

## **Avaliação do Desempenho de Ferramentas de Aço-Rápido Com e Sem Revestimento no Rosqueamento Interno do Ferro Fundido Cinzento GH-190**

### **Alexandre Martins Reis**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Bloco 1M, Campus Santa Mônica, Cep: 38400- 089 , Uberlândia- MG- Brasil; [amreis@mecanica.ufu.br](mailto:amreis@mecanica.ufu.br)

### **Walter Seppe Júnior**

F.A.Powertrain Ltda, Engenharia de Manufatura, Tecnologia de Ferramentas- Desenvolvimento e Pesquisa, Av. do Contorno da Fiat, nº 3455, Cep: 32530-000, Betim- MG- Brasil ; [walter.seppe@brf.fiat-gm-pwt.com](mailto:walter.seppe@brf.fiat-gm-pwt.com)

### **Antonio Maria S. Júnior**

F.A.Powertrain Ltda, Engenharia de Manufatura, Tecnologia de Ferramentas- Desenvolvimento e Pesquisa, Av. do Contorno da Fiat, nº 3455, Cep: 32530-000, Betim- MG- Brasil ; [antonio.maria@brf.fiat-gm-pwt.com](mailto:antonio.maria@brf.fiat-gm-pwt.com)

### **Marcio Bacci da Silva**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Bloco 1M, Campus Santa Mônica, Cep: 38400- 089 , Uberlândia- MG; [mbacci@mecanica.ufu.br](mailto:mbacci@mecanica.ufu.br)

**Resumo.** *Este trabalho tem como principal objetivo comparar o desempenho de machos máquina de aço-rápido com adição de vanádio (HSS-E) e obtido pela metalurgia do pó (HSS-PM), com e sem revestimento, no rosqueamento interno do ferro fundido cinzento GH-190. Foram utilizados dois tipos de revestimentos: nitreto de titânio (TiN) e revestimento multicamadas (TiN/TiAl). Os testes experimentais foram realizados com machos M6 em uma linha de produção, com velocidade de corte de 8,5m/min e avanço de 1mm/volta. As ferramentas foram observadas em microscópio eletrônico de varredura, para análise das formas e dos mecanismos de desgastes gerados na ferramenta. As dimensões que caracterizam o desgaste foram medidas em microscópio ferramenteiro. Os resultados mostram que os machos sem revestimentos tiveram um resultado bem superior aos revestidos, chegando a usinar cerca de 1800 roscas enquanto os revestidos usinam cerca de 20 roscas antes de se quebrarem. Análises no MEV empregando técnicas de elétrons secundários, elétrons retroespalhados e EDX, indicaram que a quebra das ferramentas revestidas ocorre porque as mesmas perdem o revestimento na região da aresta de corte. A quebra é provocada pela presença de partículas de substrato e revestimento misturadas ao cavaco, provocando o travamento da ferramenta no furo durante o estágio de retorno e conseqüentemente quebra por torção. Dentre as ferramentas não revestidas, as fabricadas pela metalurgia do pó apresentaram melhor desempenho em relação à evolução do desgaste.*

**Palavras-chave:** *rosqueamento interno, desgaste, revestimento, ferro fundido cinzento.*

## **1. INTRODUÇÃO**

O rosqueamento interno com macho de corte é uma das operações de usinagem mais comuns, sendo freqüentemente uma das últimas realizadas sobre a peça de trabalho que neste caso já possui um alto valor agregado <sup>(1)</sup>, ou seja, qualquer problema durante este processo, pode resultar em refugo ou re-trabalho o que implica em grande perda de tempo, e conseqüentemente, de dinheiro

para as empresas.

Os desgastes e avarias dos machos de corte gerados durante a operação de rosqueamento aparecem em maior intensidade nas arestas da região cônica do macho, pois é esta a primeira porção do macho a realizar as ações de corte <sup>(2)</sup>. Alguns fabricantes de ferramentas reconhecem 4 tipos de avarias e desgastes no macho de corte (Figura 1): 1) O lascamento; 2) O desgaste propriamente dito que ocorre nas superfícies de folga e saída da ferramenta; 3) O rasgamento que é o arrancamento da camada superior da crista de um ou mais filetes do macho; 4) A soldagem que é a adesão de materiais da peça sobre as superfícies dos filetes do macho, seguida ou não de arrancamento de material da ferramenta.

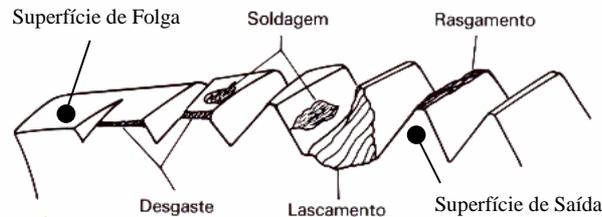


Figura 1. Avarias e desgastes que ocorrem em machos de corte <sup>(3)</sup>.

Quanto à forma de se medir os desgastes e avarias que ocorrem nos machos de corte, é comum encontrar na literatura dados relativos às medições de desgaste de flanco, não existindo, contudo um parâmetro definido para isso, já que as definições de VB (desgaste de flanco médio) e VBmax (desgaste de flanco máximo) não são diretas para esta ferramenta que possui uma geometria complexa. Assim, não existe um critério de desgaste de macho de corte que seja comumente reconhecido e praticado <sup>(1)</sup>. Desta forma, os critérios para avaliação do desgaste dos machos podem ser totalmente diferentes para dois ou mais usuários distintos. Neste trabalho é utilizada uma metodologia para o monitoramento direto do nível de desgaste atingido pelos machos de corte desenvolvida por Reis <sup>(4)</sup>.

