



Análise de falha em haste de válvula de controle de vazão

Tatiana Conceição Machado Barretto¹, Claudio Cassio Lima¹, Mário Cezar Alves da Silva², Rodrigo Estevam Coelho², Maria Dorotéia Costa Sobral²

¹Aluno de Graduação em Engenharia Industrial Mecânica – IFBA. Bolsistas do CNPq e-mail: tatibarretto@ifba.edu.br, claudiocassio@ifba.edu.br

²Professor IFBA. e-mail: mario@ifba.edu.br, roesco@ifba.edu.br, doroteia@ifba.edu.br

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo estudar os aspectos topográficos da fratura para analisar a falha catastrófica ocorrida numa haste de bomba alternativa utilizada em sistema de bombeamento de Ureia numa empresa do polo petroquímico de Camaçari-Ba. As análises das causas da falha foram realizadas através da interpretação e caracterização da superfície fraturada, buscando identificar pontos característicos que precedem a falha como: estrição, alongamento, marcas de praia, marcas radiais, defeitos pontuais, corrosão, processo de fabricação. O material da haste foi identificado por análise química. As propriedades mecânicas foram verificadas por ensaio de tração. A corrosão por pontos na haste foi avaliada através do ensaio por líquido penetrante. Para avaliação da superfície de fratura, utilizou-se microscopia ótica e macroscopia. A haste é um aço baixa liga classificado como AISI 4140 temperado e revenido, com limite de escoamento médio de 700 MPa, de acordo com o especificado para a operação. A trinca teve início no sulcado da haste (concentrador de tensões). De acordo com as macrografias da região fraturada e aplicando os ensaios não destrutivos, pode-se concluir que, a fratura das hastes ocorreu devido a corrosão por pontos, causada pelo meio agressivo (UREIA) e acelerado pelo estado de tensão (tração) cíclico.

Palavras-chave: Bomba alternativa, Ensaios Não Destrutivos, Haste, Fadiga

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de riscos e de confiabilidade tem sido um importante fator de preocupação e desafio para a indústria e sociedade nas últimas décadas. As técnicas de análise de riscos e confiabilidade têm-se mostrado poderoso instrumento para a tomada de decisões gerenciais. Estas técnicas auxiliam no gerenciamento das atividades relativas ao ciclo de vida do projeto, possibilitando a implementação das políticas que minimizem os custos de operação, manutenção e inspeção de sistemas industriais, mantendo os níveis de segurança demandados pela sociedade. Um aspecto relevante em análise de riscos é quando se utiliza análise de árvore de falhas (FTA), a análise do tipo e efeito de falha (FMEA) e Diagrama de Causa e Efeito (Filho, 2006;).

A importância de se analisar as falhas envolvidas com máquinas rotativas, tanto na manutenção quanto na operação e engenharia ocorre quando temos falhas repetitivas do equipamento, falhas que resultaram em perdas de produção ou falhas que causaram risco de acidentes ou agressão ambiental, na qual o processo de análise deve ser mais detalhado. Esse processo é chamado por muitos nomes, dependendo da indústria: Eliminação de Defeitos, Análise de Ocorrências Anormais, Relatório de Não Conformidade etc. Considera-se que a falha é repetitiva se o tempo médio entre falhas do equipamento é menor que a média da planta (Afonso, 2002).

A Análise de falhas consiste em interpretar as características de um sistema ou componente deteriorado para determinar porque ele não mais executa sua função com segurança. Uma análise de falhas que não serve de subsídio para um conjunto de ações corretivas tem utilidade nula. Por outro lado, se não for possível determinar as causas físicas da falha não será possível introduzir melhorias no sistema (Afonso, 2002; Shigley, 2005, Collins, 2006, Parrington, 2002).

As falhas por fadiga são muitas vezes confundidas com as falhas de fraturas frágeis, mas as superfícies que sofreram fadiga apresentam características típicas. A marca de praia é o aspecto macroscópico mais característico de uma fratura por fadiga. Elas surgem como consequência de alterações no ciclo de tensões. A partir da identificação dessas marcas em uma superfície fraturada se



pode mais facilmente afirmar que se trata de uma fratura por fadiga (Cetlin et. al.,1977; Afonso, 2002).

No presente trabalho será analisada a partir das macrografias das áreas fraturadas das hastes da bomba alternativa de uma empresa do Pólo Petroquímico de Camaçari-BA, conforme pode ser vista na Figura 1: a identificação do tipo de falha; as marcas presentes na superfície fraturada, os esforços solicitantes predominantes e as causas que levaram o surgimento da fratura e os meios para evitar a repetição das falhas.



