

ANÁLISE DE FALHA EM PARAFUS DO PINO-REI¹

Daniel Rodrigues²

Everton Pizzio³

Telmo Roberto Strohaecker⁴

Resumo

Este trabalho visa determinar as causas que levaram à ruptura os parafusos de um Pino-Rei utilizado no acoplamento do veículo trator ao semi-reboque de um caminhão. Para encontrar a origem da falha uma análise visual detalhada foi realizada sobre o pino e os parafusos. Além da inspeção visual, também foram desenvolvidas análises das superfícies de fratura em lupa de baixo aumento e em microscópio eletrônico de varredura, caracterização metalográfica, análise química e ensaios de microdureza. A análise nos parafusos mostrou marcas de praia nas superfícies das fraturas evidenciando a falha por fadiga. O parafuso escolhido para a caracterização metalográfica foi o que apresentou maior superfície de propagação de fadiga, pois se supõe que seja o primeiro no qual nucleou o processo. O fundo dos filetes apresenta raio de concordância adequado e não foram observadas descontinuidades tais como marcas de ferramenta. A fim de se avaliar as condições de serviço do conjunto de fixação (Pino-Rei / Parafusos) o trabalho teve continuidade com um estudo da pré-carga necessária para o bom desempenho da junta parafusada.

Palavras-chave: Fadiga; Parafusos; Falha; Pino-rei.

FAILURE ANALYSIS OF KING-PIN SCREWS

Abstract

The present work aims to determine the causes of the failure of the screws of a king-Pin used on the coupling of the traction vehicle and the truck trailer of a truck. To determinate the failure origin, detailed visual analysis were performed in the pin and the screws. Besides the visual inspection, it was also developed fracture surfaces analysis in low magnification stereoscope and Scanning Electron Microscope (SEM), metallographic characterization, chemical analysis and microhardness tests. The screws presented beach marks on the fracture surfaces evidencing a fatigue failure. The metallographic characterization indicated the presence of cracks in the bottom of the screw threads after the one that failed. The screw chosen for metallographic characterization was the one that presented the largest fatigue crack propagation, because it was supposed that this was the first screw in which the fatigue process started. The bottom of the screw threads presented adjusted concordance radius and no discontinuities as tool marks were detected. To evaluate the work conditions of the fastening assembly (king-Pin / screws), this work was followed by a study of the necessary torque to achieve a good performance of the screw joint.

Key words: Failure analysis; King-Pin; Screws.

¹ *Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ*

² *Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais (PPGEM) - UFRGS*

³ *Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais (PPGEM) – UFRGS*

⁴ *Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais (PPGEM) - UFRGS*

1 INTRODUÇÃO

Na atual conjuntura do país, o transporte rodoviário, além de ser o principal meio de transporte brasileiro, assumiu também o papel de ser o meio mais eficaz e econômico no transporte de cargas. Por uma malha rodoviária de aproximadamente 1,6 milhões de quilômetros e por 1,576 milhões de veículos circulam cerca de 63% de toda produção nacional. Tal importância do modal rodoviário eleva, contudo, o número de acidentes automobilísticos. A grande maioria desses acidentes ainda é proporcionada por falhas humana e por imprudência no trânsito, no entanto, uma parcela considerável é decorrente de más condições das estradas e por falhas mecânicas. Acidentes com veículos de carga são geralmente graves e ocasionam um número elevado de vítimas. As falhas catastróficas em caminhões podem trazer como consequência desde grandes danos econômicos até perdas humanas. Outro agravante são os danos ambientais que podem ocorrer pelo derramamento da carga, pois muitos veículos transportam produtos classificados como perigosos.^[1]

A integridade estrutural dos veículos de carga deve ser garantida pela confiabilidade do projeto, pelo bom desempenho dos componentes em serviço e por uma manutenção criteriosa e periódica.

No presente trabalho será abordado o caso de análise de falha dos parafusos de um Pino-Rei utilizado no acoplamento do veículo trator ao semi-reboque de um caminhão de carga. O objetivo do estudo é analisar se o colapso do sistema ocorreu por problemas do material dos parafusos, se foi alguma falha de fabricação dos mesmos ou se ocorreu negligência nos procedimentos padrões de manutenção.