O desempenho de um macho de corte em uma determinada aplicação depende de vários parâmetros de sua fabricação, tais como o ângulo de saída, tamanho do detalonamento, comprimento total do macho e diâmetro da haste. Porém os fatores que causam um maior impacto na forma como esta ferramenta efetivamente trabalha são os materiais e os revestimentos com os quais é fabricada <sup>(5)</sup>. Devido às limitações operacionais inerentes ao processo de rosqueamento interno, como a dificuldade de se trabalhar em altas velocidades de corte (acima de 50 m/min para este processo), o uso de materiais de alta resistência, tais como metal duro, cerâmica e os ultraduros, torna-se inviável para fabricação de machos. Na década de 1990, o desenvolvimento de cabeçotes auto-reversíveis que proporcionam elevadas velocidades de fuso e rápida reversão, permitiu o emprego de altas velocidades de corte no rosqueamento, isto fez com que alguns dos principais fabricantes lançassem no mercado, machos de metal duro. No entanto, o material mais utilizado para machos de corte no parque industrial brasileiro continua sendo o aço-rápido. Os revestimentos também são bastante empregados nos casos mais severos. Porém, existe uma grande variedade de aços-rápidos e de revestimentos que são utilizados pelos fabricantes de machos para máquinas, o que torna difícil a escolha de um determinado tipo por parte do usuário. A ausência de pesquisas científicas que estude o desempenho de machos para máquinas fabricados com estes materiais, agrava ainda mais a situação, fazendo com que os usuários baseiem suas escolhas somente nos catálogos dos fabricantes. Assim, o objetivo principal deste trabalho é comparar o desempenho de machos máquina de aço-rápido com adição de vanádio (HSS-E) e obtido pela metalurgia do pó (HSS-PM), com e sem revestimento, no rosqueamento interno do ferro fundido cinzento GH-190.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A metodologia de ensaios para a realização deste trabalho foi dividida em duas etapas distintas descritas nas seções 2.1 e 2.2.

## 2.1. Primeira Etapa

Esta etapa foi realizada na FIAT-GM POWERTRAIN, e teve como objetivo atingir diferentes graus de desgaste em machos com mesma geometria, mas fabricados com diferentes tipos de aços-rápidos e revestimento. Os testes foram realizados em uma linha transfer utilizando-se machos para máquina na usinagem de roscas M6X1 em furos com 16,65 mm de profundidade, em blocos de motores de ferro fundido cinzento.

As ferramentas utilizadas nesta etapa foram as seguintes: Brocas Escalonadas de metalduro DIA.5,0xDia.7,0x76x38mm, haste 1885 HE 7 revestidas com TiN; 12 machos de HSS-AISI-M3 com 3% de vanádio (HSS-E) temperados e revenidos, sem revestimento, cuja dureza medida é 879HV; 12 machos fabricados pelo processo da metalurgia do pó (HSS-PM) sem revestimento, cuja dureza medida é 920HV; 12 machos de HSS-PM revestidos com TiN; 12 machos de HSS-PM revestidos com um revestimento multicamadas (TiN/TiN<sub>AL</sub>) denominado comercialmente de Futura; 12 machos de HSS-E revestidos com TiN; 12 machos de HSS-E revestidos com Futura;

Os machos utilizados neste trabalho têm a designação ISO 529 M6 6H, e apresentam as seguintes características geométricas: canal reto; 4 canais; 2 filetes no chanfro; ângulo de entrada: 20°; ângulo de saída: de 12° a 14°; diâmetro externo: 6mm (M6); passo : 1mm.

Os materiais e equipamentos utilizados nesta etapa são os seguintes: Linha Transfer de Usinagem Huller Hille; Blocos de Motores Fire de ferro fundido cinzento GH-190 classificação segundo norma FIAT <sup>(6)</sup>; Óleo Semi-sintético (lubrificação por jorro); Calibre passa-não-passa para rosca M6x1,0 6H (Ferriplax 19264); Calibre passa-não-passa para furo  $\phi$ 5 (Ferriplax 15177).

Os pré-furos foram abertos por brocas de metal duro escalonadas, e verificados periodicamente com um calibre passa-não-passa para furo M5 (Ferriplax 15177).

Os ensaios de rosqueamento foram realizados com  $V_c = 8,5$  m/min e  $f = 1$ mm/volta. A profundidade do furo foi de 16,65mm e a porção roscada foi de 12,65mm. Foi feito o seguinte planejamento para a realização dos ensaios: seriam utilizadas 4 ferramentas de cada tipo de material, de tal forma que a primeira executasse 450 roscas, a segunda 900, a terceira 1350 e a quarta 1800. Estes testes seriam replicados três vezes para cada material de ferramenta para fins estatísticos, totalizando-se 72 ferramentas. Este planejamento foi seguido passo a passo para as ferramentas não revestidas. Contudo para as ferramentas revestidas isto não foi possível, pois independente, dos materiais dos substratos e dos revestimentos utilizados, as três primeiras ferramentas, ou seja, aquelas que realizariam 450 roscas cada, se quebraram na faixa das vinte primeiras roscas. Este resultado não esperado provocou uma mudança na metodologia planejada. Assim, os ensaios da segunda etapa para as ferramentas revestidas tiveram seus esforços voltados para encontrar os motivos da quebra dessas ferramentas.

Durante os ensaios as roscas foram conferidas periodicamente com um calibre passa-não-passa para rosca M6x1,0 6H. A presença de roscas defeituosas implicava no fim dos testes com o macho que as fabricaram.