Figura 1- Bomba alternativa da empresa do pólo petroquímico de Camaçari-BA.

2. ANÁLISE VISUAL DA FALHA

É muito comum uma análise visual de uma fratura ser feita antes de qualquer outro tipo de método ser utilizado. A partir da análise da superfície, muitas informações da fratura podem ser coletadas, como o tipo de tensão, o tipo de falha que a provocou, se ocorreu em alto ou baixo ciclo, por exemplo.

A bomba alternativa, ilustrada na Figura 1, é utilizada no bombeamento da amônia [NH₃]. Durante a operação ocorreu desprendimento do pistão do 2º cilindro e vazamento de amônia para o ambiente. As hastes que fixam o pistão fraturaram, conforme pode ser visto na Figura 2. O funcionamento da bomba envolve um movimento alternativo do pistão no cilindro, onde em cada golpe do pistão, um volume de líquido é bombeado, caracterizando assim um esforço tipo cíclico tração-tração nas hastes e compressão no êmbolo do pistão.

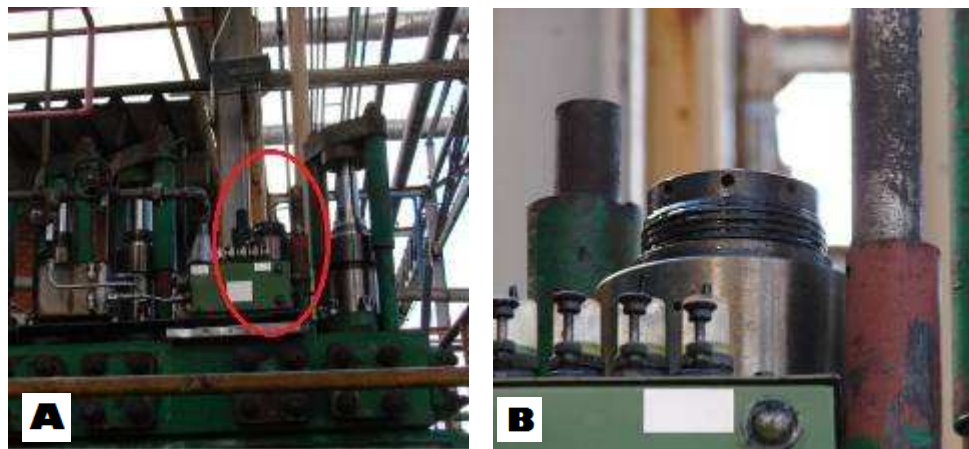


Figura 2 –A)Bomba alternativa mostrando as hastes fraturadas. B) Hastes apresentando corrosão.

A partir da deformação do êmbolo, onde seu eixo ficou curvo, conforme visto na Figura 3, pode-se comprovar que o esforço atuante no êmbolo é de compressão. No entanto, a curvatura do êmbolo indica uma possível mudança no esforço predominante numa das hastes. A haste da esquerda sofreu um esforço cíclico de tração conforme seria esperado no projeto. Contudo, a haste da direita sofreu um esforço tipo flexão unidirecional, onde a região mais próxima ao êmbolo ficou submetida à tração e a oposta a um esforço de compressão, conforme pode ser vista nas Figuras 3, 4, 5 e 6.



Figura 3 - Êmbolo mostrando o aspecto da falha (A) e a curvatura tomada durante a falha das hastes (B).