A Figura 1 mostra a região onde se localiza o Pino-Rei nos veículos de carga e a Figura 2 apresenta um desenho esquemático do sistema de acoplamento dos parafusos ao Pino.

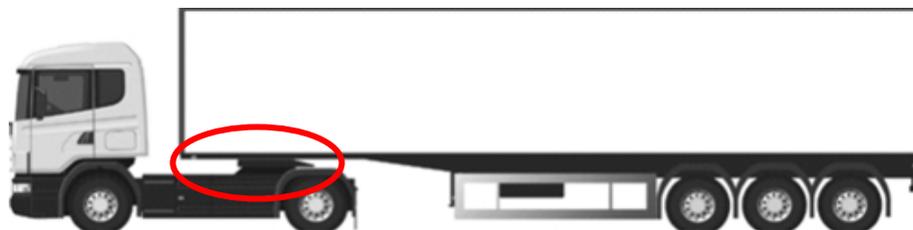


Figura 1. Desenho esquemático indicado o posicionamento do Pino-Rei nos caminhões

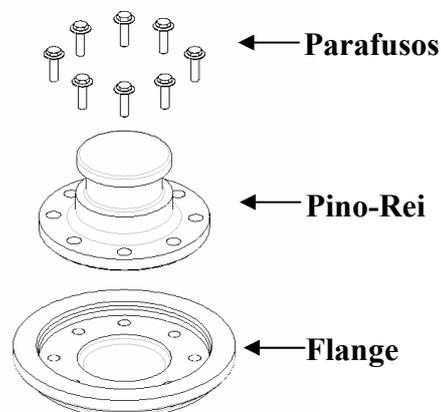


Figura 2. Desenho esquemático mostrando a maneira como os parafusos são conectados ao pino.^[2]

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foi analisado o caso de falha dos parafusos fraturados em serviço utilizados em um Pino-Rei que serviu para o acoplamento do veículo trator e o semi-reboque de um caminhão de carga. O pino e os parafusos analisados estão mostrados na Figura 3.



Figura 3. Imagem mostrando o Pino-Rei (esquerda). Parafusos fraturados analisados no estudo (direita).

A metodologia empregada para análise da falha seguiu a recomendação pela bibliografia.^[3-5] O trabalho teve início com a seleção das partes rompidas e a coleta de dados do projeto junto ao fabricante dos componentes. Posteriormente, realizou-se um exame visual e em lupa de baixo aumento das peças, seguido da seleção, identificação, preservação e limpeza das fraturas e amostras. Depois de selecionado o parafuso mais representativo da falha estabeleceu-se o exame microscópico da sua superfície de fratura em microscópio eletrônico de varredura. O estudo teve continuidade com a preparação das amostras para análise metalográfica, determinação das durezas do componente e obtenção da composição química do material.

O parafuso escolhido para a realização das análises foi o que apresentou maior superfície de propagação de fadiga, pois se supõe que seja o primeiro no qual nucleou o processo. A dureza dos parafusos foi determinada através de um ensaio de microdureza vickers realizado com carga de 200 gf e a composição química do material foi analisada via espectrometria de emissão ótica.

Um estudo da pré-carga para a junta parafusada foi desenvolvido a fim de se avaliar se as condições de serviço do conjunto de fixação (Pino-Rei / Parafusos) estavam de acordo com o especificado pelo fabricante.

Dados de projeto dos parafusos segundo o fabricante

- Limite de escoamento: 1000-1200 MPa
- Dureza superficial: 400-550 HV₁
- Dureza no núcleo 290-390 HB
- Camada: 0,1-0,25 mm
- Material: 19MnB 4n. DIN 1654
- Torque recomendado: 190 Nm

3 RESULTADOS

Análise Visual

Para melhor andamento do estudo, os furos do Pino-Rei foram identificados conforme o esquema da Figura 4. A análise visual mostrou muitas distorções, presença de amassamento e marcas de aperto oriundas do torque, conforme mostra a Figura 4. Notou-se maiores deformações nos furos identificados como B e H.

