

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DO DESGASTE NO PAR TRIBOLÓGICO RISER/LINER

Monique Alves Franco de Moraes, Universidade Federal de Uberlândia, monique_afm@hotmail.com

Sinésio Domingues Franco, Universidade Federal de Uberlândia, sdf franco@ufu.br

Rosenda Valdés Arencibia, Universidade Federal de Uberlândia, arvaldes@mecanica.ufu.br

Resumo. Os dutos flexíveis (risers), utilizados na exploração de petróleo em alto-mar, podem sofrer desgaste na região do enrijecedor (bend-stiffener), especificamente no liner, devido ao movimento alternado da plataforma em função de correntes marítimas, às condições operacionais e ao clima. O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de duas metodologias para quantificar esse desgaste em amostras de risers e liners, possibilitando estimar a vida útil desses componentes. As metodologias desenvolvidas utilizam uma máquina de medir a três coordenadas (MM3C). E as amostras usadas neste trabalho foram testadas em um tribômetro capaz de realizar ensaios de desgaste por deslizamento em escala real. A primeira metodologia foi aplicada na estimativa da perda de espessura nas amostras de riser utilizando o software Calypso[®], enquanto que a segunda foi destinada à estimativa do desgaste volumétrico em amostras de liners por meio dos softwares Calypso[®], Dimension Volume[®] e Volume M, este último especialmente desenvolvido em Matlab[®]. Os resultados obtidos permitiram concluir que a metodologia desenvolvida para quantificação da perda de espessura do revestimento de risers utilizando uma MM3C é uma técnica viável e eficiente. Constatou-se, também, que o programa desenvolvido em Matlab[®] foi uma ferramenta eficaz na avaliação volumétrica das amostras de liners. A estratégia de medição com malha 1 mm x 1 mm foi considerada a mais adequada para estimar o volume de uma amostra de liner, com precisão e com o menor custo.

Palavras chave: taxa de desgaste, dutos flexíveis, metodologias de avaliação, MM3C

1. INTRODUÇÃO

Um novo conceito de *bend-stiffener* contempla a instalação de liners poliméricos feitos de material de sacrifício em poliuretano, que são inseridos no interior das trombetas metálicas dos enrijecedores (LEMOS *et al.*, 2004). Desta forma, o riser, nas condições de campo, é submetido ao contato e movimento relativo com o liner, o que ocasiona o desgaste dos materiais envolvidos.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver e aplicar metodologias para quantificar o desgaste em amostras do par riser-liner testadas em um tribômetro de grandes dimensões. A partir dessa avaliação do desgaste é possível fazer uma previsão confiável de vida útil dos materiais analisados.

2. METODOLOGIA

Para a avaliação do desgaste, foi utilizada uma máquina de medir a três coordenadas (MM3C) do tipo ponte móvel, fabricada pela Carl Zeiss, modelo Contura G2 RDS/XXT, com os softwares Calypso[®] 5.2 e Dimension Volume[®] 1.6 (Fig. 1).



Figura 1 - MM3C utilizada no desenvolvimento do trabalho, fabricada pela Carl Zeiss, modelo Contura G2 RDS/XXT

Esta máquina tem resolução de 0,2 μm e faixa nominal de medição de 1.000 mm, 1.200 mm e 600 mm para os eixos X, Y e Z, respectivamente. De acordo com o certificado de calibração, número 046/2012, a MM3C tem uma incerteza expandida linear de $0,7 + L/278 \mu\text{m}$ para um fator de abrangência $k=2,00$ e 95% de nível de abrangência para

os três eixos, onde L é o valor da coordenada medida em mm. O erro de apalpação é de $0,2 \mu\text{m}$. As medições foram realizadas em uma sala com temperatura ambiente de $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade entre 45% e 65%.

