



**Jorge Arturo Hinostroza Medina**

**Procedimento para Avaliação da Integridade Estrutural  
em Máquinas de Levantamento e Movimentação de  
Materiais**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-graduação em Engenharia  
Mecânica da PUC-Rio como requisito  
parcial para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. José Luiz de França Freire  
Co-orientador: Prof. Ronaldo Domingues Vieira

Rio de Janeiro  
Setembro de 2009



**Jorge Arturo Hinostroza Medina**

**Procedimento para Avaliação da Integridade Estrutural  
em Máquinas de Levantamento e Movimentação de  
Materiais**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. José Luiz de França Freire**

Orientador

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

**Prof. Ronaldo Domingues Vieira**

Co-orientador

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

**Prof. Marco Antonio Meggiolaro**

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

**Prof. Jaime Tupiassú Pinho de Castro**

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

**Prof. Tito Luiz da Silveira**

Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC - Rio

Rio de Janeiro, Setembro de 2009

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

### **Jorge Arturo Hinostroza Medina**

Graduou-se em Engenharia Mecânica na Universidad Nacional de Ingeniería de Lima - Perú em 2005.

#### Ficha Catalográfica

Hinostroza Medina, Jorge Arturo

Procedimento para avaliação da integridade estrutural em máquinas de levantamento e movimentação de materiais / Jorge Arturo Hinostroza Medina; orientador: José Luiz de França Freire; co-orientador: Ronaldo Domingues Vieira. – 2009.

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

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia mecânica – Teses. 2. Integridade estrutural. 3. Análise de risco. 4. Probabilidade de falha. 5. Consequência de falha. I. Freire, José Luiz de França. II. Vieira, Ronaldo Domingues. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Mecânica. IV. Título.

CDD:621

A mis queridos padres Angel y Maria, por el cariño, apoyo y paciencia

## Agradecimentos

Ao professor José Luiz de França Freire, pela orientação e paciência durante o desenvolvimento do curso de Mestrado.

Ao professor Ronaldo Vieira, pela orientação e a disposição continua.

A CAPES e FAPERJ, pelo suporte financeiro.

Aos professores da PUC-RIO pelo ensino e ajuda.

A todos os amigos de pós-graduação, especialmente a Gerardo, Jesus, Marco, Gilmar, Cesar, Marko, Rafael, Jaime, Mayra e Luana.

A Raul Valdivia e Elias Ferroa pela grande ajuda e confiança inicial.

A todos os funcionários do departamento de Engenharia Mecânica, pela ajuda brindada durante este tempo.

À Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, e seus funcionários em geral.

A todos os amigos que fiz no Brasil.

## Resumo

Hinostroza Medina, Jorge Arturo; Freire, José Luis de França; Vieira, Ronaldo Domingues. **Procedimento para Avaliação da Integridade Estrutural em máquinas de levantamento e movimentação de materiais.** Rio de Janeiro, 2009. 171p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Neste trabalho apresenta-se um procedimento para a avaliação da Integridade Estrutural em máquinas de levantamento e movimentação de materiais utilizando a metodologia de Inspeção Baseada em Risco (IBR), com o objetivo de identificar as partes com maior risco de falha. Esta metodologia avalia tanto as Probabilidades de falha como as Consequências de falha para identificar os pontos críticos que serão analisados com prioridade nos programas de inspeção futuros. Um guincho hidráulico de pequeno porte é usado como exemplo da aplicação deste procedimento a equipamentos de grande porte. No desenvolvimento desta metodologia executa-se uma análise detalhada das tensões envolvidas nos principais pontos da máquina, considerando o cálculo analítico, cálculo numérico, medições experimentais e análise de incertezas. Para o cálculo das probabilidades de falha foram considerados os seguintes mecanismos de dano: colapso plástico por carregamento excessivo, fadiga e corrosão. As probabilidades de falha para cada mecanismo são calculadas e classificadas em diferentes níveis, assim como as consequências de falha, o que origina diferentes níveis de risco.

## Palavras – chave

Integridade Estrutural, Análise de risco, Probabilidade de falha, Consequência de falha.

## **Abstract**

Hinostroza Medina, Jorge Arturo; Freire, José Luis de França; Vieira, Ronaldo Domingues. **Procedure for the Assesment of Structural Integrity of material lifting and handling machinery.** Rio de Janeiro, 2009. 171p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This report presents a procedure for the assesment of Structural Integrity of material lifting and handling machinery, using the methodology of Risk Based Inspection (IBR - Inspeção Baseada em Risco) in order to indentify the parts with high risk of failure. This methodology assesses both probabilities of failure and consequences of failure to identify the critical points; those will be analyzed with priority in future inspection programs. A small hydraulic hoist is used as an example of this procedure applying to big equipments. A detailed strain analysis is carried out for the most important points of the equipment. The strain analysis consider analytic calculations, numeric calculations, experimental measurements and related uncertainly evaluations. In order to calculate the probabilities of failure, the followings damage mechanisms were considered: plastic collapse by excessive loading, fatigue and corrosion. The failure probabilities for each mechanism are calculated and classiflicated in different levels, as well as failure consequences, that originate different risk levels.