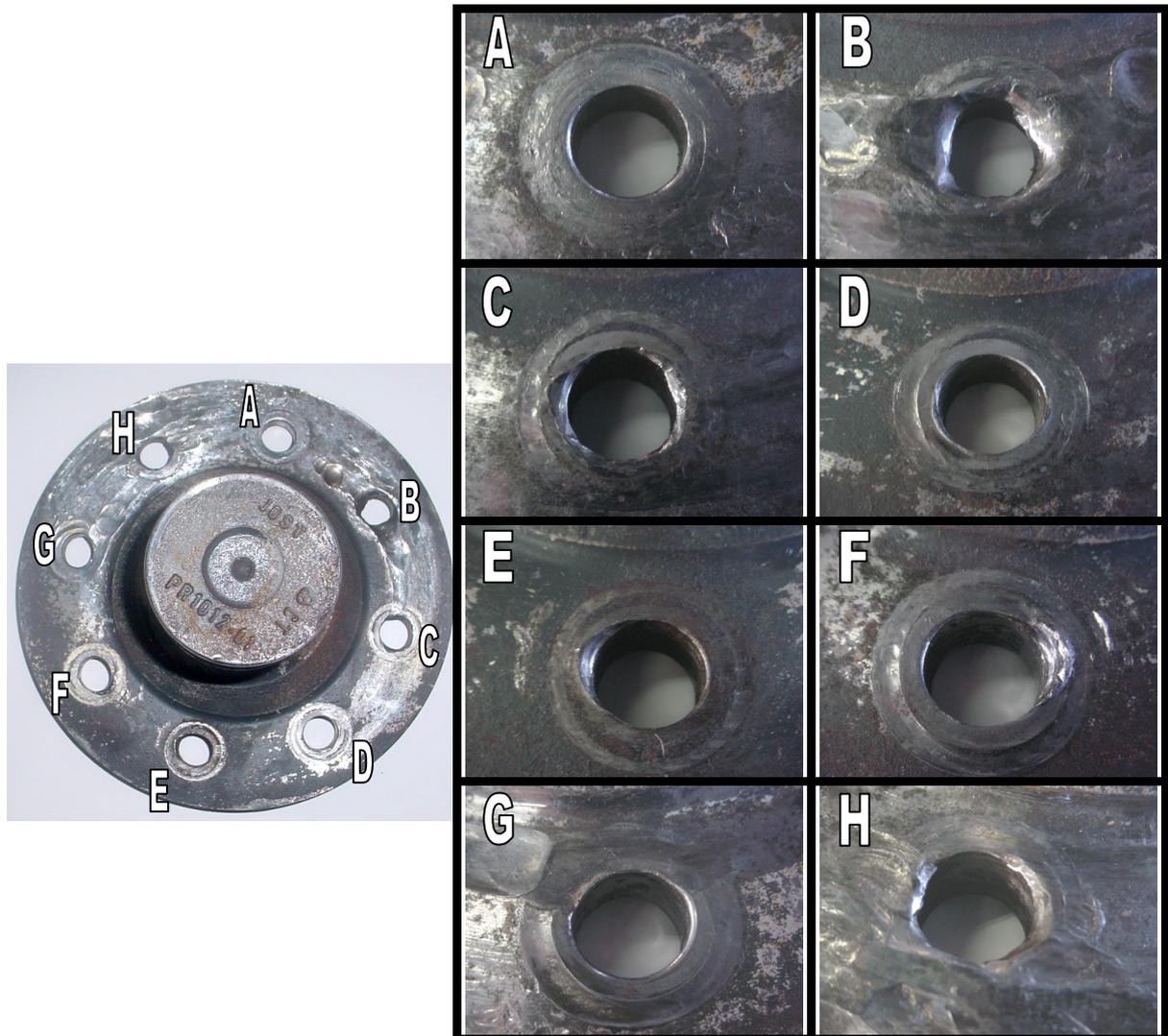


Figura 4. Detalhes dos furos do Pino-Rei.

Análise das Superfícies de Fratura

A análise dos parafusos mostrou marcas de praia nas superfícies das fraturas, evidenciando falha por fadiga (Figura 5). Análise da Superfície de Fratura em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) mostrou a presença do micromecanismo de fratura intergranular nas bordas dos componentes, como mostra a Figura 6.

