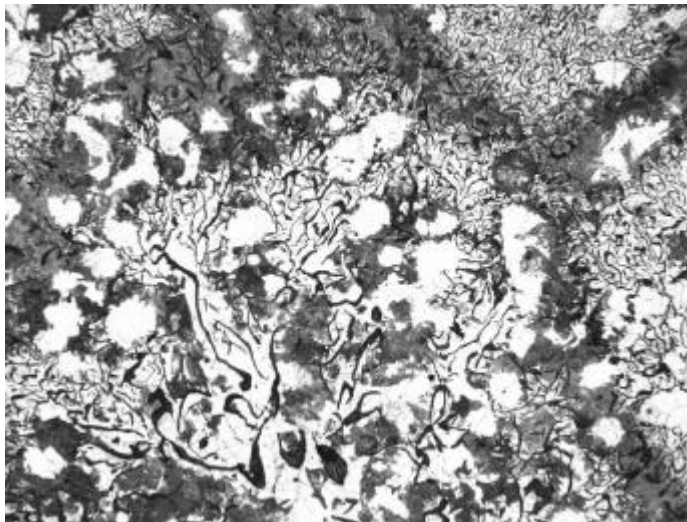
Não pode ser relevada ainda a baixa influência que o nível de cut-off adotado tem sobre este último parâmetro descrito. Por ser fruto de uma operação matemática que tem como base quatro sucessivas derivadas de um sinal, este valor resultante tende a considerar menos as variações bruscas do sinal (que são filtradas pelo nível de cut-off), justamente por serem aquelas variações que mais se distanciam do perfil resultante de sua derivada.

Assim sendo, de uma forma geral pode-se afirmar que, diante dos dados obtidos e analisados para os ensaios feitos, os únicos parâmetros de rugosidade que conferem com o classicamente esperado seriam o espaçamento médio de picos (S_m) e o momento espectral de quarta ordem (m_4). Ainda que certas ressalvas possam ser feitas à baixa quantidade de experimentos que comprovem a exclusão ou a redução da importância dos outros parâmetros (R_a , R_z e R_y), maior atenção deve se dirigida a estes dois parâmetros de comportamento clássico ao se analisarem perfis de rugosidade obtidos por usinagens de altíssima velocidade de corte.

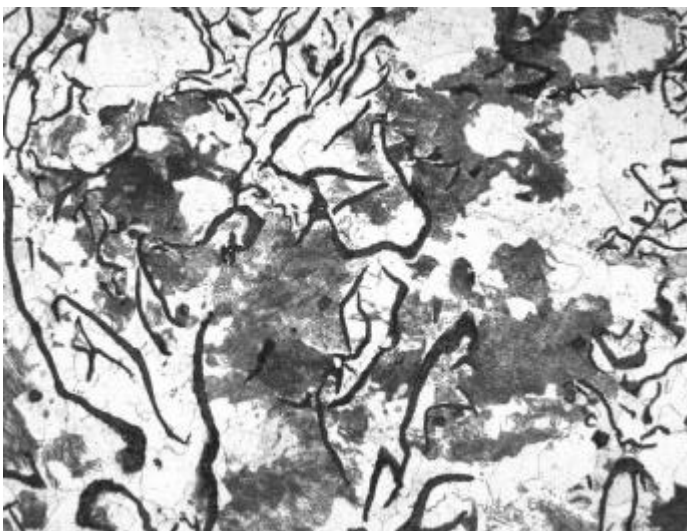
Baseando-se no exame das estruturas metalográficas, uma extensão à crítica dos resultados obtidos pode ainda ser feita. As Figuras 36 a 38 a seguir retratam a região dos corpos de prova após a usinagem, enfocando imediatamente abaixo da superfície criada pela usinagem com altíssima velocidade de corte. As letras a), b) e c) correspondem a aumentos de 100, 200 e 500 da mesma fotografia, para todos os corpos de prova.



