

Fotografia da capa:  
armazém automatizado de materiais de manutenção  
para manutenção de material circulante motor ferroviário  
([http://www.railway-technology.com/contractors/overhaul/siemens\\_transport5/](http://www.railway-technology.com/contractors/overhaul/siemens_transport5/))

Dissertação realizada sob a orientação de

**Carlos Manuel Pereira Cabrita**

Professor Catedrático do Quadro  
Departamento de Engenharia Electromecânica  
Universidade da Beira Interior

Dedico esta dissertação  
aos meus pais José Alves Madeira Bernardes e  
Margarida Maria Dias Bernardes Madeira,  
e ao meu irmão Ricardo Jorge Bernardes Madeira

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer ao Professor C. Pereira Cabrita, meu orientador científico, por todo o seu apoio e disponibilidade.

Aos meus pais e ao meu irmão pelo apoio incontestável desde a primeira hora, e pela sua amizade e sensatez, que sempre me ajudaram.

A toda a minha família pelo apoio prestado ao longo de todo o curso.

A todos os meus amigos e colegas universitários que me apoiaram e me ajudaram em toda a minha vida académica.

A todos os docentes que leccionaram as várias unidades curriculares do curso.

Ao Departamento de Engenharia Electromecânica da Faculdade da Engenharia da Universidade da Beira Interior, pelas facilidades concedidas para a elaboração deste trabalho.

## RESUMO

Nesta dissertação descrevem-se, de forma pormenorizada, as características fundamentais das filosofias de gestão Produção Magra, Seis Sigma, e Sigma Magra, assim como as respectivas metodologias aconselháveis para a sua instalação nas organizações industriais e de serviços. Conjugando os princípios clássicos da manutenção industrial com as filosofias Magra e Sigma, é possível obterem-se resultados de exploração caracterizados por uma melhoria contínua, com uma permanente optimização da eficiência dos activos, gerando-se deste modo uma nova filosofia designada por Manutenção Magra, cujos princípios e formas de instalação são discriminados igualmente de uma forma bastante detalhada. Atendendo a que existem questões técnicas e económicas essenciais, associadas directamente à adopção de todas estas filosofias de melhoria contínua, e que, por vezes, não são citadas ou analisadas quando se apresentam os benefícios dessas filosofias, descrevem-se, a finalizar, quais as questões que se devem colocar previamente às organizações que pretendam instalar essas filosofias, para que possam obter conclusões sobre a relação custo-benefício.

### **Palavras-chave:**

Produção Magra, Seis Sigma, Sigma Magra, Manutenção Magra, Indicadores de Desempenho.

## **ABSTRACT**

This M.Sc. Thesis presents in detail the fundamental characteristics of Lean Production, Six Sigma and Lean Sigma management philosophies, as well as their recommended methods for its installation in both industrial and service organizations. Combining the principles of classical industrial maintenance with Lean and Sigma philosophies, it is possible to obtain results of operation characterized by a continuous improvement, with a permanent optimization of the efficiency of assets, thus generating in this manner a new philosophy called Lean Maintenance, whose principles and ways of installation are also presented in detail. Taking into account that there are essential technical and economic items directly related to the adoption of these philosophies of continuous improvement and, sometimes, are not mentioned or considered when presenting the benefits of these philosophies, finally are described which items that should be presented to those organizations wishing to install these philosophies, in order to obtain conclusions on their cost-benefit.

### **Keywords:**

Lean Production, Six Sigma, Lean Sigma, Lean Maintenance, Key Performance Indicators.

## ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se estruturada em 9 Capítulos, sendo em cada um deles abordados respectivamente os seguintes assuntos:

- **Capítulo 1** – Discriminação dos princípios caracterizadores e das metodologias de implementação das duas grandes filosofias (ou modelos) de manutenção industrial: Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance* TPM) e Manutenção Centrada na Fiabilidade (*Reliability Centered Maintenance* RCM). Faz-se igualmente uma breve referência às novas práticas e filosofias, derivadas directamente daqueles dois grandes modelos estruturais.
- **Capítulo 2** – Apresenta-se um brevíssimo historial das diversas políticas de manutenção, como parte introdutória para a descrição dos princípios e das metodologias associadas à Manutenção de Fiabilidade Pró-activa.
- **Capítulo 3** – Descrevem-se os princípios assim como as etapas de implementação da Manutenção de Fiabilidade Centrada no Operador, sendo de destacar a importância dos operadores, a partilha dos activos, a automatização da obtenção de dados, o trabalho de equipa, os planos de manutenção, e o suporte informático.
- **Capítulo 4** – Apresentam-se os indicadores de desempenho técnico e económico das actividades de manutenção, considerados mais pertinentes, como por exemplo as disponibilidades intrínseca e operacional, a eficiência global dos equipamentos, o índice de trabalho extraordinário e o índice de trabalho subcontratado. Como complemento, apresentam-se ainda, devido à sua importância para a manutenção planeada, os conceitos de fiabilidade e de manutenibilidade, demonstrando-se as respectivas expressões.
- **Capítulo 5** – Explicita-se, de forma sumária, a evolução histórica da filosofia de gestão Produção Magra (*Lean Production*), descrevendo-se as suas metodologias assim como as regras que deverão ser seguidas para a sua adopção com sucesso.
- **Capítulo 6** – Descreve-se a filosofia de gestão Seis Sigma, assim como as suas bases probabilísticas e estatísticas com suporte na distribuição contínua de probabilidades normal ou de Gauss. Apresenta-se ainda a metodologia de

determinação do Nível Seis Sigma, os índices de capacidade dos processos, o conceito de melhoria contínua, os modelos de implementação da filosofia, uma análise crítica sucinta, e uma breve referência à *Six Sigma Business Scorecard*.

- **Capítulo 7** – Descrevem-se os princípios e as vantagens que se conseguem alcançar com a conjugação das filosofias Seis Sigma e Produção Magra, e ainda com a utilização da metodologia *Kaisen*.
- **Capítulo 8** – Apresentam-se as características da filosofia Manutenção Magra, discriminando-se todos os procedimentos a cumprir para a sua adopção pelas organizações industriais.
- **Capítulo 9** – Neste capítulo final, tecem-se, de forma detalhada, diversas considerações sobre os resultados esperados com a instalação das novas filosofias de Manutenção Magra, enumerando-se todos os objectivos a contemplar para a exequibilidade das actividades de manutenção. Devido à sua elevada importância, discriminam-se igualmente os requisitos que as unidades fabris devem cumprir para o sucesso do modelo de manutenção escolhido. A terminar, apresenta-se um conjunto de sugestões para trabalhos a realizar, na sequência desta dissertação.

Relativamente às figuras e quadros, utilizou-se o mesmo figurino, isto é, encontram-se ordenados numericamente de forma sequencial. No final da Dissertação incluem-se as Referências Bibliográficas e Netgráficas, ordenadas numericamente pela ordem em que são citadas ao longo do texto, sendo as citações apresentadas convencionalmente através da utilização de parêntesis rectos.

## ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO	1
2. MANUTENÇÃO DE FIABILIDADE PRÓ-ACTIVA	12
3. FIABILIDADE CENTRADA NO OPERADOR	18
4. INDICADORES DE DESEMPENHO	22
5. PRODUÇÃO MAGRA	38
6. FILOSOFIA SEIS SIGMA	55
6.1. Distribuição Normal	57
6.2. Bases estatísticas	61
6.3. Cálculo do Nível Sigma	68
6.4. Índices de Capabilidade	73
6.5. Melhoria contínua	75
6.6. Implementação	77
6.7. Análise crítica	83
6.8. <i>Six Sigma Business Scorecard</i>	85
7. FILOSOFIA SIGMA MAGRA	91
8. MANUTENÇÃO MAGRA	92
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
9.1. Generalidades	99
9.2. Requisitos das instalações	102
9.3. Recomendações para trabalhos futuros	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E NETGRÁFICAS	104