



Projeto Mecânico de uma Interface de Tração para Ensaios de Fadiga em Dutos Flexíveis Aplicados na Exploração de Petróleo

Luiz Felipe Nardi, Prof. Dr. Marcelo Favaro Borges

INTRODUÇÃO

A verificação da vida remanescente de dutos flexíveis é um parâmetro amplamente utilizado para a garantia da confiabilidade, primordial para o funcionamento seguro e eficiente de todas as operações em unidades de produção de óleo e gás. Neste contexto, testes de fadiga em tração são de grande utilização. Na montagem das bancadas para a realização destes testes, uniões parafusadas são elementos imprescindíveis que requerem um correto dimensionamento, uma vez que não podem falhar durante a realização dos ensaios.

Uma união parafusada é uma união de componentes através da utilização de roscas. Um parâmetro primordial para aumentar a vida útil e a confiabilidade destas uniões é a pré-carga (ou pré-tensão). Enquanto o valor da força da pré-carga for maior que a força externa aplicada, a junta não irá se separar e o acréscimo na sollicitação do parafuso será relativamente baixo em relação à força da pré-tensão; isso é importante em cargas dinâmicas, uma vez que a pré-carga reduz drasticamente as tensões alternantes de tração no parafuso em relação ao que seriam se não fosse pela sua presença; as oscilações de força compressiva no material não são preocupantes para a falha por fadiga, que se deve sempre às tensões de tração.

Na Imagem 01 está retratado um corte transversal de uma bancada de testes específica para fadiga de dutos flexíveis com carga nominal de 1000 kN. Os cálculos e os estudos retratados neste trabalho são utilizados para o dimensionamento da parte de tração da bancada e determinação dos coeficientes de segurança dos parafusos utilizados.

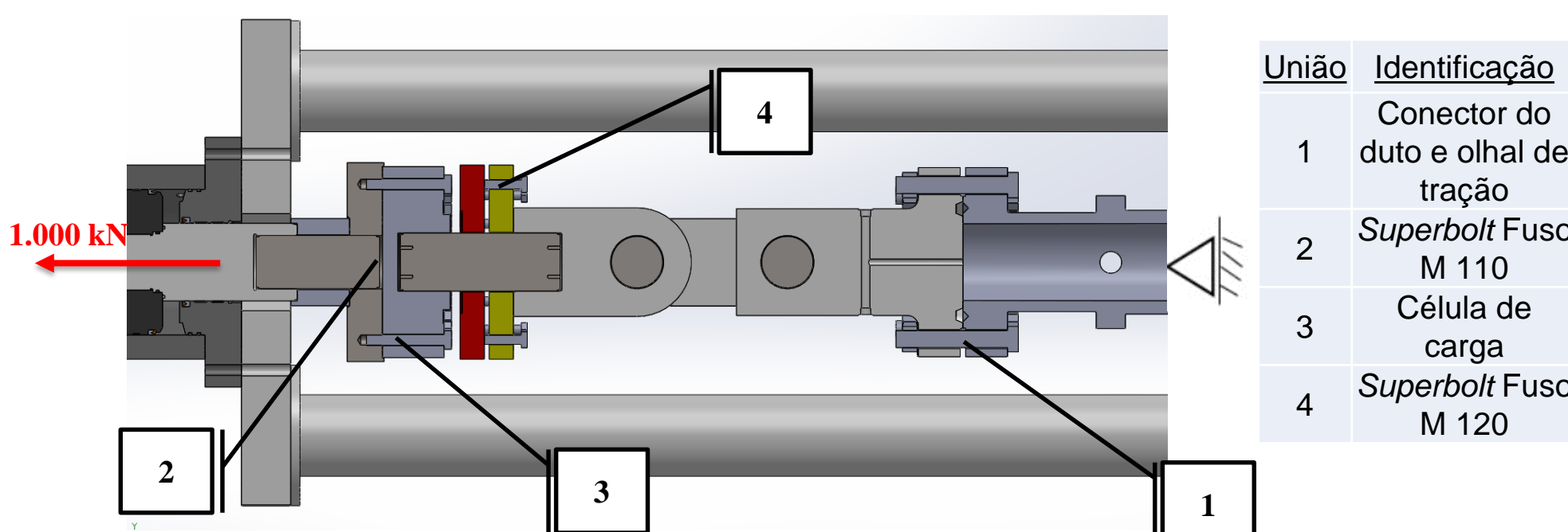


Imagem 01: Vista em detalhe do lado de tração da bancada de testes.

OBJETIVO

Determinar uma solução para a pré-tensão necessária para o correto funcionamento da bancada de tração em fadiga e proceder com o seu dimensionamento.

