

# ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE O DESGASTE DAS FERRAMENTAS DE USINAGEM DE ROSCAS E O COEFICIENTE DE ATRITO EM JUNTAS APARAFUSADAS

**Sandro Cardoso Santos**

Centro Federal de Educação tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica – Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte, MG, [sandro@des.cefetmg.br](mailto:sandro@des.cefetmg.br)

**Alexandre Martins Reis**

Universidade Federal de Viçosa, [amreis@ufv.br](mailto:amreis@ufv.br)

**Hermano Nascimento Júnior**

Fiat Automóveis S. A, [hermano.nascimento@fiat.com.br](mailto:hermano.nascimento@fiat.com.br)

**Wisley Falco Sales**

Faculdade do Sul da Bahia, [wisley.sales@gmail.com](mailto:wisley.sales@gmail.com)

**Marcio Bacci da Silva**

Universidade Federal de Uberlândia, [mbacci@mecanica.ufu.br](mailto:mbacci@mecanica.ufu.br)

**Resumo.** *O comportamento de uma junta aparafusada depende da força de união aplicada pelo parafuso nas partes unidas. A medição direta da força tensora aplicada pelo parafuso requer procedimentos complexos, o que faz com que ela seja obtida por meio de sua relação com o torque aplicado na cabeça do parafuso. Essa relação, porém, é influenciada pelas forças de atrito que surgem na rosca e na região de contato entre a cabeça do parafuso e a peça. As forças de atrito que surgem na junta rosqueada dependem da textura da superficial da superfície das roscas que, por sua vez, depende do nível de desgaste da ferramenta com a qual a rosca foi usinada. Dessa forma, uma rosca usinada com uma ferramenta com nível de desgaste elevado pode apresentar elevado coeficiente de atrito, o que refletirá no valor da força de atrito na rosca e na relação entre o torque e a força tensora. Como consequência a força tensora na junta terá um valor menor que o previsto e isso pode comprometer o desempenho da junta aparafusada. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do nível de desgaste das ferramentas com as quais as roscas foram usinadas no coeficiente de atrito na rosca e com isso verificar se o desgaste pode influenciar o valor da força tensora e, em consequência, o desempenho da junta aparafusada.*

**Palavras-chave:** *Rosqueamento, junta aparafusada, coeficiente de atrito.*

## 1. INTRODUÇÃO

A união entre peças aparafusadas é garantida pela força tensora aplicada pelo parafuso, cujo valor é determinado de modo indireto, por meio do torque aplicado sobre a cabeça do parafuso. Devido ao atrito entre na rosca e entre cabeça do parafuso e peça, nem todo o torque é convertido em força tensora. A parcela do torque transformado em força tensora é denominada rendimento da junta aparafusada.



A força tensora na junta aparafusada depende dos coeficientes de atrito na rosca e na cabeça do parafuso, de modo que alterações no acabamento superficial das roscas provocam variações no valor da força tensora. Como o desgaste da ferramenta pode provocar alterações na topografia das roscas, peças rosqueadas por ferramentas com diferentes níveis de desgaste podem apresentar diferenças na relação de conversão entre o torque em força tensora. Em outras palavras, a aplicação de um torque-padrão sobre os parafusos pode gerar forças tensoras diferentes, o que pode fazer com que a força de união da junta seja inferior à desejada ou mesmo comprometer o comportamento da junta aparafusada.

Neste trabalho são apresentados os resultados de avaliação do rendimento da junta aparafusada e da resistência mecânica das roscas quando submetidas a ensaios combinados de tração e torção. As roscas foram usinadas com ferramentas de aço-rápido e as variáveis analisadas foram o tipo de aço-rápido e o nível de desgaste das ferramentas.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo da investigação foi verificar a influência do material da ferramenta e do desgaste no rendimento da junta aparafusada e verificar se este é um fator determinante para o fim de vida das ferramentas. Foram testadas ferramentas de aço-rápido (HSS), aço super-rápido (HSS-E), aço-rápido obtido pela metalurgia do pó (HSS-PM) e aço-rápido nitretado (HSS-NI), no rosqueamento de barras de ferro fundido GH190. Para cada tipo de ferramenta foram feitas análises de roscas usinadas com a ferramenta nova e após rosquear 450, 900, 1350 e 1800 furos.