2.1. Metodologia para a estimativa da perda de espessura em amostras de *risers*

A avaliação do desgaste em amostras de *risers* foi baseada na redução de espessura de sua camada de proteção. Para tanto, após o ensaio de desgaste, esta camada foi cortada longitudinalmente, sendo que a seção obtida foi dividida no centro da trilha de desgaste, resultando nas amostras 1 e 2.

Neste trabalho, foram utilizados 196 pontos de medição distribuídos ao longo da trilha de desgaste na face externa, com espaçamento de 1,4 mm entre eles, totalizando um comprimento de avaliação de 273 mm, entre RI e RF (Fig. 2). A face interna foi medida de forma similar, garantindo-se que os pontos apalpados interna e externamente fossem opostos. Cada amostra foi medida três vezes em ambas as faces.

A espessura foi determinada como sendo a diferença entre os valores das coordenadas Y do ponto interno e de seu ponto externo oposto. Posteriormente, a perda de espessura, devido ao desgaste, foi obtida subtraindo a espessura da região desgastada da espessura da região não desgastada. E a taxa de desgaste foi calculada dividindo a perda de espessura pelo número de ciclos do ensaio de desgaste por deslizamento, que, no caso, foram 296 mil ciclos.

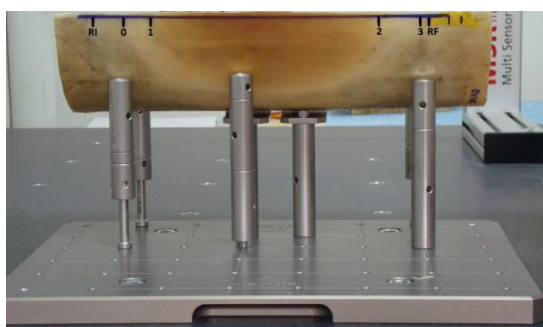


Figura 2 - Regiões analisadas: de RI a 0, região não desgastada superior; de 0 a 1 e de 2 a 3, correspondem às regiões desgastadas e expostas à água durante o teste; de 1 a 2, região desgastada central; de 3 a RF, região não desgastada inferior

2.2. Metodologia para a estimativa da perda volumétrica em amostras de *liners*

A avaliação do desgaste em amostras de *liners* proposta é baseada na redução de volume. Para tanto, antes do ensaio de desgaste, deve-se estimar o volume da amostra a ser ensaiada, e, após o ensaio, deve-se estimar o volume desta mesma amostra. Desta forma, a diferença entre estes valores de volume possibilita a quantificação da perda volumétrica.

Para estimar de forma precisa o volume, deve-se utilizar uma malha de pontos representativa da superfície de medição. Visto isso, o volume de uma amostra já desgastada de *liner* foi avaliado através da execução de diferentes estratégias (Tab. 1), variando-se a quantidade e a distribuição dos pontos apalpados sobre a superfície de interesse. Cada uma das estratégias de medição foi executada três vezes. O intuito disso foi possibilitar a seleção da melhor estratégia para a avaliação precisa do volume de *liners*.

Tabela 1 – Estratégias de medição de volume executadas na amostra de *liner*, testada durante 1.280 horas no tribômetro

Número de linhas	Distância entre linhas [mm]	Distância entre pontos ao longo da linha [mm]	Número de pontos total da malha
24	6	1	4.130
		0,5	8.270
48	3	1	8.283
		0,5	16.578
96	1,5	1	16.550
		0,5	33.126
143	1	1	24.833
		0,5	49.676
179	0,8	1	31.050
		0,5	62.102

Tabela 1 (Continuação) - Estratégias de medição de volume executadas na amostra de *liner*, testada durante 1.280 horas no tribômetro

Número de linhas	Distância entre linhas [mm]	Distância entre pontos ao longo da linha [mm]	Número de pontos total da malha
205	0,7	1	35.492
		0,5	70.989

3. RESULTADOS

Os resultados provenientes da aplicação das metodologias de avaliação do desgaste no par *riser-liner* são apresentados a seguir.

