

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

Fernando Helder Teixeira

**Metodologia para definição de intervenção de manutenção em estruturas baseada no seu nível de segurança por meio da confiabilidade estrutural –  
Manutenção Baseada na Condição Probabilística**

**Belo Horizonte**  
**2016**

**Fernando Helder Teixeira**

**Metodologia para definição de intervenção de manutenção em estruturas baseada no seu nível de segurança por meio da confiabilidade estrutural –  
Manutenção Baseada na Condição Probabilística**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Orientador Jánes Landre Jr, D.Sc.

**Belo Horizonte**

**2016**

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

T266m Teixeira, Fernando Helder  
Metodologia para definição de intervenção de manutenção em estruturas baseada no seu nível de segurança por meio da confiabilidade estrutural – manutenção baseada na condição probabilística / Fernando Helder Teixeira. Belo Horizonte, 2016.  
134 f. : il.

Orientador: Jánes Landre Júnior  
Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

1. Teoria das estruturas – Confiabilidade. 2. Confiabilidade (Engenharia) - Métodos estatísticos. 3. Metais - Fadiga. 4. Falhas estruturais. 5. Resistência de materiais. 6. Probabilidades. I. Landre Júnior, Jánes. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 624.01

**Metodologia para definição de intervenção de manutenção em estruturas baseado no seu nível de segurança por meio da confiabilidade estrutural –  
Manutenção Baseada na Condição Probabilística**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

---

D.Sc. Jánes Landre Júnior - PUC Minas (Orientador)

---

D.Sc. Claysson Bruno Santos Vimieiro - PUC Minas

---

D.Ing. Ernani Sales Palma - UFMG

---

D.Sc. Pedro Américo Almeida Magalhães Junior - PUC Minas

---

D.Sc. Yukio Shigaki - CEFET - MG

Belo Horizonte, 05 de dezembro de 2016.

*Dedico a  
Elizangela, Gabriel e Paloma.*

## **AGRADECIMENTOS**

A minha mãe Madalena, pela vida de dedicação aos filhos.

A minha esposa Elizangela, pelo amor, companheirismo, cumplicidade e incentivo nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador professor Jánes Landre Junior, pela orientação, amizade, estímulo e confiança depositados durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao aluno de iniciação científica Victor Henrique Rocha Martins, pela sua grande contribuição, seriedade e postura sempre ativa nas fases experimentais e de modelagem.

Aos profissionais da Vibracon pela parceria e contribuição durante todo o desenvolvimento do trabalho.

A Vale S.A. nas pessoas de seus gestores, Amaury Leite Pimenta e Marcelo de Oliveira Fonseca pela compreensão e apoio desde o início do doutorado.

A CAPES e ao programa de pós-graduação em engenharia mecânica da PUC-Minas por subsidiar o desenvolvimento desta pesquisa

## RESUMO

O estudo da confiabilidade estrutural tem tomado grande importância à medida que as ferramentas numéricas, seja no campo probabilístico seja no determinístico tornam-se mais assertivas, porém não se tem observado a utilização de forma complementar e interativa. O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia que utilize as informações das duas áreas para avaliação da condição probabilística de um ativo extrapolando o conceito existente de *CBM (Condition Based Maintenance)*, incorporando como uma extensão do conceito o conhecimento proveniente dos estudos probabilísticos, criando assim o *PCBM (Probabilistic Condition Based Maintenance)*. Com a utilização dos conceitos da confiabilidade estrutural e seus métodos para a avaliação da integridade estrutural de um sistema mecânico em operação submetido a esforços dinâmicos, será determinada a probabilidade de falha do componente, assim como o seu índice de segurança e a sua evolução ao longo do tempo. A partir de resultados experimentais obtidos, serão realizadas simulações e avaliadas as correlações entre o modelo probabilístico e o determinístico, a fim de se verificar a possibilidade do uso desta metodologia como suporte no processo de tomada de decisão quanto ao momento mais adequado de uma intervenção de manutenção para um determinado nível de segurança.

Palavra-chave: Confiabilidade estrutural, fadiga, Structural Health Monitoring, manutenção.

## **ABSTRACT**

The study of structural reliability assumed great importance from the moment that the numerical tools, both in the probabilistic field as in the deterministic field became more assertive, but has not seen the use of complementary and interactive way. The goal of this paper is to propose a methodology for assessing the probability condition of an asset with the introduction of the concept of PCBM (Probabilistic Condition Based Maintenance) as an extension of the existing concept CBM (Condition Based Maintenance). With the use of the concepts of structural reliability and its methods for evaluating the structural integrity of a mechanical system in operation subject to dynamic loads, will be determined the failure probability of the component, as well as its safety index and its evolution over time. From experimental results, simulations and evaluated the correlations between the probabilistic model and the deterministic will be conducted in order to verify the possibility of using this methodology to support the decision-making process on the most appropriate moment for an maintenance intervention for a certain level of security.

Key-words: structural reliability, fatigue, Structural Health Monitoring, maintenance.