

Mauro Augusto Martins Júnior

**Manutenção e inspeção baseadas em risco
aplicadas a balsas de serviço *offshore*:
proposição de método para a tomada de
decisão**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio.

Orientadora: Prof.^a Maria Fatima Ludovico de Almeida

Rio de Janeiro
Dezembro de 2012



Mauro Augusto Martins Júnior

**Manutenção e inspeção baseadas em risco
aplicadas a balsas de serviço *offshore*:
proposição de método para a tomada de
decisão**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Metrologia pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof.^a Maria Fatima Ludovico de Almeida

Orientadora

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PUC-Rio)

Prof. Reinaldo Castro Souza

Departamento de Engenharia Elétrica (PUC-Rio)

Prof. Maurício Nogueira Frota

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PUC-Rio)

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 29 de dezembro de 2012

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e de seus orientadores.

Mauro Augusto Martins Junior

Graduado em Engenharia de Produção Industrial na Universidade Veiga de Almeida. Atualmente é engenheiro fiscal da Tecline Engenharia, empresa prestadora de serviços do setor naval.

Ficha Catalográfica

Júnior, Mauro Augusto Martins

Manutenção e inspeção baseadas em risco aplicadas a balsas de serviço *offshore*: proposição de método para a tomada de decisão / Mauro Augusto Martins; orientadora: Maria Fatima Ludovico de Almeida – 2012.

88 f.: il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Metrologia para a Qualidade e Inovação)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Inclui bibliografia e anexos

1. Metrologia – Teses. 2. Manutenção preditiva. 3. Análise de risco. 4. Confiabilidade. 5. Inspeção baseada em risco. 6. IBR. 7. Balsas de serviço *offshore*; 8. Tempo limite de vida; 9. TVL; 10. Teoria de decisão. I. Almeida, Maria Fatima Ludovico de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação. III. Título.

CDD: 389.1

Agradecimentos

À minha orientadora, Professora Maria Fatima Ludovico de Almeida, pelo apoio, estímulo e orientação acadêmica.

A Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação (PósMQI) e a todos os professores pela oportunidade de desenvolvimento profissional e acadêmico.

Em especial, ao Professor Reinaldo Castro Souza, pelo apoio na elaboração das análises estatísticas para a tomada de decisão.

Por último, quero agradecer à minha esposa e aos meus filhos, pelo apoio, incentivo e compreensão durante a elaboração desta pesquisa.

Resumo

Martins Jr, Mauro Augusto; Almeida, Maria Fatima Ludovico de. **Manutenção e inspeção baseadas em risco aplicadas a balsas de serviço offshore: proposição de método para a tomada de decisão.** Rio de Janeiro, 2012. 88 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação (Pós-MQI), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A Manutenção e Inspeção Baseada em Risco (IBR) compreende a utilização de ferramentas de cálculo de engenharia como análise estrutural por elementos finitos, análise de corrosão e fadiga, análise de risco e confiabilidade estrutural, de forma integrada, a fim de elaborar os planos de inspeção de maneira racional otimizada. No caso de inspeção de balsas para serviço *offshore*, particularmente da estrutura do convés principal da balsa, técnicas de análise de risco podem ser aplicadas para que se possam determinar os intervalos de inspeção de cada elemento da estrutura. Como resultado final, tem-se um plano de inspeção otimizado e aplicado à realidade estrutural da unidade. A presente dissertação tem por objetivo propor um método de predição baseado em IBR para aperfeiçoamento de processos de tomada de decisão referentes à manutenção de balsas para serviço *offshore* de uma grande empresa brasileira do setor de petróleo e gás natural. Apresenta-se um estudo de caso focalizando uma aplicação do método de predição em uma das balsas de serviço *offshore* da empresa – a Balsa de Serviço 3 (BS-3). Os resultados do estudo de caso permitem afirmar que a adoção de ferramentas de inspeção baseada em risco podem aumentar o TLV (Tempo Limite de Vida) das balsas de serviço *offshore*. Como consequência, os benefícios potenciais são: redução das incertezas associadas; identificação de avarias devido à deterioração estrutural; redução de custos de manutenção; e, principalmente, diminuição do tempo da paralisação das balsas de serviço.

