

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DO DESGASTE NO PAR TRIBOLÓGICO RISER/ENRIJECEDOR

Monique Alves Franco de Moraes, monique_afm@hotmail.com
Rosenda Valdés Arencibia, arvaldes@mecanica.ufu.br
Sinésio Domingues Franco, sdfranco@ufu.br

Resumo: As atividades de extração de petróleo em alto-mar necessitam de dutos que sejam um meio eficiente de condução de petróleo, gás e água entre as cabeças dos poços e as plataformas. Para isso, é preciso que tenham um comportamento dinâmico-estrutural adequado para que desempenhem sua função corretamente e tenham uma longa vida útil em sua aplicação. Estes dutos flexíveis (risers) aliam a sua flexibilidade estrutural, o que lhes permite suportar o movimento das correntes marítimas e a pressão elevada das águas profundas, com a vantagem de rapidez de seu lançamento e recolhimento. Nota-se que, durante um determinado tempo de aplicação, o material que constitui os risers sofre grande desgaste na região do enrijecedor (bend-stiffener), pois são submetidos à ação do movimento alternado das correntes marítimas e da pressão elevada das águas profundas. Assim, para obter uma previsão confiável da vida útil dos materiais presentes em amostras do par tribológico riser/enrijecedor, este trabalho visa desenvolver e avaliar metodologias para a quantificação do desgaste nestas amostras, após testadas em um tribômetro capaz de realizar ensaios de desgaste em escala real. Para tanto, serão realizadas as seguintes etapas: revisão bibliográfica, a qual abrange o estudo não apenas dos trabalhos sobre as técnicas empregadas para a medição de desgaste, como também das normas que respaldam os laboratórios para que possam realizar ensaios e emitir resultados confiáveis (NBR ISO/IEC 17025 (2005) e ISO/TAG 4/WG 3 (2008); desenvolvimento de metodologia de avaliação de desgaste de amostras de risers e enrijecedores com base na variação de volume; desenvolvimento de metodologia de avaliação de desgaste de amostras de risers com base na variação de espessura; comparação entre os métodos de quantificação da taxa de desgaste analisados; realização de ensaio de desgaste em novas amostras de riser e enrijecedor e avaliação do desgaste através da nova metodologia desenvolvida.

Palavras-chave: desgaste por deslizamento, linhas flexíveis, taxa de desgaste, metodologias

1. INTRODUÇÃO

No ano de 1966, através do relatório de Jost (1966), o termo tribologia, que origina do grego (tribo – atritar e logos - estudo), foi definido como a “ciência e tecnologia de superfícies interagindo em movimento relativo e das práticas e assuntos e relacionados” (HUTCHINGS, 1992).

Basicamente, a tribologia inclui o estudo da lubrificação, atrito e desgaste resultante da interação entre corpos em movimento relativo.

Depois de muitos anos de investigação em tribologia, concluiu-se que o fenômeno de atrito não corresponde simplesmente às propriedades intrínsecas do material, mas também depende de diversos fatores específicos do par tribológico envolvido, bem como os fatores do processo em estudo (STOLARSKI, 1990 *apud* CANGUNDO, 2009).

O atrito promove desgaste e dissipação de energia e é considerado como fonte principal de desperdício de materiais e perda de desempenho mecânico. Estatísticas realizadas em países desenvolvidos indicam que de 1 a 5 % do PIB são gastos pela ação direta ou indireta do desgaste (CZICHOS, 1992 *apud* MORAES, 2005). Pode-se dizer que a lubrificação é um método utilizado para controlar o desgaste e reduzir o atrito (HUTCHINGS, 1992).

Em muitas aplicações de engenharia, tal como na exploração de petróleo em alto-mar, o fenômeno de atrito e desgaste, destacadamente o desgaste por deslizamento, é uma fonte de perda de eficiência e aumento de custos. Este desgaste está presente nos dutos na região de contato com o material do enrijecedor. Estes dutos, denominados de dutos flexíveis ou risers, transportam petróleo, gás e água entre as cabeças dos poços e as plataformas.

Os risers, conforme a Fig. 1, são constituídos por camadas de materiais poliméricos com diferentes geometrias e materiais, intercaladas com fitas de aço enroladas helicoidalmente, formando, assim, um compósito que alia alta resistência à corrosão e flexibilidade de movimentação.