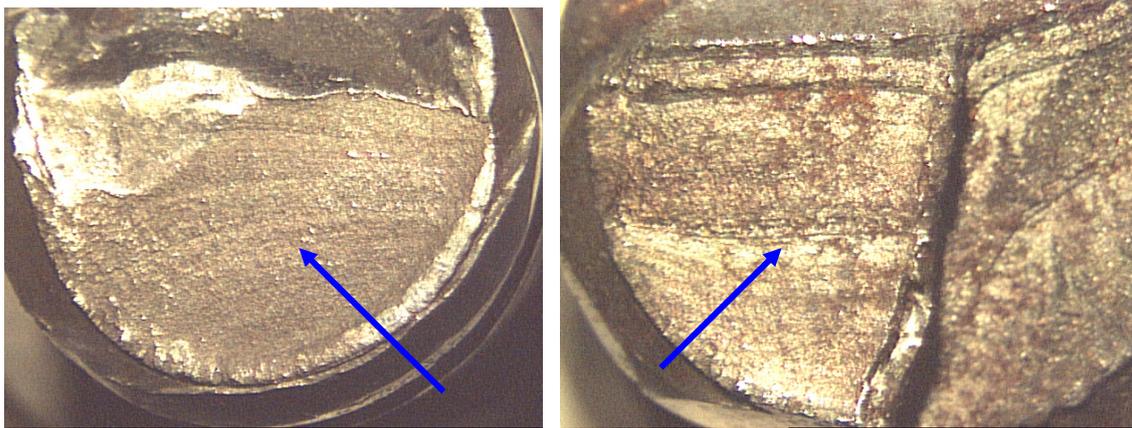


Figura 5. Superfície de fratura dos parafusos. Detalhe: marcas de praia.

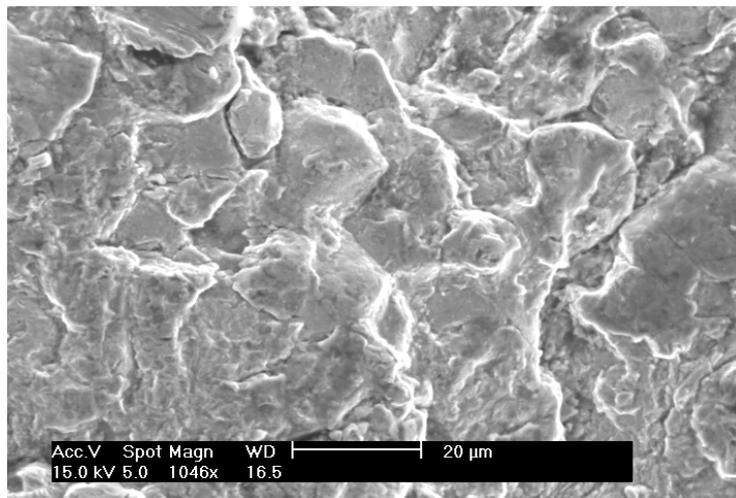


Figura 6. Imagem mostrando a presença do micromecanismo de fratura intergranular nas bordas da superfície de fratura dos parafusos.

Análise Metalográfica

A análise metalográfica indicou microestrutura martensítica no núcleo e também na região da fratura (Figura7). Observou-se a presença de uma camada cementada nos filetes do parafuso, mostrada na Figura 8.

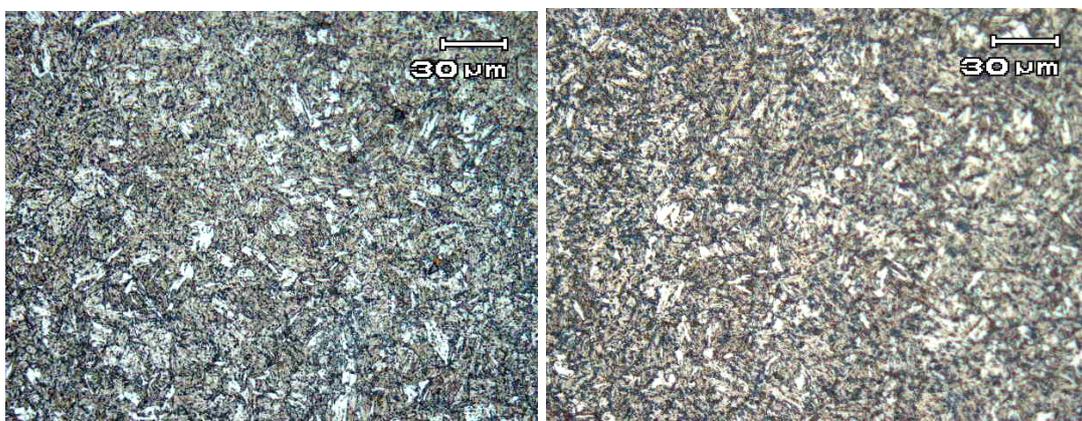


Figura 7. Microestrutura martensítica no núcleo e na região da fratura, respectivamente.