## 2.2. Segunda Etapa

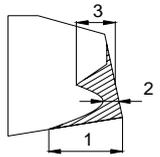
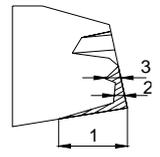
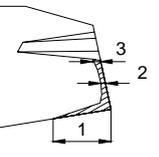
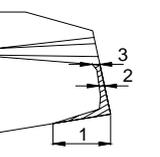
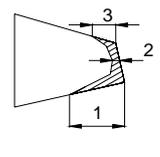
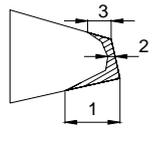
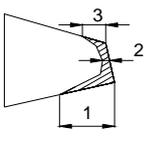
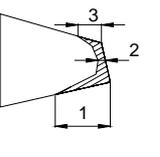
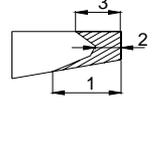
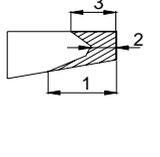
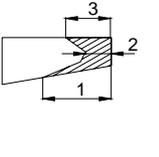
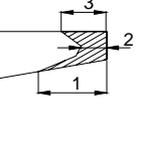
Esta etapa foi realizada em laboratório, e teve como objetivo avaliar o desempenho dos machos ensaiados anteriormente em relação aos níveis de desgastes atingidos por eles.

As ferramentas e equipamentos utilizados na avaliação dos níveis de desgaste foram os seguintes: todos os 24 machos não resvestidos utilizados na primeira etapa do trabalho; as 12 ferramentas revestidas que se quebraram nos ensaios da primeira etapa; 12 ferramentas revestidas novas, sendo 3 de HSS-E revestidas com TiN e outras 3 revestidas com Futura, 3 de HSS-PM revestida com TiN e outras três revestidas com Futura; Brocas Escalonadas de metalduro revestidas com TiN; microscópio ferramenteiro; microscópio eletrônico de Varredura (MEV); Fresadora ROMI Interact IV; Cabeçote flutuante para rosqueamento: Sanches Blanes MRCK – 112-7 ISO 40.

Análises no MEV das ferramentas não revestidas foram feitas com o intuito de se determinar os tipos de avarias e formas de desgaste, desenvolvidas nos machos empregados, bem como os mecanismos de desgastes atuantes durante o processo.

Para avaliar o desempenho das ferramentas não revestidas com relação aos níveis de desgaste, foram feitas medições (no microscópio ferramenteiro) das cotas críticas apresentadas na Tabela 1 seguindo a metodologia desenvolvida por Reis <sup>(4)</sup>, para as 24 ferramentas utilizadas na primeira etapa do trabalho.

Tabela 1. Cotas críticas de desgaste <sup>(4)</sup>.

	CARREIRA	1 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>
	1 <sup>o</sup> DENTE				
	2 <sup>o</sup> DENTE				
	3 <sup>o</sup> DENTE				

Com as ferramentas revestidas novas foram feitos ensaios de rosqueamento a seco, em uma fresadora ROMI Interact IV com o objetivo de se verificar o porquê da quebra deste tipo de ferramenta. Algumas foram utilizadas até a quebra (com cerca de 20 roscas feitas). Outras foram retiradas antes da quebra para análises no MEV utilizando-se as técnicas de elétrons secundários, elétrons retroespalhados e de EDX.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos, utilizando-se a metodologia apresentada na seção anterior. Os resultados serão distribuídos em dois tópicos: ferramentas sem revestimento; e ferramentas revestidas.

#### 3.1. Ferramentas não Revestidas

O objetivo dos ensaios da primeira etapa era o de se atingir quatro diferentes estágios de desgastes (450, 900, 1350 e 1800 roscas feitas), com os machos fabricados com os materiais de ferramentas a serem testados. Desta forma o objetivo foi atingido com sucesso, para todas as ferramentas testadas.

##### 3.1.1. Análise das Superfícies das Ferramentas no MEV

Análises feitas no microscópio ferramenteiro permitiram observar que os desgastes dos machos predominaram na região cônica do macho (nos dois primeiros dentes) e também no terceiro dente (primeiro dente da região cilíndrica), de tal forma que quase não há desgaste nos demais dentes dos machos. As Figuras 2a e 2b apresentam, respectivamente, fotos das superfícies de folga, da primeira carreira de uma ferramenta de HSS-PM nova, e da segunda carreira de uma ferramenta de HSS-E após usinar 1800 roscas. Comparando-se estas fotos pode-se observar a diferença de geometria entre os três primeiros dentes da carreira 1 e os da carreira 2. Além das dimensões dos dentes, uma outra diferença bem visível é a presença de um entalhe, retificado durante a fabricação da ferramenta, sobre o primeiro dente da segunda carreira. Este entalhe aparece também nos primeiros dentes da terceira e quarta carreiras, mas com dimensões diferentes, como já foi ilustrado nos

croquis da Tabela 1. Na Figura 2b observa-se também a forma do desgaste que se desenvolve nos três primeiros dentes desta carreira.