Figura 1- Estrutura de um duto flexível (CHEN, 1995 *apud* LADEIRA, 2011).

A camada interna de termoplástico assegura a contenção do fluido transportado (óleo bruto, gás e água), ao passo que a externa oferece proteção contra corrosão, abrasão e proteção mecânica. As fitas helicoidais de aço proveem a resistência mecânica (SOUZA, 2000 *apud* LADEIRA, 2011).

Para evitar a flexão exagerada destes dutos são utilizados enrijecedores (ou *bend-stiffeners*), conforme a Fig. 2, instalados aproximadamente à 30 m abaixo da conexão com a plataforma, que suavizam os raios de dobramento, gerados pelos movimentos causados por ondas e correntes marítimas (LADEIRA, 2011).

A Figura 2 representa uma plataforma com os dutos flexíveis e os enrijecedores.



Figura 2- Visão geral do projeto da plataforma P50 (RAMOS NETO, 2010 *apud* LADEIRA, 2011).

As plataformas apresentam um movimento vertical gerado pelas ondas do mar, num ciclo aproximado de dez segundos. No momento da ascensão, o duto flexível é tracionado e deforma no sentido longitudinal (RAMOS NETO, 2010 *apud* LADEIRA, 2011).

Para alcançar os poços, que não estão localizados na linha vertical da plataforma, os *risers* sofrem flexão a partir do enrijecedor. Além disto, as correntezas fazem com que oscilem lateralmente. Este movimento aumenta a pressão de contato no lado solicitado do enrijecedor, onde o valor das forças normais pode alcançar dezenas de toneladas (RAMOS NETO, 2010 *apud* LADEIRA, 2011).

A Figura 3 mostra esquematicamente o duto flexível, o enrijecedor e os sentidos de movimentação que causam a interação entre eles. Considerando as características de movimentação do duto em relação ao enrijecedor, pode-se afirmar que se trata de um sistema tribológico com baixas velocidades e altas cargas, num contato deslizante entre pares poliméricos no eixo vertical, submersos em água do mar (LADEIRA, 2011).

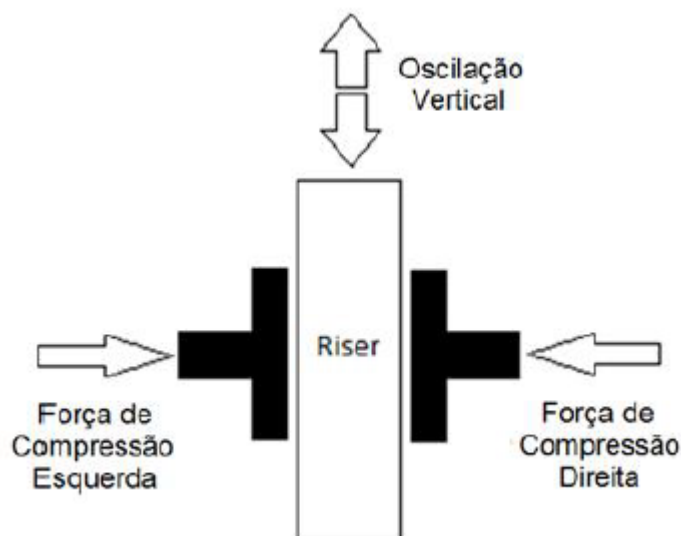


Figura 3- Representação esquemática do tribossistema adotado para simular o contato entre *riser* e enrijecedor (PAES *et al.*, 2012).

Visto isso, pode-se dizer que os *risers*, mesmo sendo capazes de absorverem as movimentações impostas por correntes marítimas, podem sofrer desgaste por deslizamento devido ao seu movimento em relação à estrutura das plataformas e ao contato entre sua camada polimérica externa e a superfície do *bend-stiffener*, o qual é constituído de polímero na parte de contato com o duto flexível.

Como consequência, este desgaste pode destruir localmente o revestimento polimérico dos *risers*, usualmente confeccionado em polietileno (PE), nylon 11 (PA) ou poliuretano (PU) com diferentes valores de dureza (MORAES, 2005).

Neste contexto, o Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste (LTAD) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) concebeu, projetou e construiu um tribômetro capaz de realizar ensaios de desgaste em escala real no tribossistema da Fig. 3, reproduzindo, assim, os esforços, os movimentos e as condições do ambiente idênticos às condições reais de aplicação.