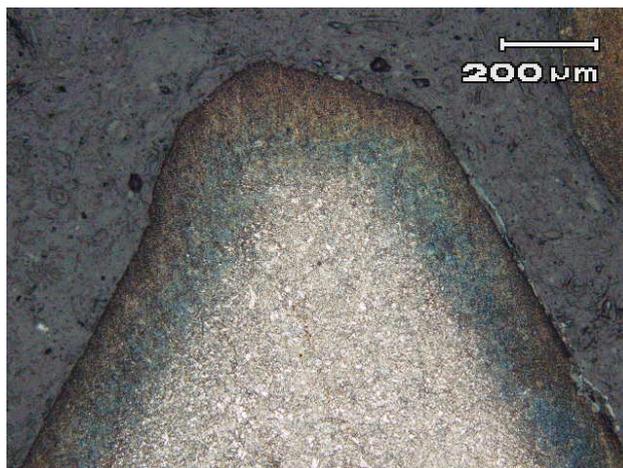


Figura 8. Micrografia mostrando a camada cementada em um dos filetes do parafuso.

Análise Química

Os parafusos foram fabricados a partir de aço de composição química similar a do 19MnB4 (DIN 1654).

Tabela 1. Resultado da análise química no parafuso.

Elemento (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Al	B	Ti
Amostra	0,21	0,06	0,99	0,007	0,01	0,35	0,09	0,026	0,0020	0,036
19MnB4 DIN 1654	0,17- 0,24	0,40 máx	0,80- 1,15	0,035 máx	0,035 máx	-	-	0,02	0,0008- 0,0050	-

Ensaio de Microdureza

Através do perfil de microdureza observou-se uma dureza superficial em torno de 415 HV com profundidade de cerca de 0,1 mm (limitada no gráfico pela linha vermelha). A dureza no núcleo da peça é de aproximadamente 340 HV.

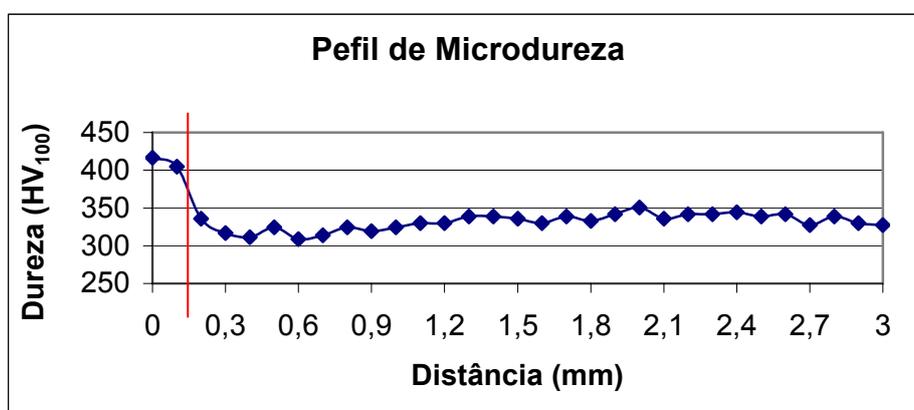


Figura 9. Perfil de microdureza partindo do fundo de um dos filetes e seguindo em direção ao núcleo do parafuso.

ESTUDO DA PRÉ-CARGA PARA A JUNTA PARAFUSADA

Levando em consideração informações do fabricante do Pino e dos Parafusos foi desenvolvido um cálculo para avaliar se o torque recomendado está de acordo com o especificado pela literatura.