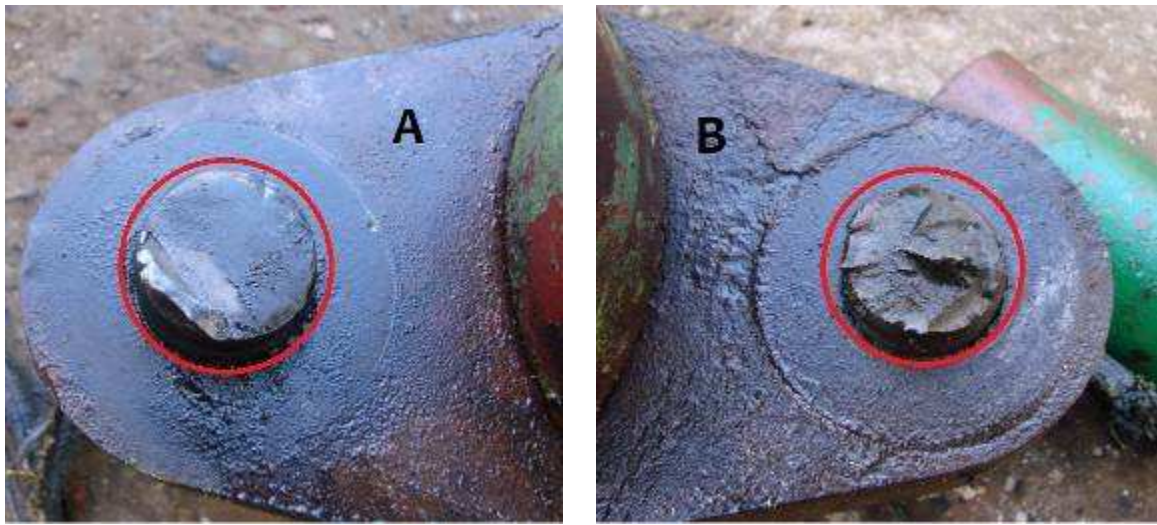


Figura 4 – Ampliação da área fraturada das hastes mostrando o aspecto característico da falha por fadiga: A) esforço por tração – baixa tensão nominal; B) esforço de flexão unidirecional - alta tensão nominal.

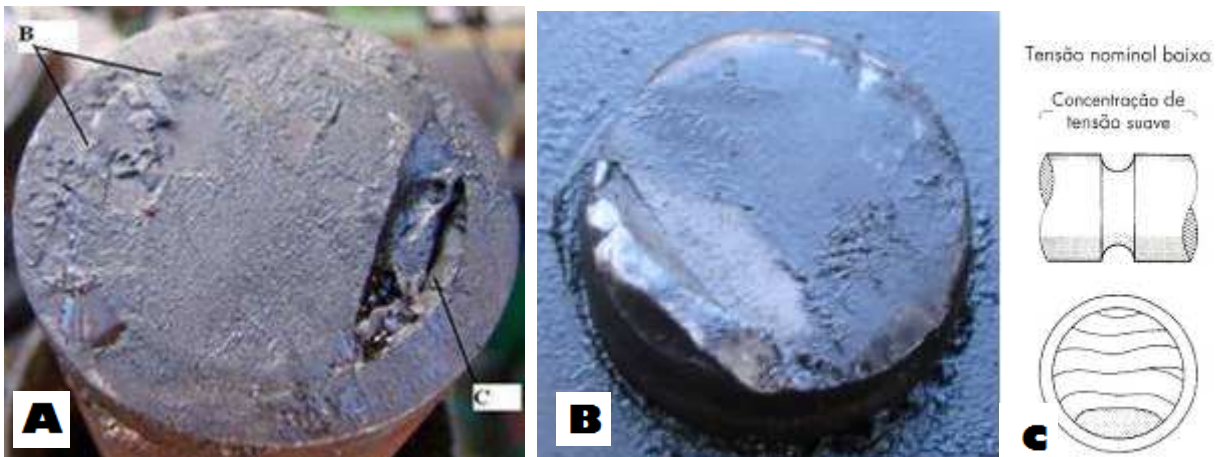


Figura 5 – a) Fratura vista do eixo: Aspecto característico da falha por fadiga pelo esforço de tração, apresentando pequena área de fratura final. B) Região de início da falha. C) Região de ruptura final. b) Fratura Vista da base. c) Representação de aspecto de fratura ocasionada por baixa tensão nominal. Fonte: (Cetlin, 1988)

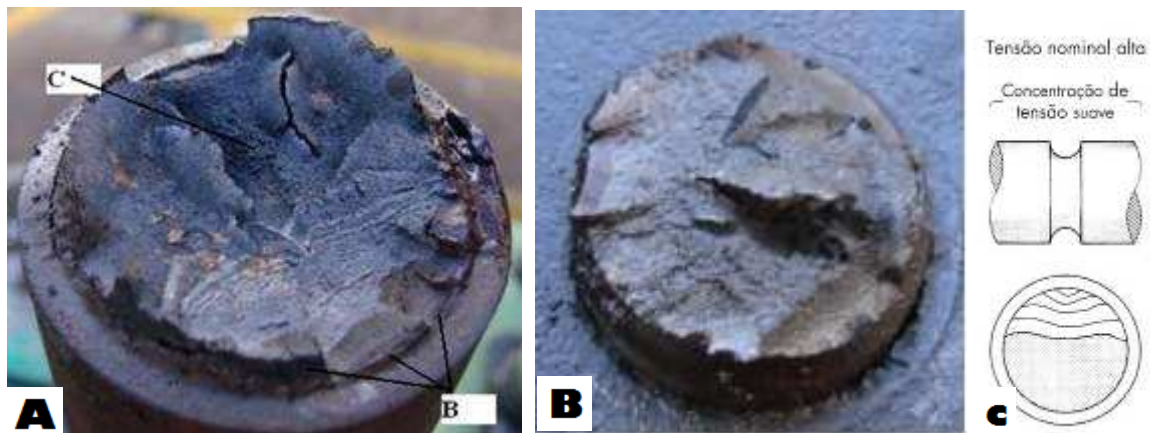


Figura 6- a) Aspecto característico da falha por fadiga, apresentando varias frentes de trinca, apresentando grande área de fratura final. B) Região de início da falha. C) Região de ruptura final. b) Fratura Vista da base. c) Representação de aspecto de fratura ocasionada por alta tensão nominal. Fonte: (Cetlin, 1988)

Analizando a fratura da haste esquerda da Figura 4, a que sofreu tração, observa-se que se trata de uma fratura causada por falha por fadiga. A análise visual mostra que: a superfície é lisa e apresenta oxidação e a região de fratura final é brilhante e bem menor que a área fraturada total. A Figura 5 evidencia as superfícies superior e inferior da fratura desta haste. A morfologia da fratura é típica de uma fratura por fadiga causada por esforços de tração-tração, com tensão nominal baixa. Não foi observada na região da fratura marcas de praia (conchas) nítidas nesta haste. As letras B e C indicam o início de trinca e a região de fratura final, respectivamente.

Analizando a fratura da haste direita da Figura 4, a que sofreu flexão unidirecional, observa-se uma clássica fratura causada por falha por fadiga. A análise visual mostra que: a superfície apresenta marcas de praia até o início da ruptura final; a área da fratura final representa quase a metade da área da fratura total, significando que uma alta tensão nominal de fratura. A Figura 6 evidencia as superfícies superior e inferior da fratura desta haste. A morfologia da fratura é típica de uma fratura por fadiga causada por esforços de flexão unidirecional, pois existe uma clara região de tração com marcas de cisalhamento (marcas de catracas) que junto com as marcas de praia indicam a região de origem e seu desenvolvimento, respectivamente. O formato em “M” das marcas de praia indicam grande concentração e surgimento de trincas nas regiões sob esforços de tração.

A ausência de marcas de praia pode indicar que não houve alteração no ciclo de tensões durante a vida da haste até a fratura final, como mostra a Figura 5. Combinando a análise das Figuras 3, 4, 5 e 6 se percebem que pelo sentido da curvatura do êmbolo a fratura da haste esquerda ocorreu primeiro, sob esforço de tração, e em seguida a haste à direita, sob esforço de flexão unidirecional.

Um aspecto que chama muita atenção na análise das hastes é a presença de corrosão por pitting, Figura 7, já que na maioria das vezes a corrosão está presente no conjunto de fatores que levam um componente a falhar. A corrosão acelera o processo de aparecimento de trincas. É a corrosão formada por pequenos buracos no metal, típico de uma corrosão por ponto ou pitting, uma das formas mais destrutivas, causando perfurações no material (Cetlin, 1988; Shreir, 1993).



Figura 7- Corrosão na haste

3. INSPEÇÃO POR ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS – END

Os Ensaio Não Destrutivos (END) são técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos sem que se faça necessário causar algum dano a integridade do material que está sendo analisado para não prejudicar uma possível utilização posterior das peças analisadas, realizados sobre peças acabadas ou semi-acabadas para a detecção de falha de homogeneidade ou defeitos, através de princípios físicos definidos. Estes tipos de ensaios são executados em etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção de materiais e equipamentos, constituindo assim uma das principais ferramentas de Controle de Qualidade, o que contribui para a redução de custos, aumento da qualidade e confiabilidade da inspeção, prevenção de acidentes e dar informações para reparo.

Encontrar falhas na estrutura dos corpos de prova ou de outros componentes que são submetidos a análise é o principal objetivo dos Ensaio Não Destrutivos. Os ENDs possuem métodos capazes de dar informações que dizem respeito ao teor dos defeitos de um determinado produto e possibilita a monitoração da degradação em serviço de componentes, estruturas e equipamentos. Essas falhas podem se localizar na superfície da trinca ou em uma parte mais interna do material, se apresentando descontinuidades, trincas e vazios.

O método a ser utilizado depende muito das propriedades físicas do material. Os Ensaio Não Destrutivos mais utilizados são: Ensaio visual, partículas magnéticas, ultra-som, radiografia (Raio X e gama), correntes parasitas, análise de vibrações, termografia, emissão acústica, estanqueidade, análise de deformações e líquido penetrante.

A fim de se descobrir a existência de descontinuidades superficiais e internas os Ensaio Não Destrutivos utilizados foram ultrassom e líquido penetrante. Sendo o primeiro para a detecção de trincas internas, e o segundo para descontinuidades superficiais.

3.1. Líquido Penetrante

O ensaio por líquidos penetrantes tem por finalidade a detecção de descontinuidades abertas de superfícies de materiais sólidos e não porosos, podendo ser realizado em metais ferrosos, não ferrosos, ligas metálicas, cerâmicas, entre outros materiais. Apresenta-se muito útil e com satisfatórios resultados, sendo um dos mais utilizados e melhores métodos para a detecção de falhas na superfície de um material, possibilitando uma rápida análise e um fácil procedimento a ser realizado.

O ensaio por líquido penetrante foi realizado em algumas etapas. Primeiro, foi necessário realizar a limpeza das hastes, essa é uma importante fase do ensaio, pois é essencial que o material seja bem limpo, caso contrário, o líquido não penetra no defeito. Em seguida, aplica-se o removedor, para remoção da sujeira remanescente. Com a peça seca o penetrante é aplicado sobre a superfície, e se



espera o tempo mínimo e 5 minutos, Figura 8.a. Uma camada fina e uniforme de revelador é aplicada, Figura 8.b, logo depois de alguns minutos, as trincas surgiram em forma de marcas vermelhas, Figura 8.c.

O ensaio feito nas hastes utilizou um penetrante visível, tipo II, de cor vermelha, para que as indicações produzam um bom contraste com o fundo branco do revelador. Utilizando-se um penetrante pós-emulsificável hidrofílico, após passado o tempo de penetração, foi retirado o excesso de penetrante e aplicado o emulsificador e hidrofílico e o enxague com jato d'água.

O revelador, do tipo aquoso, foi aplicado por aspersão. Depois da aplicação, as peças foram secas com secador de cabelo. Após a aplicação do revelador, duas das doze hastes da bomba analisadas apresentaram trincas no mesmo ponto, o ponto de mudança de diâmetro da haste (concentrador de tensões), como mostrado na Figura 9.



Figura 8: a) Hastes com o líquido penetrante já aplicado. b) Depois da remoção do penetrante o revelador está sendo aplicado. c) Hastes com o revelador já aplicado.

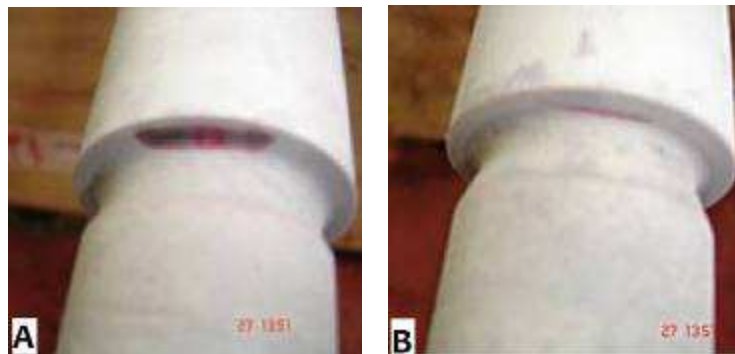


Figura 9: Trincas que surgiram nas hastes após a aplicação do revelador.

3.2. Ultrassom

Ultrassom são ondas acústicas que estão acima do limite audível, entre 0,5 e 25 Mhz. O ensaio não destrutivo por Ultrassom baseia-se no simples princípio de reflexão de ondas acústicas quando encontram um obstáculo em sua direção de propagação. Este tipo de ensaio é realizado quando se deseja detectar discontinuidades internas nos materiais.

O ensaio foi realizado da seguinte forma: foi gerado um pulso ultrassônico e transmitido por um transdutor espacial que estava encostado nas hastes, Figura 10.a. Havendo pulsos refletidos por uma discontinuidade, eles são capturados pelo transdutor e convertidos em sinais eletrônicos e mostrados na tela LCD, Figura 10.b.