## 3. REVISÃO TEÓRICA

Neste tópico é apresentada a fundamentação teórica dos assuntos abordados no artigo. São apresentados aspectos gerais do processo de rosqueamento, do desgaste de ferramentas e da análise de coeficiente de atrito e ensaios de resistência de juntas aparafusadas submetidas a esforços combinados de tração e torção.

### 3.1. O Processo de Rosqueamento

Segundo Ferraresi<sup>(1)</sup>, o rosqueamento pode ser definido como um processo mecânico, de usinagem ou conformação, destinado à obtenção de filetes de rosca, por meio da abertura de um ou vários sulcos helicoidais de passo uniforme, em superfícies cilíndricas ou cônicas de revolução. Esse processo envolve movimentos relativos de rotação e avanço entre a peça e a ferramenta, onde uma delas gira enquanto a outra se desloca, simultaneamente, segundo uma trajetória retilínea paralela ou inclinada em relação ao eixo de rotação, ou apenas uma delas executa os dois movimentos, ou seja, gira e avança, enquanto a outra fica parada.

O rosqueamento realizado para a obtenção de roscas fêmeas, ou seja, roscas em superfícies internas cilíndricas ou cônicas de revolução, é chamado de rosqueamento interno. Ferraresi<sup>(1)</sup> apresenta diversas formas de rosqueamento interno, entre elas: O rosqueamento interno com ferramenta de perfil único (Figura 1a); o rosqueamento interno com ferramenta de perfil múltiplo (Figura 1b); o rosqueamento interno com machos (do inglês “*tapping*”) de usinagem ou de conformação (Figura 1c); e o rosqueamento interno com fresa (Figura 1d).

O rosqueamento externo (do inglês “*threading*”, ou “*thread rolling*”) é aquele executado em superfícies externas cilíndricas ou cônicas de revolução. Entre as formas de rosqueamento externo, estão as seguintes: O rosqueamento externo com ferramenta de perfil único (Figura 1e); o rosqueamento externo com ferramenta de perfil múltiplo (Figura 1f); o rosqueamento externo com cossinete (Figura 1g); o rosqueamento externo com jogo de pentes (Figura 1h).

Entre os tipos de rosqueamento interno, citados anteriormente, aquele que utiliza como ferramenta o macho, é o mais empregado na indústria moderna, devido a sua alta produtividade, e ao fato de apresentar maior precisão na rosca feita, tanto para os pequenos diâmetros quanto para os grandes. Os machos utilizados no rosqueamento interno podem ser de conformação, os quais não



geram cavacos durante o processo de fabricação da rosca, ou de corte que são aqueles que geram cavacos durante a operação de rosqueamento.