(a)

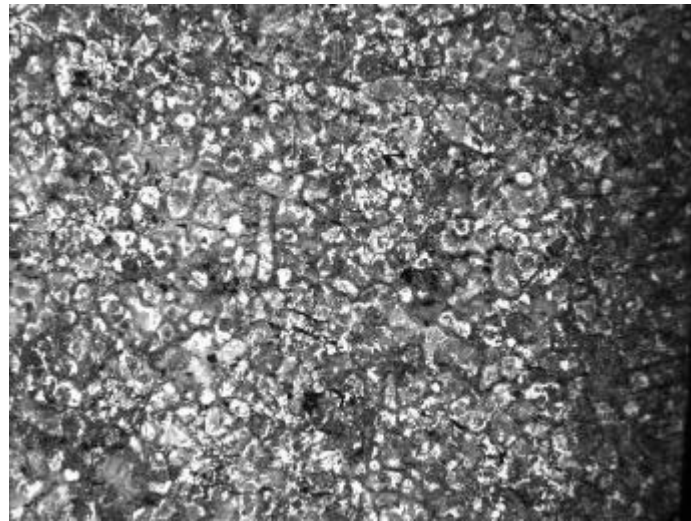


(b)

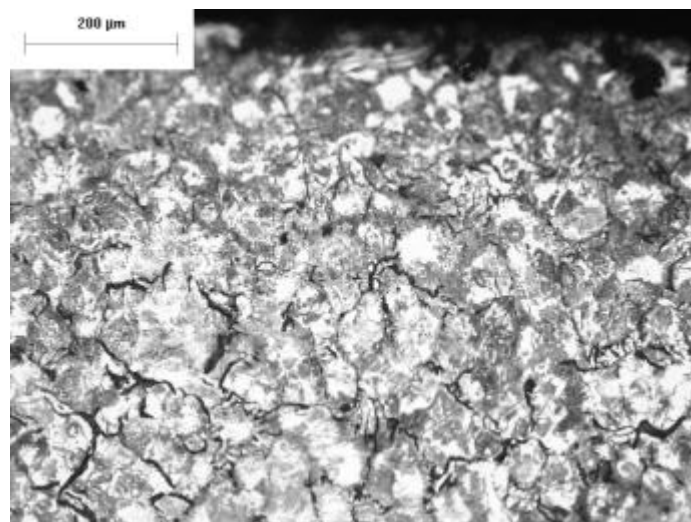


(c)

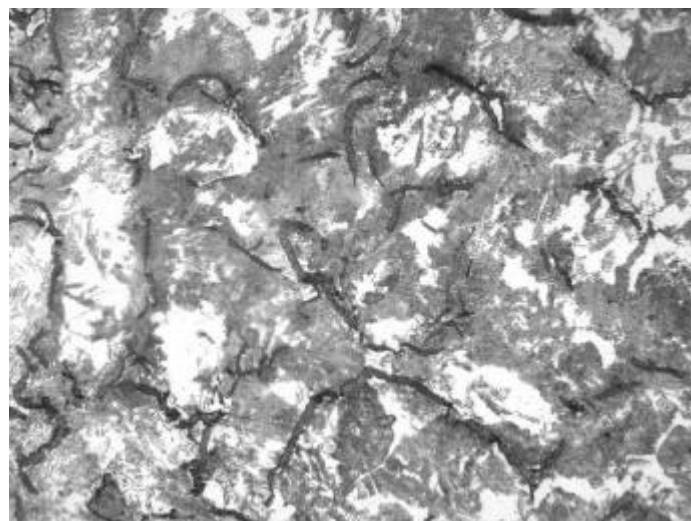
Figura 36: Exemplo da estrutura metalográfica do primeiro corpo de prova.



(a)

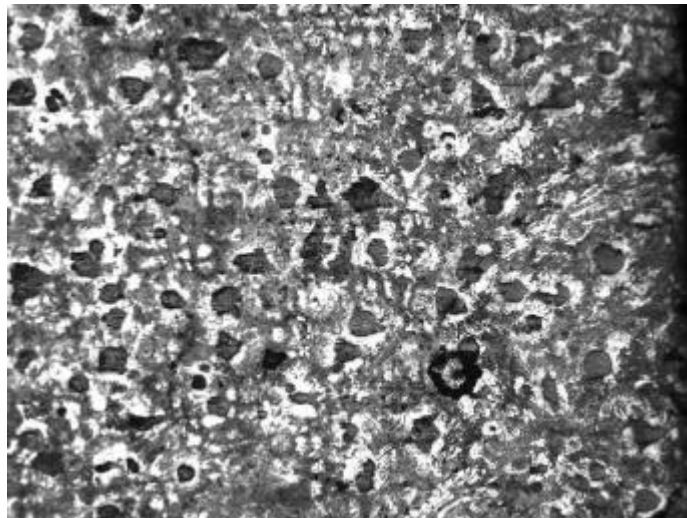


(b)

