

**Leonardo Santiago de Carvalho**

**Gestão da função metrológica em uma unidade de  
exploração e produção de óleo e gás natural: desafios e  
oportunidades**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Metrologia.

Orientador: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Fatima Ludovico de Almeida

Rio de Janeiro

Abril de 2011

**Leonardo Santiago de Carvalho**

**Gestão da função metrológica em uma unidade de exploração e  
produção de óleo e gás natural: desafios e oportunidades**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora e homologada pela Coordenação Setorial de Pós-Graduação, formalizado pelas respectivas assinaturas:

**Comissão Examinadora:**

**Profª Drª Maria Fatima Ludovico de Almeida**

Orientadora

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PósMQI)  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

**Prof. Dr. Maurício Nogueira Frota**

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PósMQI)  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

**Prof. Dr. Rogério Ramos**

Departamento de Engenharia Mecânica  
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

**Prof. Dr. João Roberto Bastos Zoghbi Filho**

Petróleo Brasileiro S.A - Petrobras

**Coordenação Setorial de Pós-Graduação:**

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do  
Centro Técnico Científico (PUC-Rio)

Rio de Janeiro, 28 de abril de 2011

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

### **Leonardo Santiago de Carvalho**

Graduado em Engenharia Mecânica pela UFES em 1999. Desde 2001, atua como engenheiro de equipamentos da Petrobras em atividades de medição de óleo e gás natural.

#### Ficha Catalográfica

Carvalho, Leonardo Santiago de

Gestão da função metrológica em uma unidade de exploração e produção de óleo e gás natural: desafios e oportunidades / Leonardo Santiago de Carvalho, orientadora: Maria Fatima Ludovico de Almeida. – 2011.

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

Dissertação (Mestrado em Metrologia). Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Inclui bibliografia e anexo.

1. Metrologia – Teses. 2. Regulamentação técnica. 3. Sistemas de gestão de medição. 4. Função metrológica. 5. Cultura metrológica. 6. Exploração e produção de óleo e gás natural. 7. Petrobras. 8. Unidade de Operações de Exploração e Produção no Espírito Santo. I. Almeida, Maria Fatima Ludovico de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Qualidade e Inovação. III. Título.

CDD: 389.1

## Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento desse projeto acadêmico e profissional. Dentre tantos, em especial:

A Deus, acima de tudo e por tudo.

Aos meus pais, meus exemplos de vida, que são a minha fonte de inspiração, apoio e ensino diário.

Aos meus irmãos e também à Mariana, que preenchem a minha vida sempre com bons sentimentos e momentos;

À Professora Maria Fatima Ludovico de Almeida, minha orientadora, pelos ensinamentos, estímulo e confiança depositada durante todo o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Qualidade e Inovação (PósMQI), Professor Mauricio Nogueira Frota por todo incentivo e sugestões para a realização do Mestrado no PósMQI.

À Petrobras, principalmente aos meus superiores Luiz Robério Silva Ramos, Maria Lúcia de Fátima e Silva, Cezar Augusto Monteiro Siqueira, Carlos Roberto Neves de Souza e aos meus colegas da atividade de medição de vazão, pela oportunidade de participação no desenvolvimento deste projeto, pelo suporte e pelo ambiente favorável para sua realização.

## Resumo

Carvalho, Leonardo Santiago de; Almeida, Maria Fatima Ludovico de. **Gestão da função metrológica em uma unidade de exploração e produção de óleo e gás natural: desafios e oportunidades.** Rio de Janeiro, 2011. 157 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.