3.1. Avaliação do desgaste linear em uma amostra de *riser* testada durante 1.280 horas no tribômetro

A Figura 3 mostra os valores das taxas de desgaste ao longo da trilha de desgaste para as amostras 1 e 2.

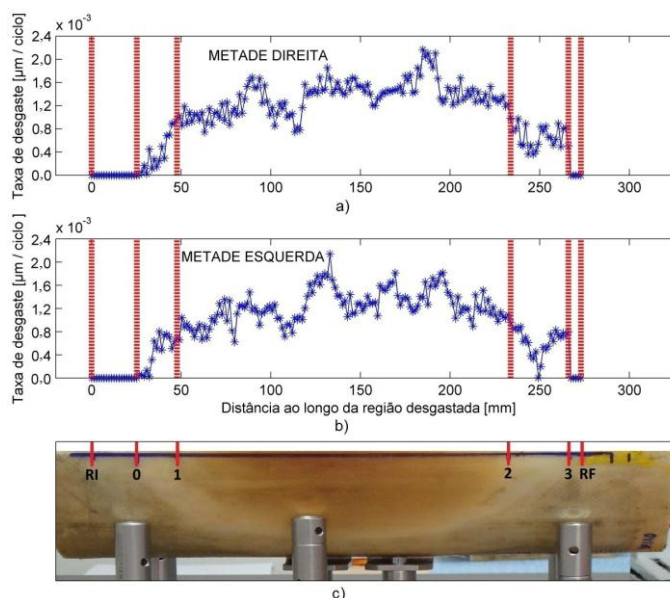


Figura 3 - Taxas de desgaste calculadas, a) amostra 2 (metade direita de uma seção da amostra de *riser*), b) amostra 1 (metade esquerda da mesma seção da amostra de *riser*) e c) localização das regiões analisadas nas amostras 1 e 2

Conforme a Figura 3, as taxas de desgaste na região intermediária foram superiores às obtidas nas regiões 0-1 e 2-3. Isto porque, a região central da amostra do *riser* esteve constantemente em contato com a parte interna da amostra do *liner*. Desta forma, as partículas de desgaste nesta região tiveram mais dificuldade de escapar do que aquelas formadas nas regiões que ora estiveram em contato com a amostra de *liner* e ora estiveram expostas à água.

Além disso, na região central, as trocas térmicas com a água são mínimas, o que pode levar a aumentos significativos de temperatura e, conseqüentemente, a um aumento da taxa de desgaste.

3.2. Avaliação do volume em uma amostra de *liner* testada durante 1.280 horas no tribômetro

Os valores de volume fornecidos pelo *software* Dimension Volume[®], após a execução das estratégias da Tab. 1, não foram condizentes com a estatística, já que, à medida em que se aumentou o número de pontos apalpados, os valores do volume, considerando vários ciclos de medição, não tenderam à estabilização. As oscilações dos valores estimados de volume por este *software* podem ser devido a erros sistemáticos do ajuste dos pontos (MORAES, 2013).

Então, foi desenvolvido um programa em Matlab[®], denominado Volume M, para calcular o volume a partir das coordenadas dos pontos apalpados com a MM3C, com o intuito de suprir as limitações do *software* Dimension Volume[®]. Os arquivos com as coordenadas teóricas e medidas dos pontos apalpados, após a execução das várias estratégias de medição, expressas na Tab. 1, foram inseridos e manipulados neste programa. Os resultados obtidos são mostrados na Fig. 4.