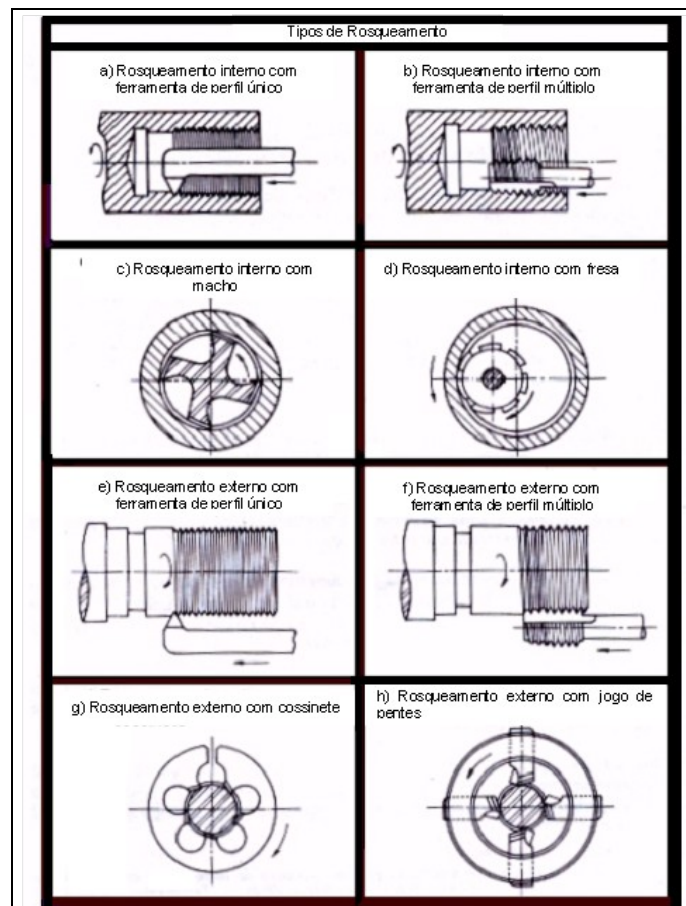


Figura 1. Tipos de rosqueamento

O rosqueamento interno com macho de corte é uma das operações de usinagem mais complexas devido aos problemas ocasionados pelas dificuldades de remoção do cavaco e lubrificação adequada das arestas de corte do macho. A situação se agrava ainda mais quando as roscas são feitas em furos cegos, onde os machos são submetidos a condições de trabalho bastante severas. Enquanto na abertura de uma rosca passante, os filetes de entrada trabalham livremente e o macho não fica sob carga quando do seu retorno; na abertura de roscas em furos cegos, os filetes de entrada do macho, ao retornar, precisam cortar alguns cavacos, ocasionando uma sobrecarga elevada e variável sobre o macho. Além disso, os cavacos devem encontrar espaço suficiente nos canais do macho, no fundo do furo cego, ou devem ser eliminados para cima.

### 3.2. Desgaste em Ferramentas de Rosquear

A Norma ISO 3685<sup>(2)</sup> apresenta a padronização das formas de desgaste em ferramentas de corte. A avaliação do desgaste em machos, no entanto, apresenta algumas dificuldades devido à sua geometria complexa da ferramenta, formada por quatro carreiras de dentes e com regiões cônicas e cilíndrica, conforme mostrado na Figura 2. Na Figura 3 são apresentadas as cotas críticas para o desgaste nos três primeiros dentes de cada carreira da ferramenta, que confirmam a complexidade da geometria dos machos<sup>(3)</sup>.



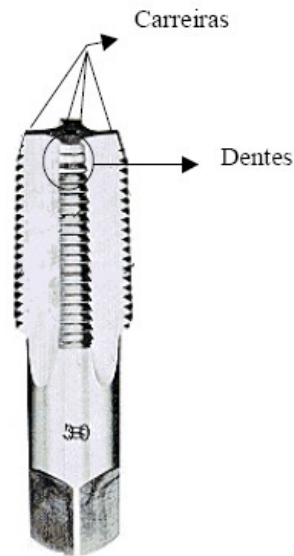


Figura 2. Identificação das carreiras de dentes.

CARREIRA	1°	2°	3°	4°
1° DENTE				
2° DENTE				
3° DENTE				

Figura 3. Cotas críticas do desgaste.

### 3.3. Análise de Rendimento da Junta aparafusada

O desgaste de uma ferramenta torna-se crítico a partir do momento em que ele atinge um valor tal que prejudique a qualidade da peça produzida. A qualidade da rosca pode ser avaliada com a utilização de um calibre de roscas. O desgaste da ferramenta pode influenciar o rendimento de uma junta aparafusada devido à alteração da topografia das roscas. Antes, porém, de apresentar uma abordagem do rendimento de junta aparafusada propriamente dita, é conveniente apresentar os aspectos gerais de uma junta aparafusada.





Uma junta aparafusada é uma união desmontável de duas ou mais partes por meio de parafusos. A confiabilidade de uma junta aparafusada depende do parafuso e das juntas, além da precisão do cálculo da força tensora.

O aperto em um parafuso provoca deformações elásticas no mesmo, que dão origem à força efetiva de fechamento da junta, chamada pré-carga. O parafuso fica, portanto, submetido a tensões de tração. O atrito entre as roscas da porca e do parafuso dão origem a tensões de cisalhamento no parafuso, que podem apresentar valores entre 30 e 50% da tensão de tração durante o aperto, principalmente se a operação for realizada com pouca lubrificação <sup>(4)</sup>.

A determinação da pré-carga é de fundamental importância no dimensionamento da junta aparafusada. Uma pré-carga excessiva pode provocar deformação plástica ou até ruptura dos elementos que formam a junta. Um valor baixo de pré-carga pode levar à falha da junta por desaparafusamento, fadiga, separação dos membros da junta, etc..