O objetivo da dissertação é avaliar a gestão da função metrológica em uma unidade de exploração e produção de óleo e gás de uma grande empresa de energia no Brasil e propor ações de melhoria a partir dos resultados do diagnóstico da referida função. Desde a emissão da Portaria Conjunta nº1 ANP/Inmetro, em junho de 2000, as atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural no Brasil passaram por um acelerado processo de reestruturação organizacional e de adequação das instalações de medição para atender ao novo marco regulatório. Nesse contexto, a motivação da pesquisa vincula-se a uma real necessidade de melhoria da gestão da função metrológica em uma unidade de exploração e produção de óleo e gás natural da Petrobras, particularmente no que tange à consolidação da cultura metrológica e ao desenvolvimento de competências associadas a novos requisitos de medição de vazão de óleo e gás natural. A metodologia compreende: (i) pesquisa bibliográfica e documental sobre os temas centrais; (ii) proposição de modelo conceitual para avaliação da gestão da função metrológica; (iii) elaboração e aplicação do instrumento de pesquisa; (iv) estudo de caso da Unidade de Operações de Exploração e Produção da Petrobras no Espírito Santo e de quatro unidades incorporadas ao caso; (v) proposição de ações frente aos desafios e oportunidades reveladas no diagnóstico situacional. Destacam-se como resultados da pesquisa: (i) o modelo conceitual para avaliação da gestão da função metrológica, com foco na medição de vazão de óleo e gás natural; (ii) o diagnóstico da situação atual da gestão da função metrológica na referida Unidade e em quatro unidades incorporadas ao estudo de caso; (iii) mapeamento dos desafios e oportunidades associados à efetiva gestão da função metrológica nas unidades analisadas. Como conclusão, a pesquisa mostra que o modelo conceitual proposto foi adequado para os fins a que se destina, constituindo um importante instrumento de avaliação e retroalimentação para a gestão da função metrológica. Esse modelo poderá ser disseminado em outros contextos organizacionais de exploração e produção de óleo e gás natural.

## Palavras-chave

Metrologia; regulamentação técnica; sistemas de gestão de medição; função metrológica; cultura metrológica; exploração e produção de óleo e gás natural; Petrobras; Unidade de Operações de Exploração e Produção no Espírito Santo.

## Abstract

Carvalho, Leonardo Santiago de; Almeida, Maria Fatima Ludovico de (Advisor). **Management of metrological function of an oil and gas exploration and production unit: challenges and opportunities.** Rio de Janeiro, 2011. 157 p. Master Dissertation – Postgraduate Program in Metrology. Area of concentration: Metrology for Quality and Innovation (PósMQI), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The objective of this dissertation is two-fold: (i) to assess the management of metrological function of an oil and gas exploration and production unit within a large energy enterprise in Brazil; and (ii) to propose recommendations for its improvement. Since the creation of Portaria Conjunta nº1 ANP/Inmetro, in June 2000, oil and gas' exploration and production activities in Brazil have suffered an accelerated process of organizational reengineering and adapted all their measurement installations to attend the new regulatory framework. In this context, the motivation of this research arose from Petrobras' needs to have an assessment tool capable of measuring efficiency and efficacy of its metrological function, incorporating in the analytical framework elements concerning organizational culture and development of competences towards attendance of new metrological requirements. The methodology comprises: (i) bibliographic and documentary research on the central themes of dissertation; (ii) propose of a conceptual model for assess metrological function management, which links theoretical approaches reviewed; (iii) development and application of a survey questionnaire, based on this conceptual framework; (iv) case study focusing on the metrological function at Exploration and Production Operational Unit of Espírito Santo and its four subunits; (v) formulation of improvement actions for Petrobras' metrological function at the selected unities, and suggestions for future research and replication in other organizational contexts. As a conclusion, it can be said that the proposed assessment model fulfilled expectations and assumptions formulated at the very beginning of this research. According to the opinion of managers and teams involved, the model is an useful management and learning tool for improve the management of metrological function and has a large potential for replication in other organizational contexts from the empirical evidences achieved.

## Keywords

Metrology; technical regulation; measurement management systems; metrological function; metrological culture; oil and gas exploration and production; Petrobras; Exploration and Production Operational Unit of Espírito Santo.