O equipamento desenvolvido, conforme a Fig. 4, denominado Tribômetro de Grandes Dimensões (TGD), é constituído de quatro cilindros hidráulicos, sendo os dois verticais (7) responsáveis pela reprodução do movimento alternado vertical do *riser* e os dois horizontais (1) fazem a aplicação dos esforços normais à linha. A posição desses cilindros hidráulicos é monitorada e controlada através de sensores do tipo LVDT (*linear variable differential transformer*) (6). Todo o sistema foi montado em uma estrutura metálica (2) bastante rígida, projetada para gerar mínimas deformações em ensaios com carga normal máxima (1 MN). Essas forças são monitoradas através de células de carga (3), montadas na direção de cada uma das forças verticais e horizontais. Tanto as amostras do material do enrijecedor (5), quanto a do *riser* (8) são submersas em um tanque (9), cuja temperatura é monitorada e controlada, de tal forma a reproduzir as condições de campo (PAES *et al.*, 2012).

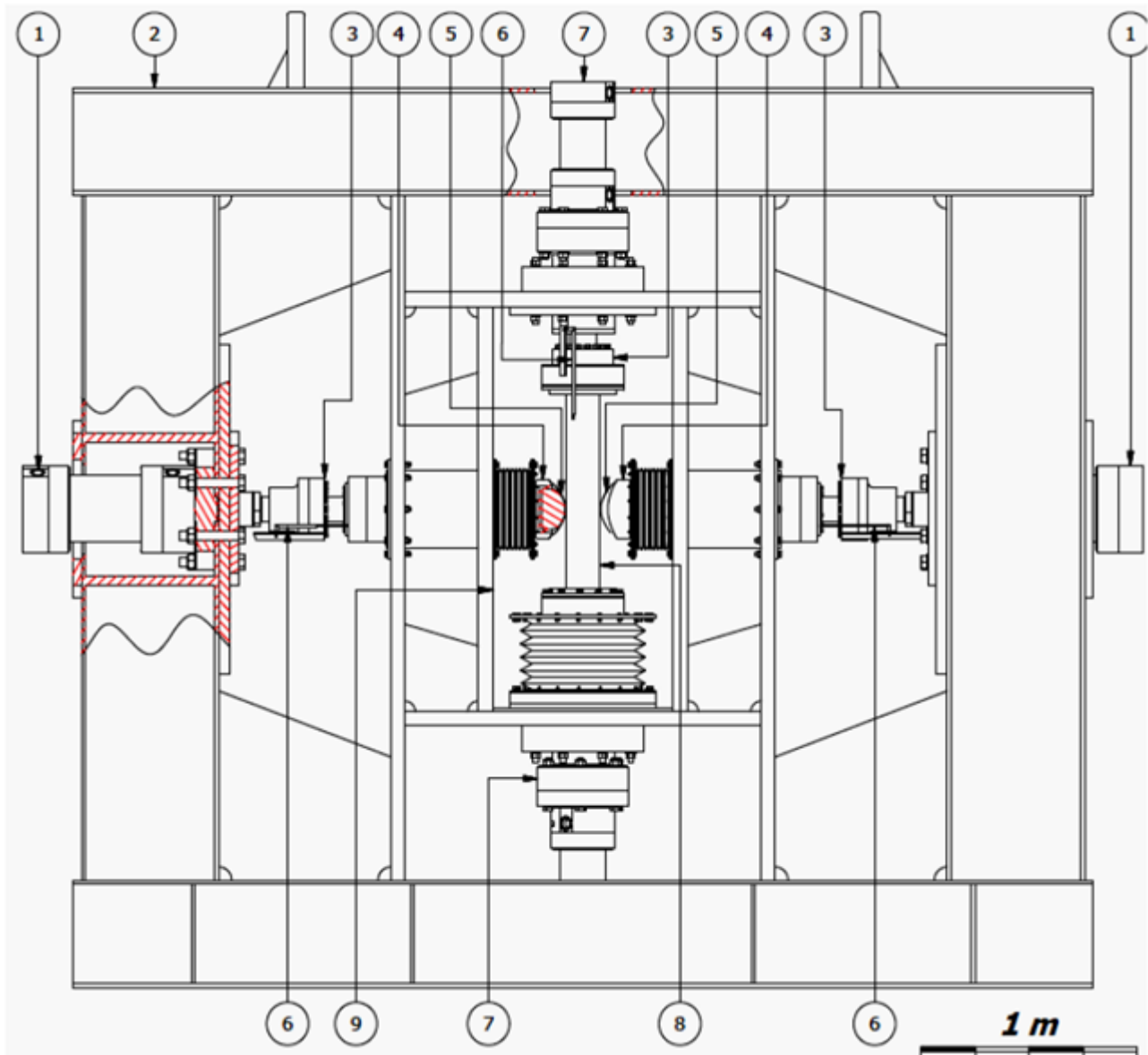


Figura 4- Representação esquemática do tribômetro construído. (1) cilindro hidráulico horizontal, (2) estrutura em aço, (3) célula de carga para medição da força normal, (4) porta-amostra, (5) amostra do enrijecedor, (6) sensor de posição do tipo LVDT, (7) cilindro hidráulico vertical, (8) amostra do *riser* e (9) reservatório de água (PAES *et al.*, 2012).

Após os ensaios de desgaste por deslizamento, reproduzidos através deste tribômetro, as amostras ensaiadas, tanto dos dutos quanto dos enrijecedores, serão analisadas quanto à perda de material devido ao desgaste. E, para que se possa quantificar o desgaste nestas amostras, este trabalho visa desenvolver e avaliar metodologias para tal análise.

Portanto, através da medição do desgaste, este projeto possibilitará alcançar uma previsão confiável de vida útil dos materiais envolvidos no par tribológico *riser*/enrijecedor e, assim, avaliar o desempenho deste par polimérico em sua aplicação.

Para tanto, a metodologia adotada para este trabalho é apresentada a seguir.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho será desenvolvido através das seguintes etapas:

2.1. Etapa A: Estado da Arte / Revisão Bibliográfica