METODOLOGIA

A concepção do presente trabalho foi de adicionar o conceito de *superbolt* para os fusos. Tal conceito baseia-se em aplicar um torque aos parafusos dispostos radialmente em torno do fuso e que estão em contato com uma superfície, ocasionando assim uma compressão dos parafusos e, consequentemente, uma pré-carga dos fusos. Exemplos de *superbolt* podem ser observados nas Uniões 2 e 4 da Imagem 01.

Para as demais Uniões (1 e 3), aplica-se o cálculo convencional para a determinação da pré-tensão dos parafusos. Não foram calculados os coeficientes de segurança das Uniões 2 e 4, uma vez que estes parafusos estão sob esforços de compressão. O tipo de parafuso foi definido por uma abordagem iterativa na qual os requisitos da montagem (força nominal e geometria) foram os dados de entrada. A partir disso, varia-se o tamanho do parafuso (de acordo com catálogos comerciais), seu material (classe/grau SAE) e a pré-tensão aplicada. Então escolhe-se a configuração na qual os valores dos coeficientes de segurança forem satisfatórios.

Para a validação analítica foram comparadas diferentes bibliografias. Como cada livro apresenta uma abordagem com aspectos diferentes, foi escolhida para este trabalho, a realizada por Robert L. Norton no livro Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada. Optou-se por esta obra por apresentar uma abordagem conservadora e por não tratar aspectos relevantes para o cálculo de maneira generalista e sim utilizando fórmulas para cada especificidade.

Os parâmetros comparativos adotados foram, principalmente:

- Coeficiente de segurança contra separação da junta, $N_{separação}$;
- Coeficiente de segurança contra falha por fadiga, N_f , utilizando a abordagem de Goodman;
- Coeficiente de segurança contra o escoamento, N_{escoam} .

Para o cálculo dos parâmetros comparativos foram utilizadas as equações a seguir, de acordo com as seções 15.6 e 15.7 do livro Projeto de Máquinas.

$$N_{separação} = \frac{P_o}{P}; \quad N_{escoam} = \frac{S_y}{\sigma_b}; \quad N_f = \frac{S_e \times (S_{ut} - \sigma_i)}{S_e \times (\sigma_m - \sigma_i) + S_{ut} \times \sigma_a}$$

Para calcular o limite de resistência a fadiga corrigido foram utilizados os fatores de redução de resistência da Tabela 01.

Com:

- P_o – carga requerida para separar a junta;
- P – carga aplicada máxima;
- S_y – resistência ao escoamento;
- S_e – limite de resistência a fadiga corrigido;
- S_{ut} – máxima resistência à tração;
- σ_b – máxima tensão de tração no parafuso;
- σ_i – tensão correspondente à pré-carga inicial;
- σ_m – tensão local média;
- σ_a – tensão local alternada.

Tabela 01: Fatores de redução da resistência utilizados.

Fatores de redução de resistência	Valor	Observação
Ccarregamento	0,70	Força normal
Ctamanho	$1,189 * d^{-0,097}$	d em mm
Csuperfície	0,90	Parafuso comercial
Ctemperatura	1,00	Temperatura < 450 °C
Cconfiabilidade	0,87	Confiabilidade de 90 %

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os resultados encontrados para cada grupo de parafusos da bancada constam na Tabela 02, a seguir, assim como o parafuso e a quantidade definida para cada interface. A pré-carga é mostrada em porcentagem da resistência de prova do parafuso. Para um parafuso grau 8 SAE, a tensão de escoamento é 896 MPa e a resistência de prova é 827 MPa.

Tabela 02: Resultados dos cálculos dos parafusos em tração da bancada de testes.

Local	Parafuso	Classe/Grau SAE	Quantidade	$N_{separação}$	N_f	N_{escoam}	Pré-tensão
1	1" 3/8 UNC X 9"	8 SAE	12	4,07	1,16	2,11	50%
3	7/8 UNC X 6.1/2"	8 SAE	24	2,60	1,07	2,61	40%

Como condição de projeto foram definidos um $N_{separação}$ e um N_{escoam} de no mínimo 2,00, valor encontrado para ambos os casos. Sobre o N_f , a abordagem da bibliografia seguida considera como valores seguros para coeficientes de segurança contra falha por fadiga valores maiores que 1,00. Isso deve-se ao diferente comportamento deste coeficiente em comparação com os outros como pode ser observado na Imagem 02.