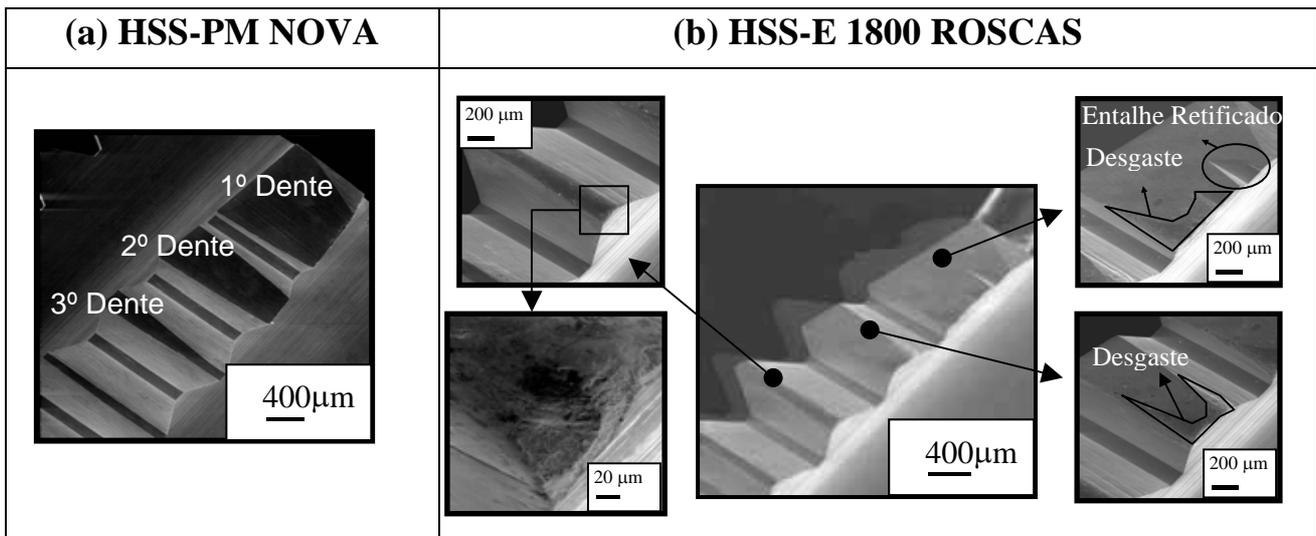


Figura 2. Fotos feita no MEV das superfícies de folga: a) da primeira carreira de uma ferramenta de HSS-PM nova; b) da segunda carreira de uma ferramenta de HSS-E após usinar 1800 roscas.

Nas condições de usinagem utilizadas neste trabalho (baixa velocidade de corte; o material da peça com características abrasivas; e rosqueamento profundo onde o comprimento roscado é mais que 1,5 vezes maior que o diâmetro da ferramenta), a predominância de dois mecanismos de desgaste são esperados: a abrasão e a adesão (“attrition”) <sup>(7)</sup>. No entanto nas análises feitas no MEV, quase não se verifica a presença dos principais indicativos do mecanismo de abrasão, que seriam riscos provenientes de microcortes e/ou microsulcamentos, tanto na superfície de saída quanto na superfície de folga da ferramenta. A maioria dos riscos observados nesta superfície é claramente proveniente do processo de retificação realizado durante a fabricação das ferramentas de corte, o que é justificado pela uniformidade no direcionamento destes riscos. Desta forma o mecanismo predominante foi adesão, e suas duas principais características, aparência áspera da região desgastada e perda da aresta cortante devido a retirada de material tanto na superfície de saída quanto na superfície de folga, são facilmente identificados nas fotos da Figura 3. Contudo não se pode negar a existência do processo abrasivo. O que na realidade deve estar acontecendo, é o fato de os riscos gerados pela abrasão estarem sendo mascarados por uma retirada constante de material pelo processo adesivo.

Com o aumento no número de furos roscados, ou seja, com o aumento do tempo de usinagem, os mecanismos de desgaste abrasivo e adesivo fazem com que alguns dentes das ferramentas passem a sofrer microlascamentos que se desenvolvem para macrolascamentos resultando em perda da aresta cortante, e possivelmente, de toda a superfície de saída do dente. Simultaneamente ocorre também a perda da detalonagem sobre a superfície de folga, aumentando a área de contato entre a ferramenta e a peça nesta superfície, e conseqüentemente o atrito nesta região. As arestas de corte deixam de cortar e passam a conformar o material. O calor gerado neste caso, provavelmente, aumenta bastante o que em alguns casos desencadeia um processo de deformação plástica que pode culminar no “rasgamento” dos dentes (perda da crista). Cabe ressaltar, que todos estes fatores que causam desgaste e avarias nos machos, durante uma operação de rosqueamento normal, são amplificados em rosqueamento de furos profundos, devido à longa exposição das ferramentas a eles, ou seja, existe mais calor, mais abrasão e adesão, maior probabilidade da ferramenta perder a afiação e de ocorrer lascamento e “rasgamento”, e maior restrição ao fluxo de fluido de corte devido ao acúmulo de cavaco nos canais ao longo das seções do chanfro do macho e conseqüente aumento da temperatura nesta região <sup>(8)</sup>.

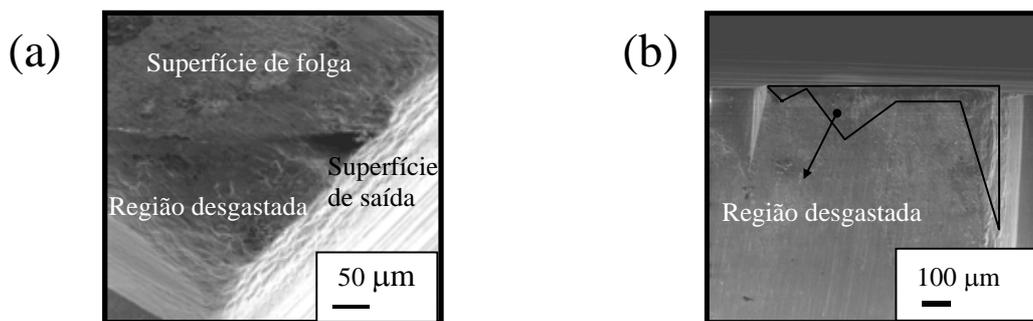


Figura 3. Fotos feitas no MEV das superfícies de folga e saída mostrando a região desgastada: (a) ferramenta de HSS-E após 1800 roscas; (b) ferramenta de HSS\_PM após 1800.