A medição de o controle direto da força tensora é difícil, por isso o torque aplicado sobre o parafuso é freqüentemente utilizado como medida de controle indireta. A Eq. 1 representa uma expressão que pode ser utilizada para a determinação da pré-carga.

$$T = K.D.P \quad (1)$$

Onde T é o torque necessário, D é o diâmetro nominal do parafuso, P é a pré-carga obtida e K é o coeficiente de torque, que depende do tipo de parafuso, do lubrificante, etc..

O torque aplicado para o aperto do parafuso é dividido em três parcelas: uma para deformar o parafuso, outra para vencer o atrito na rosca do parafuso e a outra para vencer o atrito entre a face da porca e a superfície de apoio do parafuso. Essa relação é representada pela Eq. 2.

$$T = P \left( \frac{P}{2\pi} + \frac{\mu_t r_t}{\cos \beta} + \mu_n r_n \right) \quad (2)$$

Onde T é o torque aplicado ao parafuso, P é a pré-carga criada no parafuso devido ao torque aplicado, p é o passo da rosca,  $\mu_t$  é o coeficiente de atrito entre as roscas do parafuso e da porca,  $\mu_n$  é o coeficiente de atrito entre a face da porca e a superfície de apoio do parafuso,  $r_t$  é o raio efetivo de contato das roscas,  $r_n$  é o raio efetivo de contato entre a porca e a superfície de apoio e  $\beta$  é o semi-ângulo das roscas.

O cálculo de uma junta aparafusada tem por objetivo determinar as dimensões dos parafusos, o material e o torque de fechamento. Para isso, são considerados os seguintes aspectos:

- Definição das cargas externas máximas a que podem ser submetidas as juntas aparafusadas.
- Estimativa da força tensora necessária para que o parafuso possa suportar as cargas externas sem permitir o deslizamento relativo entre as partes que formam a junta.

Durante a montagem da junta, observa-se uma relação direta entre a tensão do parafuso e a pré-carga. Na maioria dos casos, a pré-carga é gerada pela rotação da porca ou da cabeça do parafuso. O parafuso fica, com isso, sujeito a tensões combinadas de cisalhamento, devido à torção, e normal, devido às deformações na direção axial.

Como apenas uma parte do torque aplicado sobre o parafuso é convertido em tensão de tração, é desejável que essa parcela seja quantificada, o que é feito por meio do cálculo do rendimento da junta aparafusada, definido pela expressão (3).

$$\eta = \left[ \sqrt{1 + 3 \cdot \left( \frac{4}{1 + \left( \frac{d_3}{d_2} \right)} \right) \left( \frac{P}{\pi \cdot d_2} + 1,155 \mu_g \right)} \right]^{-1} \quad (3)$$



Na Eq. (3)  $\mu_g$  representa o coeficiente de atrito na rosca.

#### 4. PROCEDIMENTOS

Diante da dificuldade de se estabelecer critérios de fim de vida baseado no desgaste das ferramentas, procurou-se avaliar o desempenho do processo de fabricação de roscas com base na caracterização das juntas aparafusadas. A caracterização das juntas aparafusadas foi feita a partir de resultados de ensaio de tração com esforços combinados de tração e de cisalhamento, nos valores do coeficiente de atrito nas roscas e do rendimento da junta aparafusada.

Foram preparados corpos de prova fabricados em ferro fundido cinzento GH 190. Os corpos de prova (insertos) foram fabricados em forma de porcas quadradas com rosca M6, conforme mostrado no desenho esquemático da Figura 4.

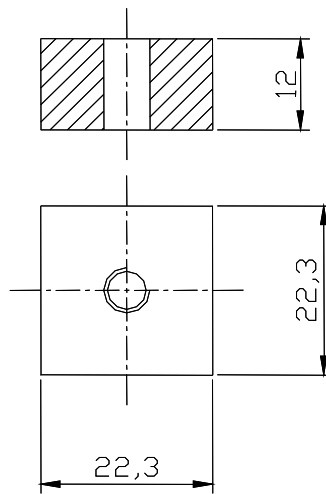


Figura 4. Representação esquemática dos corpos de prova utilizados.