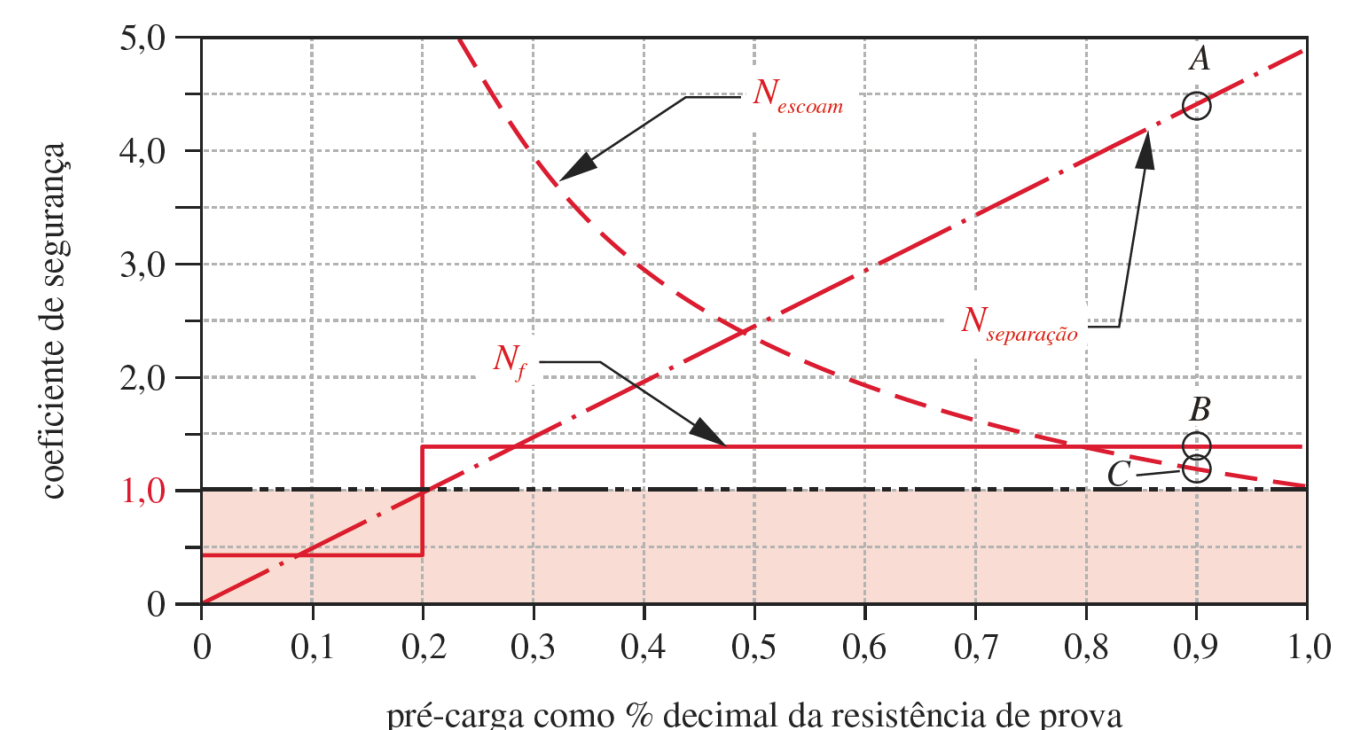


Imagem 02: Coeficiente de segurança versus pré-carga para um parafuso carregado dinamicamente. Fonte: [1].

O N_f apresenta apenas dois valores (duas linhas horizontais retas) de acordo com a variação da pré-carga; ou seja, assim que o valor estiver no patamar superior, significa que a carga aplicada está sendo dividida entre o parafuso – pré-carregado – e a junta, aumentando o valor do coeficiente contra falha por fadiga uma vez que a amplitude das tensões alternantes vai diminuir.

A abordagem para o coeficiente de segurança dos fusos será realizada em um trabalho futuro via métodos dos elementos finitos, visto que os fusos não são peças comerciais, sendo de grande valia realizar-se uma abordagem mais rebuscada, em que os valores de tensão sejam mais exatos, acarretando em uma maior confiabilidade e na possibilidade de trabalhar com coeficientes de segurança menores. Além disso, são peças que não dispõem de uma grande variedade de dimensões possíveis, uma vez que dependem da geometria da bancada, comprometendo o método analítico iterativo.

Em suma, conclui-se que pré-tensionando os parafusos com as porcentagens de pré-carga indicadas na Tabela 02, serão obtidos coeficientes de segurança para os parafusos suficientes para o funcionamento da bancada de testes, ou seja, seguindo as especificações do projeto, as uniões fixadoras resistirão às cargas aplicadas durante o número de ciclos desejado.

REFERÊNCIA

[1] Norton, R. L. Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada. 4ª edição, 2013.