Palavras-chave

Metrologia; manutenção e inspeção baseada em risco; MIBR; análise de risco; confiabilidade; inspeção baseada em risco; IBR; balsas de serviço *offshore*; tempo limite de vida; TLV; teoria de decisão.

Abstract

Martins Jr, Mauro Augusto; Almeida, Maria Fatima Ludovico de. (Advisor). **Risk-based maintenance and inspection applied to offshore service barges: proposition of a method for decision-making.** Rio de Janeiro, 2012. 88 p. MSc. Dissertation – Programa de Pós-graduação em Metrologia. Concentration Area: Metrology for Quality and Innovation, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Risk-Based Inspection (RBI) involves the use of engineering calculation tools such as finite element structural analysis, corrosion and fatigue analysis, risk analysis and structural reliability in an integrated framework, in order to develop inspection plans in a rational and optimized manner. RBI attempts to map the structure degradation curve, in deterministic or probabilistic way. Once defined the degradation curve for the different areas of the structure, risk analysis techniques are applied to determine inspection intervals concerning each element of the structure. As final result, it is possible to obtain an optimized inspection plan applied to the structural reality of the unit. The objective of this dissertation is to propose a prediction method, based on RBI, to improve the decision-making process focusing on maintenance of offshore service barges of a large oil and gas company in Brazil. It presents a case study concerning an application of this prediction method in one of the offshore service barges of this company – Offshore Service Barge 3 (BS-3). The results show that the adoption of preventive inspections can enlarge the TLV (Time Limit of Life) of this type of unit. As a consequence, the potential benefits are: reduction of uncertainties; identification of faults due to structural deterioration; maintenance costs reduction; and, decreasing of time breakdowns concerning barge services.

Keywords

Metrology; risk-based maintenance and inspection; RBMI; risk analysis; risk based inspection; RBI; offshore service barges; time limit of life; TLF; decision theory.

Sumário

1. Introdução.....	12
1.1 Definição do problema de pesquisa.....	15
1.2 Objetivos: geral e específicos.....	16
1.3 Motivação.....	17
1.4 Metodologia.....	18
1.4.1 Fase exploratória e descritiva.....	18
1.4.2 Pesquisa aplicada.....	19
1.4.3 Fase conclusivo-propositiva.....	20
1.5 Estrutura da dissertação.....	20
2. Análise de risco e teoria de decisão.....	22
2.1 Risco e incerteza.....	22
2.2 Análise de risco.....	24
2.3 Processo de análise de decisão.....	35
2.3.1 Identificação da natureza do problema.....	36
2.3.2 Identificação e análise das alternativas.....	37
2.3.3 Seleção do método de tomada de decisão.....	38
2.4 Considerações finais sobre o capítulo.....	39
3. Manutenção e inspeção baseadas em risco.....	41
3.1 Evolução das atividades de manutenção.....	41
3.2 Confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.....	43
3.3 Manutenção e inspeção baseadas em risco	45
3.3.1 Planejamento da manutenção: foco em instalações marítimas.....	52
3.3.2 Implementação da inspeção baseada em risco: foco em instalações marítimas.....	53
3.4 Nível de detalhamento dos processos aplicáveis na inspeção baseada em risco.....	55
3.5 Considerações metodológicas da adoção da MIBR.....	57
3.5.1 Análise crítica.....	58
3.5.2 Efeitos da manutenção preventiva.....	60
3.6 Considerações finais sobre o capítulo.....	61