Trato-se de um ensaio manual, logo foi utilizada a técnica por pulso-eco devido a facilidade de operação e manuseio. Os aparelhos utilizados foram um transdutor do tipo monocristal, emissor e receptor. A medição foi feita quando o transdutor não estava emitindo sinal durante a chegada de um eco, pois neste momento as ondas ultra-sonicas têm de ser pulsantes para que o cristal possa receber os ecos de retorno nos intervalos de pulsação.

Quando há uma descontinuidade próxima da superfície, um eco é retornado antes que a emissão termine, neste ensaio o sinal da descontinuidade não foi percebido. A partir dos dados coletados durante o ensaio, não foram encontradas descontinuidades internas em nenhuma das hastes analisadas.

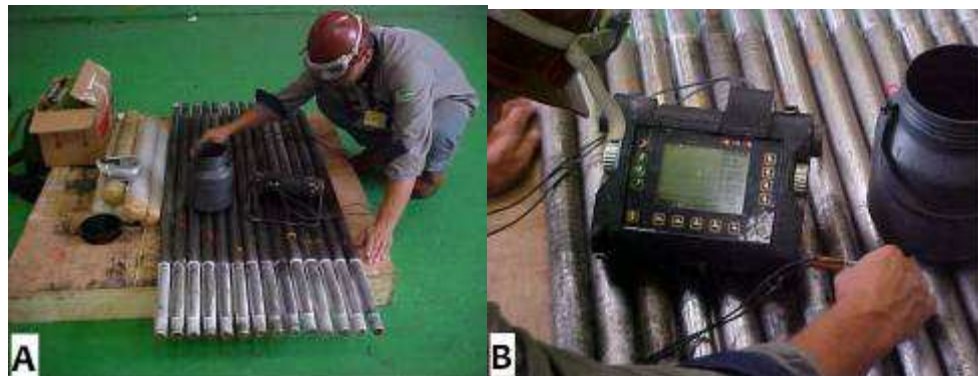


Figura 10 - a) Transdutor espacial acoplado nas hastes; b) Monitor onde os pulsos refletidos são capturados e convertidos em sinais eletrônicos.

6. CONCLUSÕES

A partir dos dados coletados com a realização dos ensaios de ultrassom e de LP, observou-se que não foram encontradas trincas no interior das peças, mas algumas apresentaram trinca no sulcado da haste de fixação superior, que é um concentrador de tensões.

Já pela análise visual, foi observado pontos de corrosão na região que ocorreu a fratura. Sendo fadiga é a tendência de um metal fraturar quando sujeito a solicitações mecânicas alternadas ou cíclicas, quando um componente é sujeito a esforços cíclicos, movimento alternativo da bomba, num meio, presença de amônia, que o pode atacar química ou eletroquimicamente, verificam-se condições para que ocorra corrosão sob fadiga.

Devido aos fatos observados, pode-se concluir que o início da trinca está relacionado a porosidade causada pelo meio e intensificada pelo estado de tensão cíclico, ou seja, pela tração.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFBA, Campus Salvador pelo apoio técnico e a Fapesb/SECTI, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Bahia/Secretaria de Ciência e Tecnologia e Inovação pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

AFONSO, L. O.A. **Análise de falhas de máquinas rotativas – Alguns pontos importantes**. Petróleo Brasileiro SA - IEV, 2002

CETLIN, P.R., SILVA, P.S.S e PENNA, J. A.. **“Análise de fraturas”**. Associação Brasileira de Metais, ABM, São Paulo, 1988.

COLLINS, Jack. A. **“Projeto mecânico de elementos de máquinas: uma perspectiva da falha”**; tradução Pedro Manuel Cala Lopes Pacheco... [et al.]; Rio de Janeiro: LTC, 2006.



FILHO, S. S. **Análise de árvore de falhas considerando incertezas na definição dos eventos básicos.** Tese. COPPE/UFRJ, 2006

PARRINGTON, P.E. **“Fractography of metals and plastics”**. Vol. 2. 2002.

SHIGLEY, J.E., MISCHKE, C.R. e BUDYNAS, R.G., **“Projeto de Engenharia Mecânica”**. Tradução João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar – 7ª ed. - Porto Alegre: Bookman, 2005.

SHREIR, L. L., JARMAN, R.A. e BURSTEIN, G.T.. **“Corrosion”**. Vol. 2, Corrosion Control. Butterworth heinemann. Jordan Hill, Oxford, 1993.