A primeira etapa deste trabalho consiste na revisão bibliográfica, a qual abrange os trabalhos que abordam as técnicas empregadas para a medição de desgaste. A compreensão destas é a base para a classificação das vantagens e

desvantagens de cada uma, auxiliando, assim, na escolha das potenciais metodologias de avaliação de desgaste a serem empregadas nas amostras de *risers* e enrijecedores, ensaiadas no tribômetro (TGD).

Esta etapa também inclui o estudo e a revisão das normas técnicas vigentes e que respaldam os laboratórios para que possam realizar ensaios e emitir resultados confiáveis. São elas: NBR ISO/IEC 17025 (2005) e ISO/TAG 4/WG 3 (2008).

A NBR ISO/IEC 17025 (2005) prevê que, após a realização de qualquer medição, a incerteza deve ser calculada, utilizando-se métodos apropriados. Quando não for possível utilizar todos os critérios estatísticos, deve-se, ao menos, realizar uma estimativa razoável desse parâmetro, para se ter noção da dispersão dos valores medidos.

A expressão da incerteza de medição juntamente aos resultados de medição de desgaste garante a confiabilidade da medição e a possibilidade de comparação dos resultados obtidos por diferentes métodos ou equipamentos.

Já o documento “Guide to the expression of uncertainty in measurements” (popularmente conhecido como GUM), publicado em 1993, padroniza os procedimentos de avaliação e de expressão da incerteza de medição. Este guia apresenta critérios e regras gerais para expressar e combinar as incertezas individuais que afetam o processo de inspeção e, assim, determinar a incerteza de medição, que pode seguir vários níveis de exatidão e complexidade. Pela sua extrema relevância, o referido documento foi traduzido no Brasil por um grupo de especialistas. E a sua edição mais recente data de 2008.

2.2. Etapa B: Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação de Desgaste de Amostras de *Risers* e Enrijecedores com base na Variação de Volume

Nesta etapa, será desenvolvida uma metodologia de avaliação do desgaste das amostras de *risers* e enrijecedores utilizando uma MMC (Máquina de Medir por Coordenadas) do fabricante Zeiss, modelo CONTURA G2 RDS/XXT, adquirida pelo LTAD recentemente, tendo como base os procedimentos adotados nos trabalhos revisados na Etapa A. Este equipamento será utilizado para avaliar o desgaste com base na variação volumétrica.