4. Estudo de caso: proposição de método para tomada de decisão de manutenção e inspeção da Balsa de Serviço BS-3.....	61
4.1 Proposição e questões do caso.....	61
4.2 Tipo de caso selecionado.....	63
4.3 Caracterização da unidade de análise e seu contexto operacional.....	64
4.3.1 Descrição da unidade de análise: a balsa de serviço BS-3.....	64
4.3.2 Contexto operacional: Serviços de Instalações Marítimas (SIMA) da Petrobras.....	67
4.4 Conceitos básicos adotados no estudo de caso.....	68
4.5 Proposição de um novo método de tomada de decisão baseado em MIBR.....	70
4.6 Considerações finais sobre o estudo de caso.....	77
5. Conclusões.....	78
Referências bibliográficas.....	83

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Produção científica sobre o tema manutenção e inspeção baseada em risco: 1981-2011.....	13
Figura 1.2 - Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos.....	18
Figura 2.1 - Processo de análise de risco que combina técnicas quantitativas e qualitativas.....	26
Figura 3.1 - Definição das categorias de consequências e probabilidades de falha para a matriz de risco.....	49
Figura 3.2 - Níveis de análise de inspeção baseada em risco	50
Figura 3.3 - Indicativo da periodicidade das vistorias.....	54
Figura 3.4 - Diagrama para realização das vistorias para emissão dos Certificados Estatutários e de Classe.....	55
Figura 3.5 - Probabilidade de falha x risco associado x tempo de operação.....	59
Figura 4.1 - Visão frontal da BS-3.....	65
Figura 4.2 - Vista lateral da BS-3.....	65
Figura 4.3- Vista de cima do convés principal da BS-3.....	66
Figura 4.4 - Visão da BS-3 lançando dutos.....	66
Figura 4.5 - Visão da BS-3 em serviço.....	66
Figura 4.6 - Esquema ilustrativo das regras estabelecidas pela Classificadora ABS.....	72
Figura 4.7 - Mapeamento dos dados de medição das espessuras das chapas do convés principal da balsa de serviço BS-3.....	73
Figura 4.8 - Vista de cima do convés principal da BS-3, foco da inspeção visual e medição de espessuras das chapas por ultrassom.....	74
Figura 4.9 - Pontos medidos por ultrassom na chapa A-19 da balsa de serviço BS-3.....	74
Figura 4.10 - Representação da Chapa A-19 com nova marcação de pontos de medição, segundo o método de decisão proposto.....	75

Lista de Quadros

Quadro 2.1 - Exemplos de técnicas de identificação de riscos.....	27
Quadro 3.1 - Componentes de gestão de riscos segundo o modelo COSO ERM (2004).....	46
Quadro 4.1 - Características básicas da balsa de serviço BS-3 da Petrobras....	65

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 - Regras da sociedade classificadora ABS para embarcações abaixo de 90 m de comprimento.....	71
Tabela 4.2 - Medição de espessuras da Chapa A-19 do convés principal da BS-3.....	76

Lista de Siglas

ABS – American Bureau of Shipping

API – American Petroleum Institute

CM – Corrective maintenance

CoF – Consequence of failure

DNV – Det Norske Veritas

END – Ensaios não destrutivos

EPA – US Environmental Protection Agency

FF – Failure finding (pesquisa de avarias)

FMECA – Failure modes, effects and criticality analysis

HAZOP – Hazard and operability

IMO – International Maritime Organization

KPI – Key performance indicators

LoF – Likelihood of failure

MCC – Manutenção centrada em confiabilidade

MTBF – Mean time between failure

OC – On Condition

OEM – Original equipment manufacturer

PoF – Probability of failure

PM – Preventive maintenance

PUC-Rio – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

PósMQI – Programa de Pós-graduação em Metrologia, Qualidade e Inovação

QRA – Quantitative Risk Assessment

RBI – Risk Based Inspection

RBIM – Risk Based Inspection and Maintenance

RBM – Risk Based Maintenance

RBWS – Risk Based Work Selection

RCM – Reliability-Centered Maintenance (Manutenção Centrada na Confiabilidade)