Dos processos citados no parágrafo anterior, apenas o lascamento foi observado, de tal forma que os materiais de ferramenta utilizados neste trabalho apresentaram boa resistência à deformação plástica e ao “rascamento”. Sendo assim, das doze ferramentas de HSS-E utilizadas neste trabalho, sete ferramentas apresentaram lascamento. Estes machos apresentaram maior resistência a esta avaria na fase inicial, ou sejam, nas ferramentas que fabricaram 450 roscas não se detectou a presença de lascamento, contudo naquelas que fizeram 900, 1350, 1800 roscas a presença de lascamento foi uma constante. Já com as ferramentas de HSS-PM praticamente não se observou a presença desta avaria, apenas uma ferramenta apresentou um pequeno lascamento. Este comportamento das ferramentas de HSS-PM com relação à resistência ao lascamento, deve estar relacionado ao seu alto nível de tenacidade (boa tenacidade a fratura) e excelente resistência ao desgaste por abrasão <sup>(9)</sup>.

### 3.1.2. Medidas das Cotas Críticas de Desgaste

Reis <sup>(4)</sup> determinou que dentre as cotas críticas apresentadas na Tabela 1, as que se mostraram significativas na caracterização do comportamento evolutivo do desgaste foram: cotas 1 e 3 para o dente 1; cotas 2 e 3 para o dente 2; e cota 1 para o dente 3. Deste modo, no presente trabalho entre estas cotas escolheu-se três (Cota 1 dente 1, cota 1 dente 2, cota1 dente3 ), as quais serviram de parâmetro de desgaste para comparar o desempenho das ferramentas de HSS-E e HSS-PM . Nos gráficos da Figura 4, onde são plotados os valores de desgaste médios medidos pelas cotas escolhidas, com os respectivos desvios padrões, para os machos dos dois materiais de ferramentas após usinarem 1800 roscas, pode-se comprovar a superioridade das ferramentas de HSS-PM.

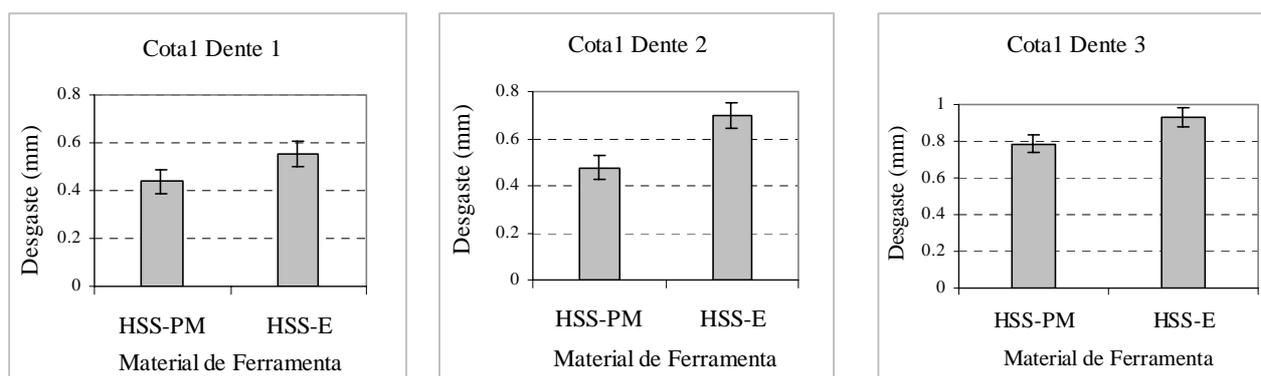


Figura 4. Valores de desgaste medidos pelas cotas significativas, para os machos de HSS-PM e HSS-E após usinarem 1800 roscas.

### 3.2. Ferramentas Revestidas

A primeira providência tomada no laboratório foi a fabricação de roscas com as ferramentas revestidas para verificar se o comportamento ocorrido na linha de produção iria se repetir em laboratório. Os resultados confirmaram a quebra deste tipo de ferramenta, ao usinar menos que 20

roscas. Foi constatado também, que já a primeira rosca fabricada pelas ferramentas revestidas, era reprovada no teste com o calibre passa-não-passa.

Confirmada a quebra prematura das ferramentas revestidas, a primeira suspeita foi que elas estivessem com as dimensões fora das tolerâncias geométricas especificadas. Medições feitas em ferramentas revestidas novas permitiram verificar que todas as dimensões controladas estavam dentro das tolerâncias especificadas pelo fabricante.

Descartada a hipótese de erro na geometria das ferramentas, prosseguiu-se à procura das causas das quebras. Constatou-se primeiramente que as ferramentas se quebravam sempre durante o estágio de retorno (ao sair do furo). Observações feitas, a olho nu e por meio de um microscópio óptico, sobre a superfície dos pedaços de ferramentas que ficaram presos na peça após a quebra, permitiram identificar a presença de trincas inclinadas com ângulos próximos a 45 graus, nos canais da ferramenta e sobre os filetes, o que caracteriza a quebra por um esforço de torção. Como as quebras ocorrem durante o retorno da ferramenta, algo ocorre neste estágio, de tal forma a dificultar a saída do macho. Uma hipótese provável é o destacamento do revestimento do substrato. Neste caso a presença de partículas abrasivas do revestimento, misturadas com os cavacos de ferro fundido seria catastrófica, pois elas aceleram o desgaste das ferramentas, aumentando a quantidade de material do substrato presente no interior do furo roscado, criando desta forma uma condição propícia ao travamento do macho no furo.