Shigley e Mischke^[6] recomendam para uma junta parafusada que sofre carregamento cíclico, em termos do torque aplicado, uma pré-carga de 60% da resistência de prova S_p , que em geral representa 85% da tensão de escoamento. As especificações padrões para parafusos, conforme ASTM, determinam quantidades mínimas para S_p e tensão de ruptura, onde o valor da pré-carga é representado por:

$$F_i = \begin{cases} 0,75A_t S_p & \text{para conexões não - permanentes} \\ 0,90A_t S_p & \text{para conexões permanentes} \end{cases}$$

onde A_t é a área da secção resistente do parafuso.

Considerando uma conexão permanente com carregamento cíclico, a junta parafusada do Pino-Rei, segundo cálculos baseados na literatura,^[6-8] necessita de uma pré-carga de 66,19 kN, que resulta em um torque mínimo de 185 Nm.

4 DISCUSSÕES

Acidentes com veículos de carga são geralmente graves, podem ocasionar um número elevado de vítimas e trazer como consequência, desde grandes danos econômicos e agravantes ambientais até perdas humanas.

A leitura deste trabalho indica que a falha ocorreu por fadiga dos parafusos que não apresentaram resistência adequada em serviço. Como não foram observadas variações metalúrgicas capazes de evidenciar a falha do sistema, o colapso pode estar ligado a fatores como erros de instalação ou à falta de manutenção.

A análise visual dos furos do Pino-Rei mostrou marcas de aperto que sugerem o adequado procedimento de montagem, no entanto, observou-se deformações acentuadas em alguns furos, indicando processo de afrouxamento da junta durante operação. A fim de se proporcionar uma maior vida útil ao conjunto do Pino-Rei, que é de importância fundamental na estrutura dos caminhões de carga, é extremamente necessário que os usuários sigam rigorosamente as instruções de operação e manutenção recomendadas pelos fabricantes.

Cálculos realizados no estudo aferiram que o torque mínimo especificado pelo fabricante está de acordo com os valores recomendados pela literatura. Os fabricantes destes tipos de conjuntos de fixação sugerem, ainda, que a cada 50.000 km rodados o torque dos parafusos deva ser verificado.

5 CONCLUSÃO

O conjunto de análises realizado neste estudo permite concluir que:

- As marcas de praia observadas sobre as superfícies de fratura dos parafusos indicam que a falha ocorreu por fadiga.
- Há micromecanismos de fratura intergranular junto ao início da falha, explicado pela camada cementada.
- As características analisadas estão de acordo com a especificação do fabricante.

- Os parafusos foram obtidos a partir de um aço similar ao 19MnB4 (DIN 1654) cementado até uma profundidade de 0,1 mm, temperado e revenido com dureza superficial em torno de 415 HV.
- O fundo dos filetes apresenta raio de concordância adequado e não foram observadas descontinuidades tais como marcas de ferramenta.
- A junta parafusada necessita de um torque mínimo de 185 Nm.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio do CNPq e da CAPES, através da concessão de bolsas de mestrado e doutorado e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais (PPGEM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Agradecemos também ao Laboratório de Metalurgia Física, desta mesma universidade, pelo apoio e disponibilidade de suas instalações para desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 MELO, R. P., **Avaliação da Estabilidade Lateral em Conjuntos de Veículos de Carga**. Dissertação de Mestrado, PUC-PR, Curitiba, 2004.
- 2 Disponível em www.jost.com.br. Acesso em fevereiro de 2006.
- 3 CASSOU, C, A., **Metodologia de Análise de Falha**, Dissertação de Mestrado, PPGEM, UFRGS, Porto Alegre, 1999.
- 4 STROHAEKER, T. R. **Fadiga e análise de falhas**, Porto Alegre, 2004.
- 5 STROHAEKER, T. R. **Mecânica da Fratura**, Porto Alegre, 2005.
- 6 SHIGLEY J. E., Mischke C. R., **Mechanical Engineering Design**, 6th edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 2001.
- 7 PIZZIO, E., **Avaliação da Vida em Fadiga de Uniões Parafusadas**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. PROMEC/UFRGS. Porto Alegre. 2003.
- 8 GRIZA, Sandro. **Efeito do Torque na Vida em Fadiga de Uniões Parafusadas**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. DEMET/UFRGS. Porto Alegre. 2000.