# Sumário

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introdução.....</b>  | <b>12</b> |
| 1.1 Definição do problema de pesquisa.....   | 16        |
| 1.2 Objetivos: geral e específicos.....  | 17        |
| 1.3 Motivação.....   | 18        |
| 1.4 Metodologia.....   | 19        |
| 1.5 Estrutura da dissertação.....  | 22        |
| <br><b>2. Metrologia legal e garantia metrológica .....</b>  | <b>24</b> |
| 2.1 Aspectos gerais da metrologia legal .....  | 24        |
| 2.1.1 Objetivo e campo de atuação.....   | 24        |
| 2.1.2 Controle metrológico legal.....  | 25        |
| 2.2 Garantia metrológica.....  | 26        |
| 2.2.1 Regulamentação.....  | 26        |
| 2.2.2 Meios técnicos.....  | 27        |
| 2.2.3 Operações necessárias.....   | 28        |
| 2.3 Regulamentação e controle metrológico no Brasil.....   | 28        |
| 2.3.1 O papel do Inmetro: atuação da DIMEL e da RBMLQ.....   | 30        |
| 2.3.2 O macroprocesso de controle metrológico.....   | 31        |
| 2.3.3 Fases do controle metrológico .....  | 33        |
| 2.3.4 Documentos e estrutura para o controle metrológico.....  | 35        |
| 2.4 Considerações finais sobre o capítulo.....   | 36        |
| <br><b>3. Gestão da função metrológica segundo uma abordagem integrada.....</b>  | <b>37</b> |
| 3.1 O modelo inspirador de Leonard-Barton: conceitos de aptidão e limitação estratégica.....   | 38        |
| 3.2 Sistemas físicos.....  | 40        |
| 3.3 Sistema de gestão de medição.....  | 41        |
| 3.4 Competência e aprendizagem.....  | 46        |
| 3.5 Cultura organizacional.....  | 49        |
| 3.6 Proposição de um modelo integrador para a gestão da função metrológica .....   | 51        |
| 3.7 Considerações finais sobre o capítulo.....   | 55        |
| <br><b>4. Contexto regulatório da medição de petróleo e gás natural no Brasil e o contexto organizacional do estudo de caso.....</b> | <b>57</b> |
| 4.1 O Regulamento Técnico de Medição de Petróleo e Gás Natural (RTM)...  | 57        |
| 4.1.1 Critérios gerais de medição.....   | 59        |
| 4.1.2 Medição de petróleo.....   | 60        |
| 4.1.3 Medição de gás natural.....  | 62        |
| 4.1.4 Procedimentos operacionais.....  | 63        |
| 4.1.5 Resultados esperados.....  | 65        |
| 4.2 Regulamento Técnico Metrológico.....   | 66        |
| 4.3 Controle metrológico nas estações de medição de petróleo e gás natural   | 68        |

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| 4.4            | Revisão do Regulamento Técnico de Medição de Petróleo e Gás Natural   | 71         |
| 4.5            | Contexto organizacional do estudo de caso.....  | 73         |
| 4.5.1          | A Unidade de Operações de Exploração e Produção no Espírito Santo...  | 73         |
| 4.5.2          | A função metrológica da UO-ES.....  | 81         |
| 4.6            | Considerações finais sobre o capítulo.....  | 86         |
| <b>5</b>       | <b>Estudo de caso.....</b>  | <b>87</b>  |
| 5.1            | Questão do caso e proposições.....  | 87         |
| 5.2            | Tipo de caso selecionado e unidades de análise.....   | 89         |
| 5.3            | Coleta e tratamento dos dados.....  | 91         |
| 5.3.1          | Caracterização da amostra.....  | 92         |
| 5.3.2          | O instrumento para a pesquisa <i>survey</i> .....   | 92         |
| 5.3.3          | Coleta e tratamento dos dados.....  | 95         |
| 5.4            | Resultados referentes à unidade principal.....  | 96         |
| 5.4.1          | Gestão da função metrológica da unidade principal: visão geral.....   | 97         |
| 5.4.2          | Comparação das visões gerencial e técnica.....  | 109        |
| 5.4.3          | Comparação das visões das áreas de atividades de medição.....   | 113        |
| 5.5            | Resultados referentes às unidades incorporadas.....   | 118        |
| 5.5.1          | Gestão da função metrológica das unidades incorporadas: visão geral.....  | 119        |
| 5.5.2          | Sistemas físicos: visão comparada das unidades incorporadas.....  | 123        |
| 5.5.3          | Sistema de gestão de medição: visão comparada das unidades incorporadas.....  | 125        |
| 5.5.4          | Competência e aprendizagem: visão comparada das unidades incorporadas.....  | 129        |
| 5.5.5          | Cultura organizacional: visão comparada das unidades incorporadas.....  | 132        |
| 5.5.6          | Desempenho de medição e conformidade com requisitos normativos e regulatórios: visão comparada das unidades incorporadas..... | 134        |
| 5.6            | Conclusões do estudo de caso.....   | 136        |
| <b>6</b>       | <b>Conclusões e recomendações.....</b>  | <b>146</b> |
|                | <b>Referências bibliográficas.....</b>  | <b>151</b> |
| <b>Anexo 1</b> | <b>.....</b>  | <b>A-1</b> |