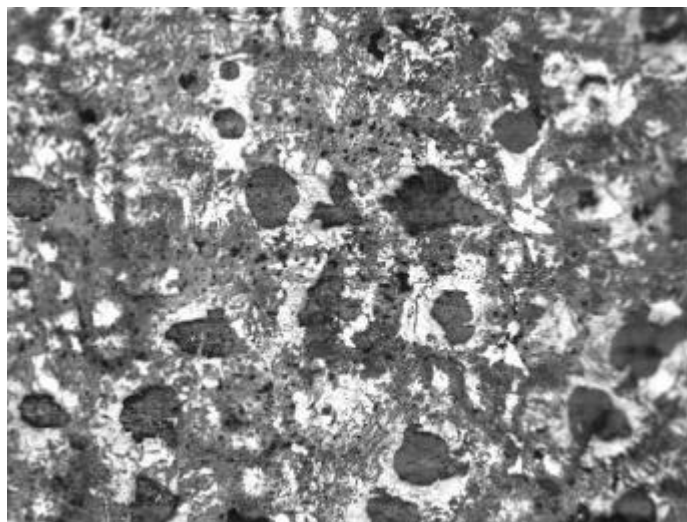


(c)

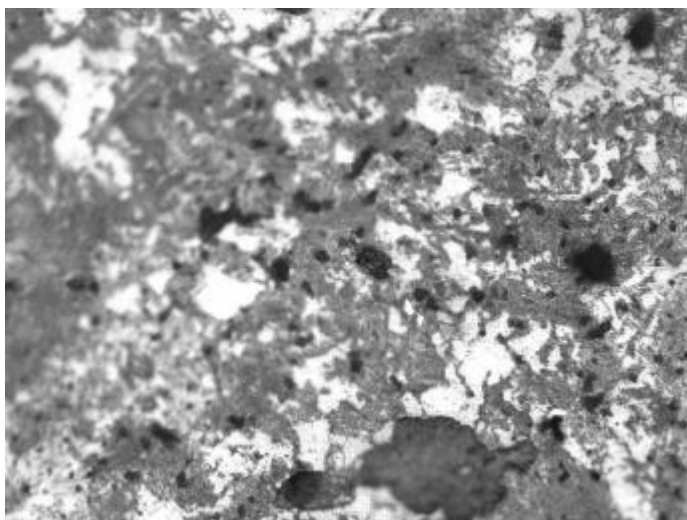
Figura 37: Exemplo da estrutura metalográfica do segundo corpo de prova.



(a)



(b)



(c)

Figura 38: Exemplo da estrutura metalográfica do terceiro corpo de prova.

Estas figuras são mais relevantes ao se considerar aquilo que não foi encontrado, ao menos na ampliação disponível: não se percebe a formação de martensita na estrutura ferro-carbono do ferro fundido. Grandes velocidades de corte, pelo menos como é geralmente aceito, têm boa parte do esforço de corte reduzido devido ao amolecimento do material que usinam, seja por atrito na interface ferramenta-peça ou pela rapidez da formação do cavaco e da transferência de energia durante a usinagem. E este aumento de temperatura muito provavelmente acarretaria, em algum ponto da estrutura, a mudança de fase da ferrita para martensita do ferro fundido.

Duas possibilidades surgem para estes casos observados. Pode-se, efetivamente, ter ocorrido um aumento da temperatura local, através de qualquer um dos motivos citados anteriormente, porém em uma escala muito reduzida, não registrada em nenhum dos aumentos utilizados. Ou, alternativamente, os parâmetros de usinagem utilizados nos ensaios, em especial a velocidade de corte e o avanço, não seriam elevados o bastante para condizer com esta redução de esforço de corte por aumento de temperatura.