As roscas foram usinadas com ferramentas de diferentes materiais, cujas características e códigos adotados neste trabalho são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Tipos de ferramentas utilizadas nos ensaios

Código	Características
HSS	Aço-rápido comum
HSS-E	Aço-rápido especial (de composição química diferenciada)
HSS-Ni	Ferramenta de aço rápido com a superfície nitretada
HSS-PM	Aço-rápido obtido por meio de metalurgia do pó

As roscas dos corpos de prova foram usinadas com ferramentas em cinco diferentes níveis de desgaste: com as ferramentas novas e após usinarem 450, 900, 1350 e 1800 roscas. As ferramentas utilizadas na preparação dos corpos de prova foram retiradas de linhas de produção na qual eram utilizadas para usinar roscas para fixação da bomba d'água em blocos de motor, fabricados com o mesmo material dos corpos de prova.

Para a realização dos ensaios no analisador torque-ângulo foram tomados parafusos com as mesmas características dos utilizados para a fixação da bomba d'água.

No analisador torque-ângulo foram realizados ensaios de tração combinados, que consistem em submeter o conjunto parafuso-inserto a um torque crescente até a ruptura do parafuso ou da rosca do inserto. Durante o ensaio o equipamento permite monitorar e armazenar os valores do torque



aplicado e da força normal aplicada sobre o parafuso.

Por meio do analisador torque-ângulo foram medidos, ainda, os coeficientes de atrito entre as roscas dos parafuso e dos insertos.

Os valores dos coeficientes de atrito foram obtidos a partir da média de sete ensaios. O critério de Chauvenet foi aplicado para a identificação e eliminação de valores discrepantes.

## 5. RESULTADOS

Na Tabela 2 são mostrados os valores de torque e força normal sobre o parafuso obtidos no ensaio de tração combinados.

Tabela 2. Resultados dos ensaio de tração para o estado combinado de tensões

Tecnologia HSS						
Condição	Forças			Momentos		
	Força Ligação-N	Força Limite-N	Força Máxima-N	Momento Ligação-N	Momento Limite-N	Momento Máximo-N
Novo	1,01	11,29	12,4	3,63	28,13	30,65
450	1,8	11,03	12,27	4,5	29,84	34,12
900	1,47	11	11,8	3,86	29,82	34,47
1350	1,7	11,42	12,17	3,95	28,7	32,44
1800	1,65	10,8	11,8	4	30,48	35,66
Tecnologia HSS-E						
Condição	Forças			Momentos		
	Força Ligação-N	Força Limite-N	Força Máxima-N	Momento Ligação-N	Momento Limite-N	Momento Máximo-N
Novo	1,4	11,35	12	3,2	23,4	28,51
450	1,46	11,22	12	3,6	27,7	34
900	1,6	11,2	12,2	5,3	30,5	34,9
1350	1,5	11,11	11,7	4,33	30,8	35,5
1800	1,8	11,15	12,17	4,6	29,2	34,47
Tecnologia HSS-Ni						
Condição	Forças			Momentos		
	Força Ligação-N	Força Limite-N	Força Máxima-N	Momento Ligação-N	Momento Limite-N	Momento Máximo-N
Novo	1,37	10,6	11,3	3,88	28,5	34,7
450	1,3	10,5	11,16	3,8	28,13	33,3
900	1,3	10,7	11,8	4,4	29,9	36,26
1350	1,5	10,8	11,6	4,8	31,0	36,4
1800	1,26	11,2	12,13	4,9	34,1	38,4
Tecnologia HSS-PM						
Condição	Forças			Momentos		
	Força Ligação-N	Força Limite-N	Força Máxima-N	Momento Ligação-N	Momento Limite-N	Momento Máximo-N
Novo	1,4	10,7	11,8	4,26	32,8	39,3
450	1,5	10,8	11,7	5,5	33,6	38,6
900	1,5	11,35	11,7	4,9	35,06	38,9
1350	1,2	11,37	12,17	3,98	36	40,7

Os resultados apresentados na Tabela 2 não permitem identificar tendência de variação das grandezas medidas ao longo da vida das ferramentas, o que permite constatar que o desgaste da ferramenta não significou perda de qualidade da rosca. Outro comportamento que confirma a não influência do desgaste das ferramentas é o fato de em todos os ensaios a ruptura ocorreu no parafuso e os insertos e as roscas permaneceram intactos.

Os valores médios dos coeficientes de atrito na rosca, após submetidos ao critério de Chauvenet



são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Coefientes de atrito nas roscas

<b>HSS</b>					
<b>ENSAIO</b>	<b>NOVA</b>	<b>450</b>	<b>900</b>	<b>1350</b>	<b>1800</b>
<b>MÉDIA</b>	0,162	0,295	0,281	0,266	0,261
<b>S</b>	0,025	0,020	0,056	0,047	0,069
<b>M+ 3S</b>	0,236	0,354	0,448	0,408	0,468
<b>M- 3S</b>	0,088	0,236	0,113	0,125	0,054
<b>HSS-E</b>					
<b>ENSAIO</b>	<b>NOVA</b>	<b>450</b>	<b>900</b>	<b>1350</b>	<b>1800</b>
<b>MÉDIA</b>	0,277	0,248	0,241	0,228	0,300
<b>S</b>	0,012	0,051	0,056	0,056	0,023
<b>M+ 3S</b>	0,313	0,400	0,409	0,397	0,368
<b>M- 3S</b>	0,241	0,095	0,073	0,059	0,231
<b>HSS-Ni</b>					
<b>ENSAIO</b>	<b>NOVA</b>	<b>450</b>	<b>900</b>	<b>1350</b>	<b>1800</b>
<b>MÉDIA</b>	0,192	0,306	0,305	0,291	0,258
<b>S</b>	0,060	0,019	0,010	0,014	0,037
<b>M+ 3S</b>	0,371	0,362	0,336	0,334	0,369
<b>M- 3S</b>	0,013	0,249	0,275	0,248	0,146
<b>HSS-PM</b>					
<b>ENSAIO</b>	<b>NOVA</b>	<b>450</b>	<b>900</b>	<b>1350</b>	<b>1800</b>
<b>MÉDIA</b>	0,295	0,352	0,305	0,314	0,323
<b>S</b>	0,078	0,022	0,061	0,066	0,018
<b>M+ 3S</b>	0,529	0,419	0,488	0,511	0,377
<b>M- 3S</b>	0,060	0,286	0,122	0,117	0,269

Os valores médios e os desvios apresentados na Tabela 3 não permitem identificar tendências de comportamento do coeficiente de atrito em função do material ou do número de roscas usinadas com as ferramentas. Para uma melhor visualização, os valores médios do coeficiente de atrito são apresentados na Figura 5.

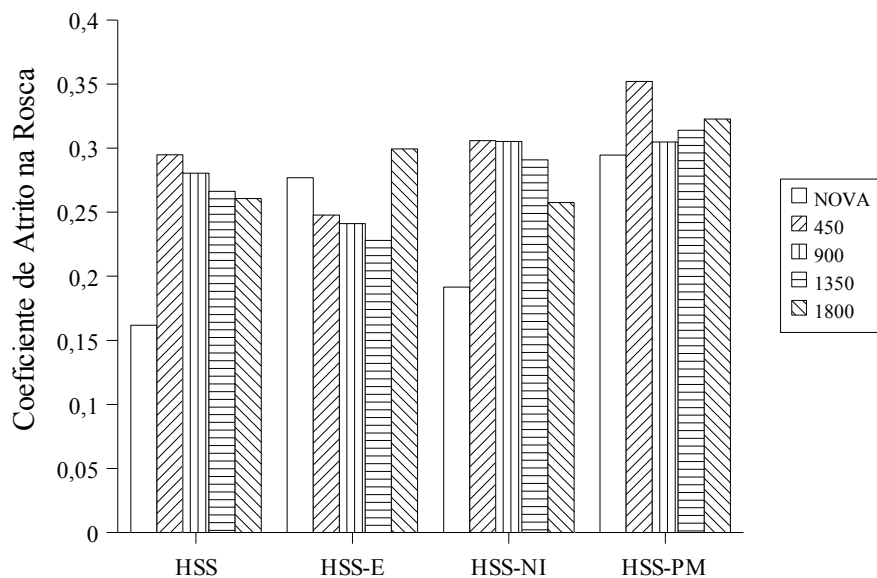


Figura 5. Valores médios de coeficiente de atrito





O rendimento da junta aparafusada também não apresentou variação de comportamento com a mudança de ferramenta ou em função da utilização da ferramenta, conforme mostrado na Figura 6.