Ferramentas que usinaram de 5 a 10 roscas foram submetidas a análises no MEV. Nas Figuras 5 e 6 são apresentadas fotos das superfícies das ferramentas revestidas analisadas no MEV. Utilizaram-se duas técnicas de análise: 1) Elétrons secundários; 2) Elétrons retroespalhados. A primeira técnica permite observar as características do relevo (desgaste, trinca, e/ou material aderido) da peça. A segunda técnica permite diferenciar pelos níveis de cinza, regiões compostas por diferentes elementos químicos, onde aquelas que possuem elementos químicos com números atômicos altos (HSS-E, HSS-PM, ferro fundido), aparecem mais claras e aquelas em que os elementos possuem números atômicos baixos (TiN e TiN/TiN<sub>AL</sub>) são mais escuras.

As análises no MEV mostraram uma superfície bastante danificada, onde é possível identificar:

1) Regiões onde se observa a presença de trincas sobre o revestimento (Figuras 5a e 5b), que podem estar sendo geradas por uma grande deformação do substrato que o revestimento não consegue suportar. Estas trincas se propagam até o substrato, formando “lâminas” de revestimento, que durante o estágio de corte se sobrepõem umas às outras. No retorno da ferramenta estas “lâminas” raspam os cavacos que ficam retidos nos filetes de roscas gerados. Estes cavacos se aderem à superfície podendo entrar nos espaços existentes entre as lâminas e arranca-las, e assim se daria o destacamento do revestimento. A presença de camadas de revestimento destacadas é catastrófica no processo de rosqueamento interno onde estas porções de revestimentos podem ficar retidas no interior do furo e provocar uma aceleração do desgaste abrasivo. Esta situação é agravada no caso deste trabalho onde o diâmetro da rosca é muito pequeno (6 mm) e o macho possui muitos canais (4) o que diminui o espaço para os cavacos e detritos gerados durante o corte.

2) Pontos nos quais não existe mais revestimento, ficando o substrato exposto. Na Figura 5 d, onde é focalizada uma região da superfície de folga próxima a aresta de corte, percebe-se que o revestimento sobre a aresta foi totalmente arrancado. A porção de revestimento identificada nesta foto equivale à camada que reveste a superfície de saída em um plano inferior à superfície de folga. A espessura da camada mostrada na foto é de aproximadamente 5 µm, o que equivale à espessura do revestimento utilizado. Existem também regiões como a da Figura 6a, onde praticamente não existe mais aresta de corte. Estas regiões provavelmente sofreram um desgaste severo com possíveis lascamentos, devido a perda do revestimento.

3) A presença de material aderido sobre a superfície da ferramenta (Figuras 5d e 6c). Desta forma o mecanismo de desgaste por adesão também estaria atuando no sentido de arrancar o revestimento. Isto é muito provável, pois as condições de corte (baixa velocidade de corte) são favoráveis a este tipo de mecanismo<sup>(7; 10)</sup>. Os aspectos rugosos das regiões desgastadas também são indícios fortes da existência de adesão (Figuras 6d).

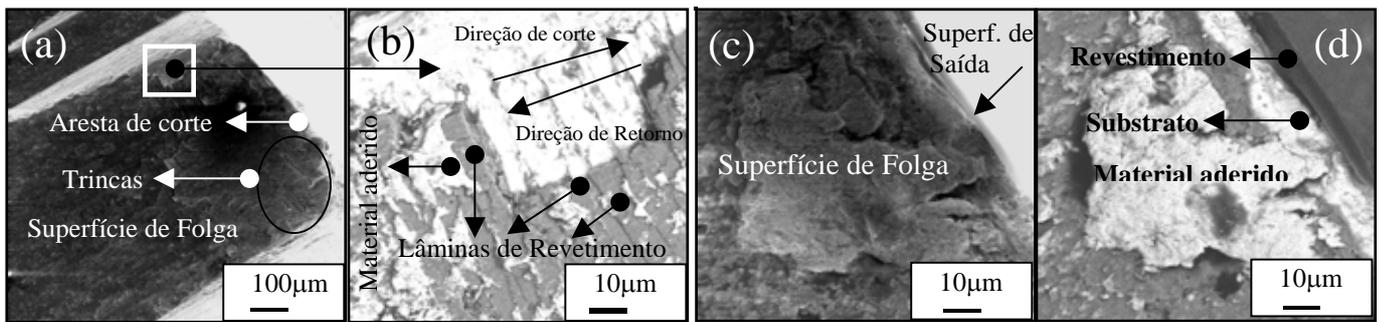


Figura 5. Fotos no MEV das superfícies de folga de ferramentas de: (a) HSS-E-Futura (elétrons secundários); (b) HSS-E-Futura (Detalhe - elétrons retroespalhados); (c) HSS-E –TiN (elétrons secundários); (d) HSS-E –TiN (elétrons retroespalhados);