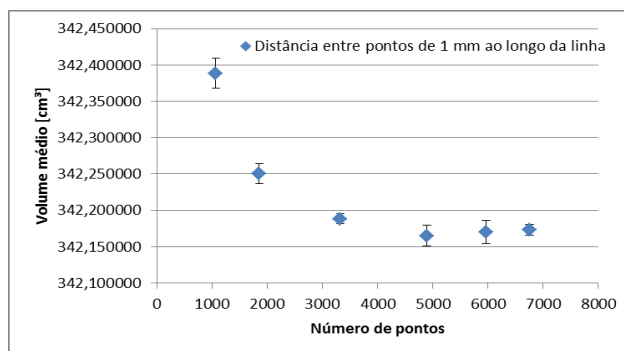


Figura 4 - Valores do volume da amostra desgastada de *liner*, obtidos com o programa Volume M e baseados na área de interesse selecionada, em função do número de pontos pertencentes à área, considerando as estratégias de medição da Tab. 1 que utilizam a distância entre pontos de 1 mm ao longo da linha

A Figura 4 mostra que a malha de pontos 1 mm x 1 mm (4.890 pontos analisados) apresenta a melhor estratégia até então. Isso é justificado porque o intervalo obtido, considerando o volume médio e a sua incerteza associada, com 95 % de probabilidade de abrangência, pertenceu à região de estabilidade dos valores de volume. Além disso, esse intervalo abrangeu praticamente todos os valores que podem ser atribuídos ao mensurando considerando os intervalos seguintes, que resultaram da execução das estratégias 0,8 mm x 1 mm (5.968 pontos analisados) e 0,7 mm x 1 mm (6.754 pontos analisados).

Também, o tempo de execução da estratégia 1 mm x 1 mm (19 h 17 min) é muito menor quando comparado ao tempo de execução das estratégias mais refinadas, bem como é menor que o tempo demandado na execução da estratégia 1 mm x 0,5 mm (9.261 pontos analisados e 43 h de medição), cujo valor de volume obtido pode ser considerado equivalente ao obtido a partir da estratégia 1 mm x 1 mm (MORAES, 2013).

4. CONCLUSÕES

No presente trabalho, foram desenvolvidas e testadas duas metodologias para a avaliação do desgaste por deslizamento no par tribológico *riser/liner*. Os resultados permitiram concluir que:

- a) A metodologia desenvolvida para quantificação da perda de espessura com a utilização de uma MM3C é uma técnica viável que permite avaliar o desgaste de amostras de *risers* de forma eficiente;
- b) A região central do *riser* apresentou os maiores valores de taxas de desgaste, sendo, portanto, determinantes na vida do revestimento polimérico do *riser*. Estes valores devem ser considerados na estimativa do tempo de vida dos dutos flexíveis em campo, bem como no dimensionamento dos dutos de tal forma que tenham uma expectativa de vida pré-estimada;
- c) A metodologia proposta para quantificação do volume de amostras de *liners* com a utilização de uma MM3C e o programa desenvolvido em Matlab[®] como ferramenta para calcular o volume a partir das coordenadas dos pontos apalpados permitiu avaliar o volume de forma eficiente;
- d) O *software* Dimension Volume[®] não pôde ser aplicado para avaliar o volume de amostras de *liners* devido ao fato de os resultados não terem apresentado uma tendência de estabilização;
- e) A estratégia de medição com malha 1 mm x 1 mm foi considerada a mais adequada para estimar o volume de uma amostra de *liner*, com precisão, confiabilidade e menor custo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PETROBRAS e ao CNPQ pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- LEMONS, C. A. D.; FILHO, L. L. L.; SANTOS, J. M.; CAPLLONCH, R. W.; MOTTA, A. M. R.; CUSTÓDIO, A. B.; MENICONI, L. C.; COSTA, L. C. S.; FONSECA, M. M. C.; ESCUDERO, C. C.; VARDARO, E.; PAES, M. T. P. Tratamento de danos em *risers* flexíveis na região do *bend stiffener*. In: **I Seminário de Engenharia Submarina**, 2004, Búzios, RJ.
- MORAES, M. A. F. **Desenvolvimento de Metodologias de Avaliação e Monitoramento do Desgaste no Par Tribológico *Riser/Enrijecedor***. 2013. 143 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG.