

# Desenvolvimento e implementação de um programa para auxílio ao dimensionamento de parafusos de fixação com pré-carregamento estático e dinâmico

**Felipe G. de Carvalho, Mateus Cunha C. Z. de Oliveira, Allan da Cruz**

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) - Universidade de São Paulo (USP)

*felipegodoydecarvalho@gmail.com; mcczo@yahoo.com.br, dacruz@yahoo.com.br*

**Zilda de Castro Silveira**

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) - Universidade de São Paulo

*silveira@sc.usp.br*

## 1. Introdução

Neste trabalho é proposto um programa computacional, para o dimensionamento de uniões parafusadas, com pré-carregamento estático e dinâmico. O uso de rotinas computacionais baseadas em metodologias propostas na literatura técnica auxilia no ensino de graduação em engenharia, referentes às disciplinas que compõem o núcleo de projeto mecânico. Programas computacionais fornecem ao aluno sensibilidade dimensional, e podem ser utilizados como ferramenta de apoio a projetos extracurriculares nas universidades destinados a competições, como o *Aerodesign* e *Mini-baja*.

## 2. Fundamentação Teórica

Os projetos de máquinas e de estruturas requerem a escolha adequada e o dimensionamento de uniões mecânicas, cujo objetivo é unir componentes e subconjuntos, para que cumpram a função de projeto do sistema. As uniões e conexões mecânicas são fundamentais, para a montagem e operação do sistema projetado, mesmo que representem descontinuidades geométricas e possam romper o fluxo uniforme das forças atuantes, tornando-se regiões de falhas potenciais (em torno de 50% das falhas, em componentes automotivos). Os elementos de fixação roscados estão disponíveis comercialmente em uma ampla faixa de dimensões, materiais e formatos. A estimativa de tensões em parafusos de fixação é semelhante aos procedimentos de cálculo utilizados para parafusos de potência, com concentrações de tensão na raiz, flanco e na região interna da rosca. Nessa última região, o torque de pré-carga deve ser dimensionado, para que não haja escoamento, no qual a maior parte da torção é aliviada, após o processo de aperto inicial. As uniões parafusadas para componentes mecânicos trabalham sob tração (pré-carga) e eventualmente ao cisalhamento, para garantir que não haja escorregamento em componentes estruturais. Uma união roscada pode ser aproximada por um modelo de molas em paralelo, no qual o valor da pré-carga inicial é regido pelas respectivas rigidezes obtidas a partir das equações (1) e (2), do material do parafuso ( $k_b$ ) e dos materiais das juntas ( $k_m$ ) dadas pelas equações (3) a (4) e constante de rigidez da união (5):

$$\delta = \frac{Fl}{AE} \quad (1) \quad k = \frac{AE}{l} \quad (2)$$

$$\frac{1}{k_b} = \frac{l_t}{A_t E_b} + \frac{l_s}{A_b E_b} \quad (3)$$

$$K_m = \frac{\pi E d}{\ln \left[ \frac{(2t + D - d)(D + d)}{(2t + D + d)(D - d)} \right]}, \text{considerando } 45^\circ \quad (4)$$

$$C = \frac{k_b}{k_m + k_b}, \text{constante de rigidez da união} \quad (5)$$

A obtenção da rigidez dos materiais, que compõem a junta é de difícil estimativa devido à incerteza da região de deformação, durante o aperto inicial. Shigley (2005) propõe que a região deformada se assemelha a um

**XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP**  
Artigo CREEM2012

cone-frusta. Norton (2000) apresenta alguns trabalhos de pesquisa baseados em simulação com elementos finitos que indicam uma distribuição geométrica das linhas de fluxo de força desenvolvidas na união parafusada, próxima a um *frustum*. Com a constante de rigidez da união segue-se, o cálculo das parcelas de forças atuantes e de pré-carga, para cada componente e a determinação dos fatores de segurança estático, de separação e à fadiga. A inserção de gaxetas não-confinadas na união deve ser feitas com a menor espessura possível, mas espessas o suficiente para garantir a total vedação entre o contato e o fluido. As gaxetas finas não são apenas molas rígidas (tensões de contato de Hertz desenvolvidas, para cilindro em um entalhe cilíndrico – que fornece uma estimativa dos deslocamentos, quando a junta está carregada), mas resultam em reduzida relaxação térmica e quando associadas à perda de pré-carga, fornecem elevadas resistência ao rompimento e promovem melhor transferência de calor.