## Lista de figuras

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Figura 1.1 - | Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos.....  | 20  |
| Figura 2.1 - | Fluxo da regulamentação metrológica.....  | 27  |
| Figura 2.2 - | Fluxo do controle metrológico.....  | 29  |
| Figura 2.3 - | Organograma da Diretoria de Metrologia Legal do Inmetro.....  | 30  |
| Figura 2.4 - | Processos operacionais ligadas à garantia metrológica.....  | 32  |
| Figura 2.5 - | Processo de garantia metrológica.....   | 33  |
| Figura 3.1 - | Aptidões estratégicas e suscetibilidade a mudanças.....   | 39  |
| Figura 3.2 - | Modelo de sistema de gestão de medição.....   | 42  |
| Figura 3.3 - | Desenvolvimento de competências e o papel da aprendizagem baseada na ação.....                                    | 47  |
| Figura 3.4 - | Modelo integrador para a gestão da função metrológica.....  | 53  |
| Figura 4.1 - | Representação esquemática de uma estação de medição.....  | 69  |
| Figura 4.2 - | Localização geográfica das bacias sedimentares da UO-ES.....  | 74  |
| Figura 4.3 - | Estrutura organizacional da UO-ES, com a demarcação dos setores que integram a função metrológica da Unidade..... | 76  |
| Figura 4.4 - | Unidades de produção do Ativo de Produção Jubarte/Cachalote: P-57, P-34 e o FPSO Capixaba.....                    | 77  |
| Figura 4.5 - | Unidades de produção do Ativo de Produção de Golfinho: FPSO-CVIT, FPSO-CDSM e PPER-1.....                         | 78  |
| Figura 4.6 - | Estações de produção do Ativo de Produção Norte Capixaba: EC-FAL, EC-LP2 e PCA-2.....                             | 78  |
| Figura 4.7 - | Unidade de Tratamento de Gás de Cacimbas.....   | 79  |
| Figura 4.8 - | Localização geográfica das unidades de produção da UO-ES.....   | 79  |
| Figura 5.1 - | Fluxograma do desenvolvimento do estudo de caso .....   | 88  |
| Figura 5.2 - | Tipo do estudo de caso da função metrológica da UO-ES, segundo a tipologia de Yin (2005).....                     | 90  |
| Figura 5.3 - | Gestão da função metrológica da UO-ES: importância <i>versus</i> situação atual.....                              | 97  |
| Figura 5.4 - | Gestão da função metrológica da UO-ES: situação atual segundo as dimensões de análise.....                        | 98  |
| Figura 5.5 - | Sistemas físicos: situação atual na UO-ES.....  | 99  |
| Figura 5.6 - | Sistema de gestão de medição: situação atual na UO-ES.....  | 101 |
| Figura 5.7 - | Competência e aprendizagem: situação atual na UO-ES.....  | 103 |
| Figura 5.8 - | Cultura organizacional: situação atual na UO-ES.....  | 106 |
| Figura 5.9 - | Desempenho de medição e conformidade com requisitos regulatórios e normativos: situação atual na UO-ES.....       | 108 |
| Figura 5.10  | Importância <i>versus</i> situação atual da função metrológica na UO-ES: visões gerencial e técnica.....          | 109 |