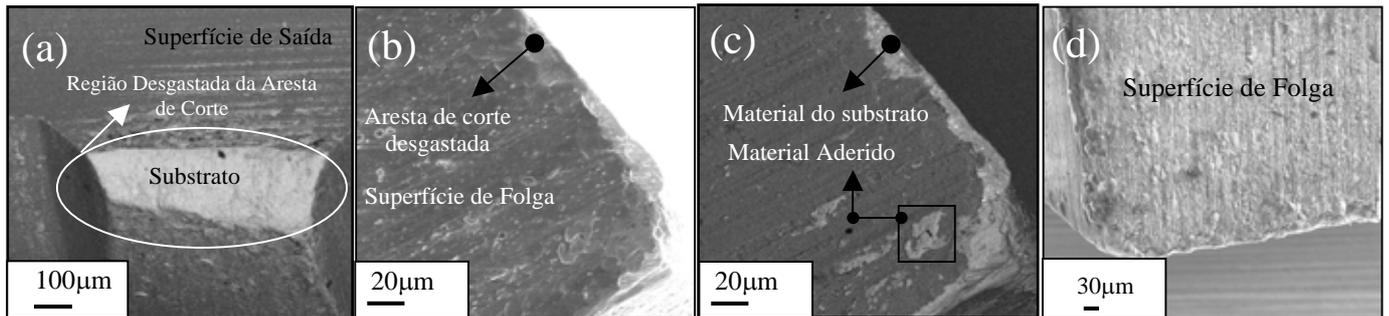


Figura 6. Fotos no MEV das superfícies de folga de ferramentas de: (a) HSS-E-Futura (elétrons retroespalhados); (b) HSS-PM-TiN (elétrons secundários); (c) HSS-PM-TiN (elétrons retroespalhados); (d) HSS-PM –Futura (elétrons secundários);

Além da técnica de elétrons retroespalhados citada anteriormente, utilizou-se também o método EDX para identificar as regiões das superfícies da ferramenta onde não existe mais revestimento. As análises foram feitas em vários pontos escolhidos sobre as superfícies das ferramentas revestidas utilizadas neste trabalho. Tais análises permitiram identificar:

1. Pontos tais como o 4 da Figura 7a, ricos em ferro e com a presença em menores quantidades de elementos que compõe o material do substrato da ferramenta. Estes pontos pertencem a regiões onde o revestimento foi retirado deixando o substrato descoberto.
2. Pontos como o 1 da Figura 7b, onde são detectadas grandes quantidades de Ti. Estes pontos pertencem na verdade às partículas de revestimentos que em um primeiro momento se soltaram do substrato próximo à região da aresta de corte e que com o decorrer do processo de rosqueamento, se aderiram novamente em uma outra posição sobre a superfície de folga da ferramenta, mais afastada da aresta cortante onde ainda existe revestimento.
3. Pontos tais como o 3 da Figura 7c, onde existe a presença de Ti em regiões onde o revestimento já foi completamente retirado. Isto indica que as partículas de revestimento ricas em Ti, que se desprendem do substrato durante o rosqueamento e que permanecem “soltas” nos filetes e nos canais do macho, passam a atuar como partículas abrasivas e eventualmente ficam aderidas ao material do substrato. A ação abrasiva destas partículas ricas em titânio tende a acelerar o processo de desgaste das arestas cortantes do macho.