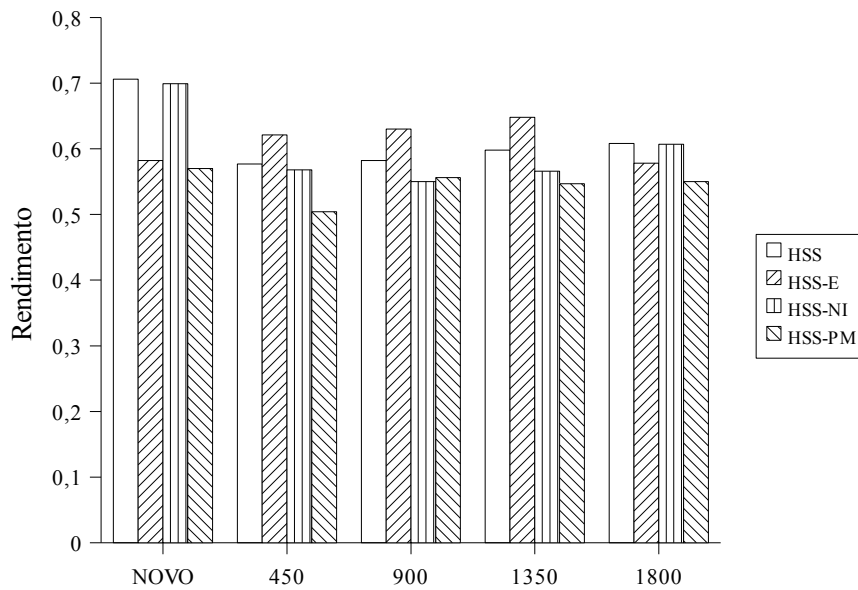


Figura 6. Rendimento das juntas aparafusadas

Não foram identificadas influências do desgaste das ferramentas nos resultados de ensaio de tração combinados, coeficiente de atrito e rendimento da junta aparafusada, apesar de as ferramentas apresentarem desgastes acentuados, conforme mostrado na Figura 7.

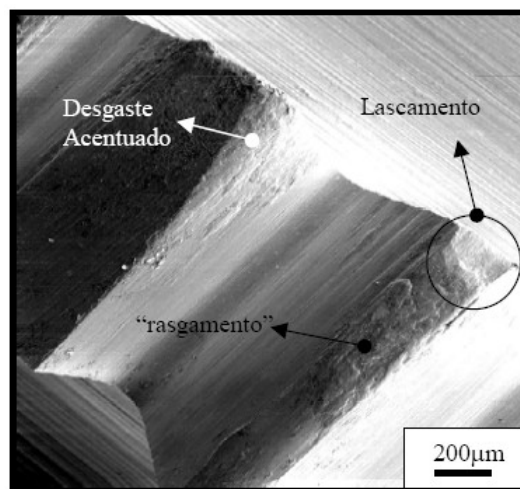


Figura 7. Aspecto do desgaste do segundo dente da ferramenta HSS-NI após a usinagem de 1800 roscas <sup>(3)</sup>

Uma das justificativas para a não influência do desgaste nas variáveis estudadas é que os filetes localizados na região cônica da ferramenta, onde o desgaste é mais acentuado, não são os que dão o acabamento às roscas, função exercida pelos filetes localizados na região cilíndrica da ferramenta que sofrem menos desgaste.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que o estado de afiação da ferramenta, até o nível de desgaste avaliado, não teve influência significativa no rendimento da junta aparafusada e na resistência mecânica das roscas. Tal comportamento é atribuído ao fato de o desgaste das



ferramentas avaliados estar abaixo do valor máximo de desgaste admitido. O material da ferramenta também não foi causa de variação dos parâmetros avaliados.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à OSG Ferramentas de Precisão e à FIAT Automóveis S.A.

## 8. REFERÊNCIAS

1. FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**, 9ª reimpressão, v.1, São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1995, 751p.
2. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 3685: Tool Life Testing with Single-Point Turning Tools**, 1993
3. 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**. 2004, 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.
4. NASCIMENTO JR, H. A., **Estudo da Relação Torque x Força Tensora e do Coeficiente de Atrito em Parafusos Revestidos Isentos de Cromo Hexavalente**. 2003,

## STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN TOOL WEAR AND FRICTION COEFFICIENT ON BOLTED JOINTS

### ABSTRACT

*This work studies the relationship between the friction coefficient on the contacting threads of a bolt and a nut or another part, and the wear level of the tool used to cut those threads. That friction level must take into account the surface texture generated by the cutting tool. The results are presented in this paper.*

**Keywords:** *jointed bolts, tapping, wear friction*