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Figura 5.11 - | Situação atual da gestão da função metrológica na UO-ES, segundo as dimensões de análise: visões gerencial e técnica.....                               | 110 |
| Figura 5.12   | Comparação das visões das áreas das atividades de medição: Importância versus situação atual da gestão da função metrológica na UO-ES.....              | 114 |
| Figura 5.13-  | Comparação das visões das áreas de atividades de medição: situação atual da gestão da função metrológica na UO-ES, segundo as dimensões de análise..... | 115 |
| Figura 5.14 - | Importância para a UO-ES versus situação atual das unidades incorporadas: visão comparada.....  | 120 |
| Figura 5.15 - | Situação atual das unidades incorporadas, segundo as dimensões de análise: visão comparada.....   | 121 |
| Figura 5.16 - | Sistemas físicos: situação atual das unidades incorporadas.....   | 123 |
| Figura 5.17-  | Sistema de gestão de medição: situação atual das unidades incorporadas.....   | 126 |
| Figura 5.18 - | Competências e aprendizagem: situação atual das unidades incorporadas.....  | 130 |
| Figura 5.19 - | Cultura organizacional: situação atual das unidades incorporadas.   | 132 |
| Figura 5.20 - | Desempenho de medição e conformidade com requisitos normativos e regulatórios: situação atual das unidades incorporadas.....                            | 135 |

## Lista de quadros

|  |    |
|--|----|
| Quadro 2.1 - Processos operacionais e indicadores relacionados à garantia metrológica..... | 32 |
| Quadro 3.1 - Conceituação de competência.....  | 46 |
| Quadro 3.2 - Conceituação de cultura organizacional.....                                   | 50 |
| Quadro 3.3 - Grade analítica como base para a pesquisa <i>survey</i> .....                 | 54 |
| Quadro 4.1 - Recursos para a medição dos volumes.....                                      | 64 |
| Quadro 5.1 - Estrutura do instrumento de pesquisa <i>survey</i> .....                      | 93 |

## Lista de tabelas

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 4.1 - Erros máximos admissíveis por classe de exatidão e grandezas associadas conforme recomendação internacional OIML R 117)...             | 61  |
| Tabela 4.2 - Incertezas mínimas admissíveis na medição de gás natural.....  | 63  |
| Tabela 4.3 - Níveis de erros e incertezas de medição segundo o RTM.....   | 65  |
| Tabela 4.4 - Periodicidade de calibração, inspeção e arqueação para instrumentos de medição de petróleo e gás natural.....                          | 70  |
| Tabela 4.5 - Proposições de mudanças na periodicidade de calibração, inspeção e arqueação para instrumentos de medição de petróleo (minuta).....    | 72  |
| Tabela 4.6 - Proposições de mudanças na periodicidade de calibração, inspeção e arqueação para instrumentos de medição de gás natural (minuta)..... | 73  |
| Tabela 4.7 - Medidores fiscais e de apropriação da UO-ES.....   | 80  |
| Tabela 4.8 - Distribuição dos medidores de óleo e gás natural da UO-ES.....   | 80  |
| Tabela 5.1 - Caracterização da amostra.....   | 92  |
| Tabela 5.2 - Síntese da situação atual da gestão da função metrológica na UO-ES, segundo as dimensões de análise: visões gerencial e técnica.....   | 139 |
| Tabela 5.3 - Síntese da situação atual da gestão da função metrológica na UO-ES, segundo as visões das áreas de atividades.....                     | 140 |
| Tabela 5.4 - Síntese da situação atual da Gestão da função metrológica na UO-ES, segundo as visões das cinco unidades de análise.....               | 142 |