**3. Proposta e implementação do programa**

As figura 1, 2, 3e 4 apresentam os dados de entrada, o fluxograma e os dados de saída do programa “Screw-Check”:

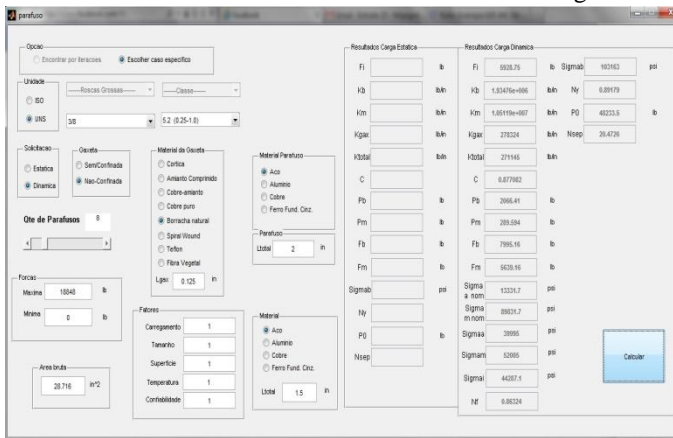


**Fig. 1** – Dados de entrada do programa.

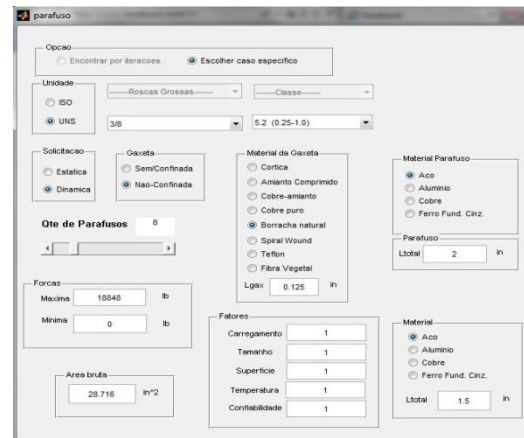


**Fig.2** – Fluxograma de cálculo.

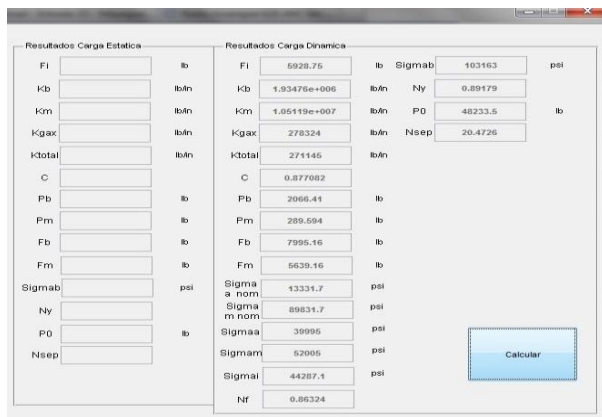
**XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP**  
**Artigo CREEM2012**



**Fig. 3 – Interface com o usuário (tela de entrada de dados).**



**Fig. 4 – Exemplo de aplicação: dados de entrada.**



**Fig.5 – Exemplo de aplicação: dados de saída.**

Variável	Norton	Screw-Check	Erro
<b>Kb (lb/in)</b>	1,94E+06	1,93E+06	0,01%
<b>Km (lb/in)</b>	10510000	10511900	0,02%
<b>Kgax (lb/in)</b>	278300	278324	0,01%
<b>Ktotal (lb/in)</b>	271100	271145	0,02%
<b>C (adm)</b>	0,877	0,877082	0,01%
<b>Pb (lb)</b>	2067	2066,41	0,03%
<b>Pm (lb)</b>	290	289,594	0,14%

**Fig.6 – Validação do programa.**

#### 4. Considerações Finais

O dimensionamento determinístico de uma união parafusada é restrito, em função do real comportamento do material da junta e da presença de gaxetas, que apresentam comportamento não-linear. Métodos numéricos podem ser úteis em uma aproximação mais precisa dos resultados, quando há a necessidade de uma elevada confiabilidade. Em muitos casos, recursos computacionais para simulação CAE não estão disponíveis e, portanto há a necessidade de um procedimento analítico, para o dimensionamento da união roscada. Sob esse aspecto, há metodologias consolidadas como: Shigley, 2005; Norton, 2000; Juvinal & Marshek (2008), que fornecem o pré-dimensionamento dessas uniões. A implementação computacional das respectivas teorias sistematiza o cálculo das rigidezes e permite a obtenção dos gráficos de tensão média x tensão alternada, que auxiliam na determinação dos fatores de segurança da união. Esse trabalho ainda contribui para a redução de tempo no cálculo manual de uniões parafusadas, que inclui pesquisas a tabelas normalizadas, propriedades de materiais e elaboração de gráficos para visualização de áreas seguras à fadiga.

#### 4. Referências

- Norton, R.L. “Machine Design: an integrated approach” Bookman. 2000.  
 Juvinal, R.C.; Marshek, K. M. “Fundamentos do projeto de componentes de máquinas.” LTC, 2008