Este primeiro conceito, de variações de temperatura em pequena escala, instantâneas ou muito breves, é o mais aceito atualmente, e justifica plenamente a inexistência de estruturas martensíticas ou similares nos corpos de prova após o ensaio. Não raro, como já relatado em diversos modelos de formação de cavaco, somente uma pequena parcela da energia térmica seria transferida à peça. Esta parcela seria rapidamente dissipada por todo o corpo usinado, ou ainda não teria permanência, ou sequer um diferencial de temperatura suficiente, para permitir um processo de endurecimento do material em escala razoável.

O segundo conceito também merece atenção especial: muitas das definições de usinagem com altíssima velocidade de corte classificariam os ensaios em questão como dentro das "áreas cinzas" entre a usinagem convencional e a HSM. Algumas destas definições ainda poderiam classificá-los como dentro da *high velocity machining*, já que os avanços utilizados estariam bem acima dos especificados,

paralelamente a uma velocidade de corte não tão acima do esperado para ferro fundido. Todavia, independente da semântica utilizada, é necessária a consideração de que os ensaios podem, em muitas das ocasiões, estarem reproduzindo usinagens incomuns, mas distintas do conceito de HSM para alguns autores e portanto, de sua condicional de aumento de temperatura e amolecimento do material.

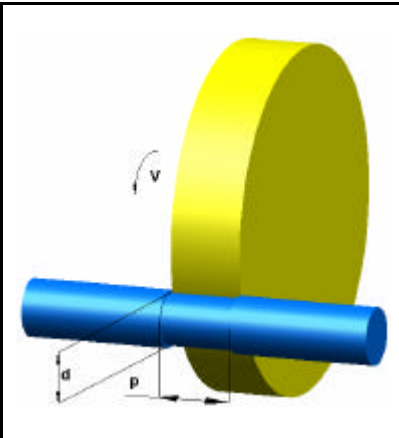
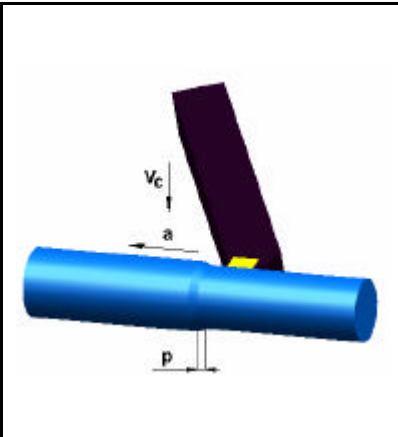
De qualquer modo, como não foi encontrada nenhuma alteração perceptível da microestrutura dos corpos de prova, pode-se dizer que, assim como os valores de rugosidade encontrado para estes corpos de prova, que muitas das evidências esperadas após a análise não condizem com o classicamente esperado.

Indo mais além, considerando a usinagem com altíssima velocidade de corte como integrante de um processo produtivo, certas críticas podem ser feitas a este processo de fabricação.

Por exemplo, a substituição de processos de usinagem convencionais por outros que envolvam HSM pode ser analisada da mesma maneira que Tönshoff et al. (2000) fez para sintetizar a comparação entre retificação cilíndrica e torneamento em duro.

Este autor apresenta, como base para comparação da viabilidade econômica dos dois processos, a taxa de superfície da peça usinada (\dot{A}). Utilizando valores típicos dos dois processos, Tönshoff et al. (2000) propõe que, o torneamento em duro, por apresentar valores tipicamente menores desta taxa de superfície quando comparado com a retificação cilíndrica, é mais flexível e produtiva como processo de fabricação. Mais ainda, sugere que a retificação cilíndrica seria somente mais viável economicamente que o torneamento em duro em casos em que sua ampla gama de taxa de superfície fosse aproveitada (como por exemplo, em retificações sem centro de grandes lotes ou peças longas). O conceito descrito encontra-se na Tabela 8:

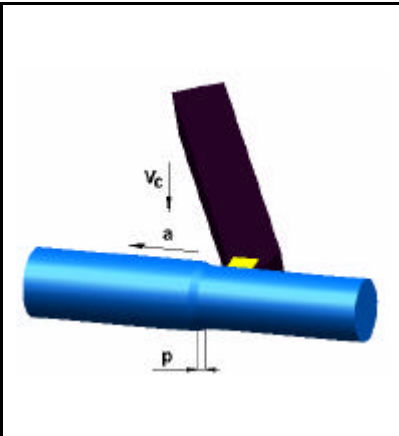
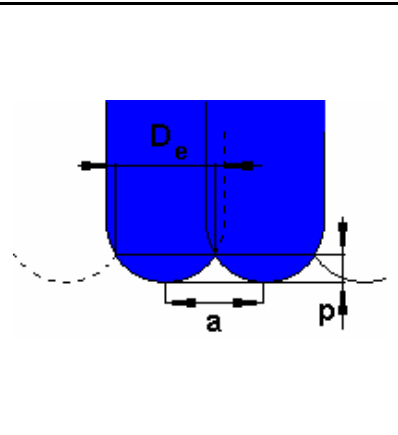
Tabela 8: Desempenho de processos de retificação e torneamento em duro (adaptado de Tönshoff et al., 2000).

		
Princípio	Retificação	Torneamento em duro
Taxa de remoção de material	$Q = a \cdot Q_w'$	$Q = p \cdot a \cdot V_c$
Taxa de remoção de material específica	$Q' = d \cdot \pi \cdot V$	$Q' = p \cdot a \cdot V_c / l_c$
Taxa de superfície	$\dot{A} = p \cdot V$	$\dot{A}_w = a \cdot V_c$
Parâmetros Característicos	$p = 5 - 20 \text{ mm}$ $V = 1 \text{ m/s}$	$p = 0,05 - 0,3 \text{ mm}$ $a = 0,05 - 0,2 \text{ mm}$ $V_c = 150 \text{ m/min}$
Valores Típicos	$Q' = 2 - 12 \text{ mm}^3/\text{mm.s}$ $Q = 10 - 240 \text{ mm}^3/\text{s}$ $\dot{A} = 5000 - 20000 \text{ mm}^2/\text{s}$	$Q' = 22 - 242 \text{ mm}^3/\text{mm.s}$ $Q = 6 - 150 \text{ mm}^3/\text{s}$ $\dot{A} = 125 - 500 \text{ mm}^2/\text{s}$

Esta comparação é ainda mais interessante ao se considerar que não somente as taxas de remoção de material e as taxas de remoção de material específicas são determinantes na comparação, mas principalmente a taxa de superfície.

Baseando-se neste conceito exposto, valendo-se dos dados utilizados no ensaio e realizando uma analogia entre o torneamento com altíssima velocidade de corte com o HSM para fresamento de topo, a Tabela 9 pode ser elaborada como se segue:

Tabela 9: Desempenho de processos de torneamento e fresamento, ambos com altíssima velocidade de corte.

		
Princípio	HSM (Torneamento)	HSM (Fresamento)
Taxa de remoção de material	$Q = p \cdot a \cdot V_c$	$Q = p \cdot a \cdot V_c$
Taxa de remoção de material específica	$Q' = p \cdot a \cdot V_c / l_c$	$Q' = p \cdot a \cdot V_c / (\pi \cdot D_e)$
Taxa de superfície	$\dot{A} = a \cdot V_c$	$\dot{A} = a \cdot V_c$
Parâmetros característicos	$p = 0,05 - 0,3 \text{ mm}$ $a = 0,05 - 0,2 \text{ mm}$ $V_c = 1000 \text{ m/min}$	$p = 0,05 - 3 \text{ mm}$ $a = 0,625 \text{ mm / dente}$ $V_c = 1000 \text{ m/min}$
Valores Típicos	$Q' = 154 - 1694 \text{ mm}^3/\text{mm.s}$ $Q = 42 - 1000 \text{ mm}^3/\text{s}$ $\dot{A} = 833 - 3333 \text{ mm}^2/\text{s}$	$Q' = 0,3 - 18 \text{ mm}^3/\text{mm.s}$ $Q = 31 - 1875 \text{ mm}^3/\text{s}$ $\dot{A} = 625 \text{ mm}^2/\text{s}$

A Tabela 9 foi confeccionada da seguinte maneira: os valores típicos para a HSM de torneamento, como profundidade de corte e avanço, foram considerados os mesmos que para torneamento em duro da Tabela anterior. O parâmetro característico da velocidade de corte é o mesmo da HSM de fresamento, por motivos comparativos.

Esta Tabela resume o aspecto de que, comparativamente a retificação cilíndrica, a operação de torneamento, com altíssima velocidade de corte, pode ser uma alternativa ainda mais viável, do ponto de vista econômico e de flexibilidade, que o torneamento em duro convencional, para ferro fundido. Isto porque a gama de valores típicos de sua taxa de superfície chega a valores mínimos típicos do torneamento em duro (garantindo, portanto, uma flexibilidade e produtividade ao menos equivalente) e valores máximos próximos aos típicos da retificação cilíndrica,

concorrendo com este processo de fabricação também nas alternativas que envolvem operações de grandes lotes ou peças longas.

Outra informação comparativa fornecida por esta Tabela é o alto índice de flexibilização que o fresamento com altíssima velocidade de corte pode oferecer. Uma vez que os ensaios analisados, ainda que muitos representassem situações de desgaste, estes conduzem a uma taxa superficial baixa, e portanto economicamente viável para um processo flexível.

Embora esta análise que tem como ponto de partida as observações feitas por Tönshoff et al. (2000) ser muito elucidativa das possibilidades de aplicação da HSM de maneira economicamente viável, ela leva em consideração somente os custos variáveis de produção, ou a taxa de remoção de cavaco. Permite assim, conclusões de viabilidade econômica e de flexibilidade sem levar em conta custos fixos, como instalação e principalmente da compra e manutenção de maquinário.

Todavia, uma análise de custos globais, variáveis e fixos, comparativamente para processos de usinagem convencionais (como retificação e torneamento em duro) e para processos de usinagem com altíssima velocidade de corte não é simples. Toda uma enorme quantidade de variáveis deveria ser levada em conta, e certamente seria base para estudos muito mais extensos.

Além disso, os custos fixos para HSM envolveriam cálculos de amortização, pouco interessantes no escopo deste texto, além de serem peculiares do momento em que fosse feita uma consulta aos fabricantes de máquinas e ferramental durável: por ser uma tecnologia em franca expansão, os valores destes equipamentos de HSM tende a cair com o passar do tempo, com o aumento da concorrência e melhoria de seu projeto econômico.

O que pode ser feito, entretanto, é utilizar uma representação semelhante a da encontrada na Tabela 1 (página 18). Trata-se de uma compreensão genérica do

assunto tratado, mas nem por isso menos relevante. Esta tentativa de análise é feita a seguir, na Tabela 10:

Tabela 10: Comparação entre os processos de usinagem de retificação cilíndrica com torneamento em duro e com HSM.

		Torneamento em duro	Retificação cilíndrica	HSM
Aspectos Econômicos	Tempo de processamento	😊/😞*	😊/😞*	😊
	Taxa de remoção	😊	😞	😊/😞
	Custo de aquisição	😞/😊**	😞/😞**	😞
	Custo do ferramental	😞	😊	😞
Flexibilidade	Usinagem multi-face	😊	😞	😊
	Usinagem de perfis	😊	😞/😊	😊
Aspectos Ecológicos	Exigência de energia	😊	😞	😞
	Líquido refrigerante	😊	😞	😊
	Reciclagem de cavaco	😊	😞	😊
Qualidade	Qualidade da peça acabada	?	😊	😊/?
	Confiabilidade do processo	?	😊	😊/?
	Integridade da superfície	?	😊	😊/?

Legenda:

😊 : Avaliação positiva

😞 : Avaliação neutra

😞 : Avaliação negativa

? : Avaliação não possível

Comentários:

* Dependendo da aplicação, uma relação de 1:10 até 10:1 é possível

** Máquinas especiais ou centros de retificação são frequentemente necessários

Assim, as seguintes considerações são feitas a esta última Tabela:

- Tempo de processamento: a usinagem com altíssima velocidade de corte, é, em última estância, mais rápida que os outros processos de fabricação convencionais. Portanto, uma avaliação positiva pode ser feita neste aspecto, independente da aplicação.

- Taxa de remoção: conforme o que atesta a Tabela 9, a gama da taxa de superfície pode tanto ser reduzida, favorecendo a flexibilização, bem como elevada, dando prioridade a grandes lotes em detrimento de sua flexibilidade. Foi adequado desta maneira, que tanto uma avaliação positiva quanto uma negativa possam ser encontradas, isso dependendo da aplicação e da possibilidade da alocação de recursos.
- Custo de aquisição: certamente o maior impeditivo da maior disseminação de operações com HSM, as máquinas para operação de usinagens com velocidades de corte elevadas ainda são caras ao serem comparadas às suas equivalentes convencionais. A avaliação negativa se deve a materiais caros utilizados na sua construção (como fibras de carbono e fusos principais especiais).
- Custo do ferramental: o segundo maior obstáculo da aceitação genérica da usinagem com altíssima velocidade de corte. A constante queda do custo das ferramentas especiais para este tipo de usinagem (como nitreto cúbico de boro e cerâmicas) não justificou uma avaliação melhor que negativa, em relação aos outros processos comparados.
- Usinagem multi-face: dada a sua flexibilidade, a HSM pode, com uma mesma ferramenta, tanto facear quanto tornear um eixo, semelhante ao torneamento em duro, e tal como este é avaliada positivamente.
- Usinagem de perfis: por não depender de perfilamentos ou dressagens de suas ferramenta (sempre compostas de arestas cortantes), é ideal para usinagem de perfis. Sua avaliação positiva leva em conta também a rapidez com que diferentes perfis podem ser alternados dentro de um mesmo processo, ou a sua facilidade de alteração.
- Exigência de energia: devido a sua faixa de rotações elevadas, necessárias para sua operação, a usinagem com altíssima velocidade de corte consome grandes quantidades de energia elétrica. De forma negativa, os motores deste tipo de máquinas necessitam de maior consumo elétrico para vencer a inércia de seus robustos fusos principais.

- Líquido refrigerante: os processos com HSM, salvo raras ocasiões, não são compatíveis com refrigerações através de líquidos, já que o processo de transmissão de calor durante a usinagem é muito rápido, como visto anteriormente. Grande fator positivo na substituição de outros processos convencionais, cada vez mais há leis específicas limitando ou condenando a utilização de óleos e seus derivados, por serem poluentes e nocivos a saúde.
- Reciclagem de cavaco: da mesma forma que a utilização do líquido refrigerante na HSM é muito reduzida (sob a forma de névoa) ou nenhuma, o processo de tratamento, movimentação e estoque do cavaco é positivamente facilitado. Sua característica seca o torna um produto mais interessante no momento de sua reciclagem.
- Qualidade da peça acabada: estes processos de usinagem podem conduzir a resultados diversos, referente a tolerância dimensional e a precisão dos perfis teóricos em relação aos reais. Em geral, ferramentas multicortantes tendem a qualidades de peça acabada melhores, por não dependerem somente de uma ponte de corte, daí a avaliação positiva. Porém, usinagens com altíssima velocidade de corte com ferramentas monocortantes, com torneamento, dependem muito da integridade da ponta de sua ferramenta, em relação a seus ângulos de afiação e seu desgaste, e portanto não é possível fazer uma avaliação neste sentido.
- Confiabilidade do processo: da mesma forma que as avaliações anteriores, processos com HSM tendem a diminuir sua confiabilidade do processo conforme o desgaste e a perda das condições de afiação da ferramenta vão ocorrendo durante várias operações. Assim, inicialmente sua avaliação é positiva, mas a longo prazo torna-se insustentável, ao contrário de um rebolo, por exemplo, que pode ser considerado sob muitos aspectos uma ferramenta auto-afiante.
- Integridade da superfície: embora as bases de dados aqui analisadas através dos corpos de prova possam conduzir a uma avaliação exclusivamente positiva deste quesito, um certo conservadorismo deve ser adotado, conforme todos os ensaios foram realizados com uma ferramenta multicortante e com as

condições iniciais de desgaste e de afiação conservadas durante todo o processo de corte. Daí sua avaliação positiva inicialmente, mas indeterminada a longo prazo.

Por fim, não há possibilidade de se avaliar os custos envolvidos, tanto nos ensaios bem como nas operações industriais que estes buscam representar. Por ir além do escopo deste estudo, pouca atenção no que se refere aos custos dos recursos alocados foi fornecida. O mesmo pode ser dito da pouca consideração feita aos aspectos da ferramenta, após os ensaios.