Será elaborada uma estratégia de medição, que consistirá em escolher: o comprimento da haste e do diâmetro da ponta de apalpação; a velocidade de medição; e o número de linhas de varredura e o número de pontos a serem apalpados.

A variação de volume, obtida pela diferença entre os volumes das amostras antes e após os ensaios de desgaste, será avaliada através do *software* de volume da MMC, o qual calcula o volume da superfície varrida a partir da comparação com o seu modelo CAD (importado pelo *software* de volume).

Também, a variação de volume será avaliada através do programa que foi desenvolvido, utilizando-se o *software* Matlab. Este programa, para estimar o volume, utiliza a nuvem de pontos varridos pela MMC, os quais estão disponíveis em um arquivo de texto gerado pela máquina. Os valores de volume calculados por estes dois programas serão comparados, no intuito de validar o programa desenvolvido em Matlab.

Como parte desta metodologia, haverá a expressão dos resultados de medição de desgaste juntamente com os valores das incertezas a eles associadas, conforme prevê o ISO/TAG 4/WG 3 (2008).

2.3. Etapa C: Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação de Desgaste de Amostras de *Risers* com base na Variação de Espessura

Esta etapa consiste na análise do desgaste através da técnica do dessecamento, que é caracterizado por um processo destrutivo, feito através de um corte longitudinal na amostra de *riser*. Posteriormente ao corte, serão realizadas medições de espessura ao longo da trilha de desgaste, utilizando-se um micrômetro analógico para medições externas, no intuito de se estimar a real perda de espessura devido ao desgaste. A avaliação e a apresentação da incerteza será efetuada, conforme prevê o ISO/TAG 4/WG 3 (2008).

2.4. Etapa D: Comparação entre os Métodos de Quantificação da Taxa de Desgaste por Avaliação da Variação de Volume e de Espessura

Esta etapa é caracterizada pela comparação entre os métodos descritos nas Etapas B e C. O intuito é de verificar as potencialidades e as limitações de cada método.

2.5. Etapa E: Realização de Ensaio de Desgaste em Novas Amostras de *Riser* e Enrijecedor e Avaliação do Desgaste

Após a realização do ensaio de desgaste por deslizamento em uma nova amostra de *riser* e em duas novas amostras de enrijecedor (amostras do lado direito e esquerdo do *riser*), o desgaste no par tribológico *riser*/enrijecedor será avaliado através da nova metodologia desenvolvida. Esta metodologia será selecionada após o desenvolvimento da Etapa D.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANGUNDO, E. M. **Avaliação experimental da condição tribológica no processo de corte por arranque de apara.** 2009. 92 f. Dissertação de mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- HUTCHINGS, I. M., 1992, Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. 1ª ed. Edward Arnold (1992). 273 pg.
- ISO/TAG 4/WG 3, 2008, “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”, Geneva Switzerland, 131p.
- LADEIRA, G. M. V. **Instrumentação de um tribômetro para ensaios de deslizamento em dutos flexíveis.** 2011. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia.
- MORAES, J. O. 2005. **Avaliação da Resistência ao Desgaste Abrasivo de Risers Flexíveis – Proposição de uma Nova Metodologia de Teste.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 142 pg.
- NBR ISO/IEC 17025. Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração, 20 p, Rio de Janeiro, Brazil, 2005.
- PAES, M. T. P.; RAMOS NETO, F. F.; PIRES, R. R.; FREITAS, D. S.; LADEIRA, G. M. V.; FRANCO, V. L. D. S.; FRANCO, S. D. Desenvolvimento de infraestrutura e metodologia para ensaios de desgaste por deslizamento em dutos flexíveis. In: 67º Congresso ABM – Internacional, 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Congresso.**
- ZEISS, C. Catálogo da Máquina de Medir por Coordenadas, modelo Contura® G2 RDS. Disponível em: (<[http://www.zeiss.com.br/C1256D640025A151/EmbedTitelIntern/CONTURAG2RDSeaktiv/\\$File/CONTURA_G2_RDS_aktiv.pdf](http://www.zeiss.com.br/C1256D640025A151/EmbedTitelIntern/CONTURAG2RDSeaktiv/$File/CONTURA_G2_RDS_aktiv.pdf)>). Acesso em: Fevereiro 2012.