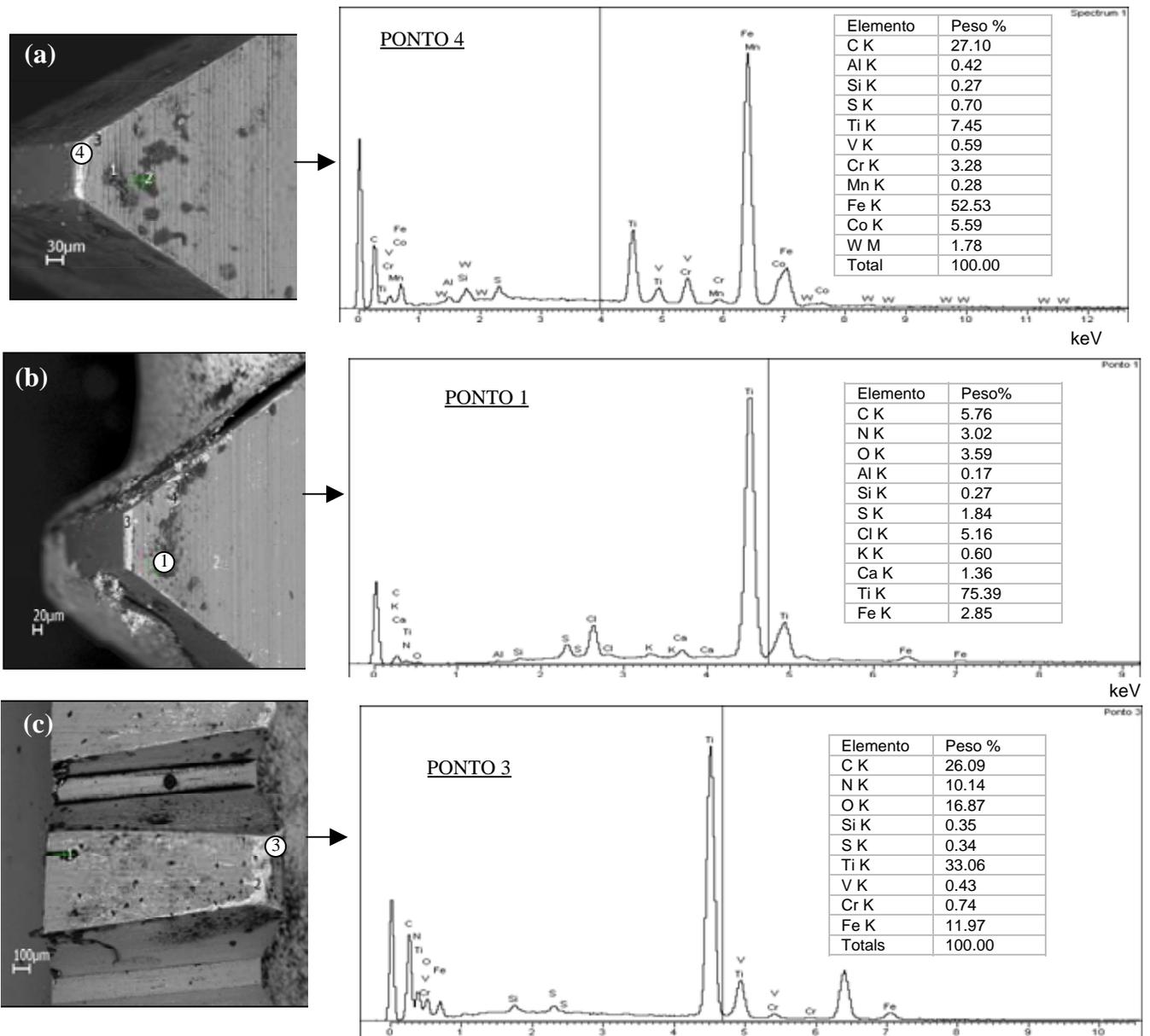


Figura 7. Resultados de EDX relativos: (a) Ferramenta de HSS-PM-TiN; (b) Ferramenta de HSS-E revestida com TiN; (c) Ferramenta de HSS-E revestida com TiN.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho, permitem concluir o seguinte:

1. Os desgastes dos machos predominaram na região cônica (nos dois primeiros dentes) e também no terceiro dente (primeiro dente da região cilíndrica), de tal forma que quase não há desgaste nos demais dentes dos machos.

2. A adesão foi o mecanismo de desgaste predominante para todas as ferramentas utilizada neste trabalho.

3. Os machos produzidos com HSS-PM apresentaram boa resistência ao lascamento e à deformação plástica (“rasgamento”), além de uma resistência ao desgaste bem superior às ferramentas de HSS-E.

4. Nas condições de corte utilizadas neste trabalho, o uso de revestimento (TiN e FUTURA) sobre substratos de HSS-E e HSS-PM, foi desastroso. Todas ferramentas deste tipo usinaram menos de 20 roscas e se quebraram por torção no estágio de retorno. Isto ocorreu porque as ferramentas, já nas primeiras roscas, perderam o revestimento na região da aresta cortante, o que foi comprovado por análises no MEV empregando técnicas de elétrons secundários, elétrons retroespalhados e EDX.

## 5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, à FAPEMIG, à FIAT-GM POWERTRAIN, à OSG FERRAMENTAS DE PRECISÃO LTDA, e ao IFM, pelo apoio financeiro, técnico e fornecimento de materiais; à FAENQUIL na pessoa do professor Marcos Valério Ribeiro, pelas análises de EDX.

## 6. REFERÊNCIA

1. SHA, J., NI, J., WU, S. M., Development of a Tap Wear Monitoring Scheme, In: Proceedings of Manufacturing International '90. Part 4: Advances in Materials and Automation, Atlanta, GA, USA, 1990. Proceedings. New York, NY, USA, American Society of Mechanical Engineers (ASME), 1990 (a), pp. 137-142.
2. BEZERRA, A. A., COELHO, R.T., DA SILVA, L.R, BRAGHINI JR., A., Investigação do Processo de Rosqueamento com Alta Velocidade de Corte em Ferro Fundido. XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Uberlândia – MG, proceedings of COBEM 2001, 2001, Manufacturing Process, Vol. 14, pp. 66-75.
3. OSG ferramentas de precisão ltda, Catálogo de ferramentas. v.1, , São Paulo, 1999, p. 1-58.
4. REIS, A. M., Avaliação do Desempenho de Diferentes Materiais de Ferramenta no Processo de Rosqueamento Interno de Ferro Fundido Cinzento, através do Monitoramento do Desgaste,- Tese de Doutorado Apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, 2004, 191p.
5. ARTER, R. K., Coated-Cobalt Taps Run Long And Hot. Tooling & Production, Vol. 56, N.9, 990, pp. 63-64.
6. NORMAZIONE FIAT Auto S.p.A., Ghisa Grigia, Norma Materiali 52205, 1991, pp. 1-6.
7. TRENT, E. M., Metal Cutting, Third Edition, Butterworth/Heinemann, Oxford, 1991, 273 p.
8. CARROLL, L., Tapping the Deep Hole, Cutting Tool Engineering, august, 1995, pp. 36-43.
9. MÜLLER, P., “Ferramentas para furar e rosquear com HSC e sem refrigeração”. O Mundo da Usinagem – 1/2000, 2000, pp. 13 – 17.
10. SANTOS, S.C., Estudo da influência de revestimentos e da aplicação de fluido de corte no desempenho de brocas de aço-rápido e de metal duro integral na usinagem de ferro fundido cinzento. Tese de Doutorado Apresentada à Universidade Federal de Uberlândia,2002, 199p.

### **Evaluation of the Performance of High Speed Steel Tools With and Without Coatings in the Tapping of the Gray Casting Iron Gh-190**

**Abstract.** *The main goal of this work is to investigate the performance of different HSS materials for tap tools when machining GH-190 gray cast iron. The tool material investigated were: high V HSS; PM – HSS. It was also investigated two different coating: TiN and multilayer (TiN/TiNAl). The experimental test were carried out in a production line with M6 taps, using cutting speed of 8,5 m/min and feed rate of 1 mm/rev. SEM analysis were used to investigate the wear mechanisms involved. Tool wear was measured in the laboratory to compare tool life for the different tools. The results as shown that the uncoated tools had a weel superior tool life than the coated ones. The uncoated tools can produce up to 1800 threads while the coated tools only 20 threads before fracture. The PM-HSS had better performance than high V HSS in therms of wear.*

**Keywords:** tapping, gray cast iron, wear.