## **Keys – words**

Structural Integrity, Risk analysis, Probability of failure, Consequence of failure.

# Sumário

1 . Introdução	20
1.1. Objetivos	22
1.2. Contéudo da Dissertação de Mestrado	22
2 . Integridade Estrutural e Inspeção Baseada em Risco	24
2.1. Definições	24
2.1.1. Integridade Estrutural	24
2.1.2. Avaliação de Integridade Estrutural, AIE	24
2.1.3. Inspeção	24
2.1.4. Falha	25
2.2. Erros e Incertezas	25
2.3. Distribuição Normal ou Gaussiana	26
2.4. Probabilidade de Falha – POF	27
2.5. Confiabilidade Estrutural	29
2.6. Consequência de Falha – COF	29
2.7. Risco	30
2.8. Inspeção Baseada em Risco – IBR	30
2.8.1. Análise Qualitativa do Risco	32
2.8.2. Análise Quantitativa do Risco	33
2.8.3. Análise Semi-Quantitativa do Risco	34
3 . Procedimento para Avaliação da Integridade Estrutural em estruturas de equipamentos de transporte e elevação de materiais	35
3.1. Equipamentos de Elevação e Movimentação de Materiais	35
3.2. Etapas do Procedimento para avaliação da Integridade Estrutural	37
3.2.1. Etapa 1 – Análise Preliminar	38
3.2.2. Etapa 2 – Análise dos Pontos Críticos	39
3.2.3. Etapa 3 – Gerenciamento do Risco	40
3.3. Apresentação da estrutura analisada – Guincho Hidráulico	42
3.3.1. Principais Características	43



4 . Mecanismos de Dano e Falha – Guincho Hidráulico	45
4.1. Fenômeno de Dano por Fadiga	46
4.1.1. Fenômeno de Dano por Fadiga de elementos sem solda	46
4.1.2. Fenômeno de Dano por Fadiga de elementos com solda	49
4.2. Fenômeno de Dano por Corrosão	50
4.2.1. Taxa de Corrosão ( $T_c$ ):	51
4.2.2. Efeito da Umidade Relativa (UR)	51
4.2.3. Perda de Espessura ( $P_e$ ):	51
4.3. Colapso por Carregamento Excessivo	52
 5 . Avaliação da Integridade Estrutural de um Guincho Hidráulico – Análise Preliminar	 53
5.1. Análise das especificações da estrutura	53
5.2. Análise das particularidades de sua construção	53
5.3. Estudo da História da estrutura da máquina	53
5.4. Inspeção Visual das seções críticas e uniões soldadas	53
5.5. Distribuição das seções analisadas	54
 6 . Avaliação da Integridade Estrutural de um Guincho Hidráulico – Análise dos Pontos críticos	 57
6.1. Modelo Analítico	57
6.1.1. Elemento # 1 (Lança) - Diagrama de corpo livre:	59
6.1.2. Elemento 2 (Parafuso – Pino do Pistão) – Diagrama de corpo livre :	61
6.2. Modelo Numérico por Elementos Finitos	65
6.2.1. Programas e Tipo de Elemento Usado	66
6.2.2. Condições de contorno e carregamento externo	67
6.2.3. Resultados do Modelo Numérico	68
6.3. Análise Experimental de Tensões	73
6.3.1. Extensometria	73
6.4. Comparações dos resultados entre os métodos utilizados	78
6.4.1. Validação dos métodos – Cálculo dos desvios padrões	87
6.5. Confirmação dos pontos críticos	91

6.6. Cálculo dos desvios padrões das tensões	95
6.7. Probabilidades de falha para colapso por carregamento excessivo considerando corrosão	96
6.8. Probabilidade de Falha por Fadiga	104
6.8.1. Modelo 1	104
6.8.2. Modelo 2	119
6.9. Probabilidade de Falha Totais	129
6.10. Probabilidade de Falha e Risco	131
6.11. Análise das Consequências de falha	133
6.12. Riscos de Falha	134
 7 . Avaliação da Integridade Estrutural de um Guincho Hidráulico – Gerenciamento do Risco	 136
7.1. Prioridades de Inspeção	137
7.2. Mitigação e Controle do Risco	138
7.3. Planos de Inspeção, atualização dos Registros	139
 8 . Considerações Finais	 142
8.1. Conclusões	142
 Referências Bibliográficas	 144
 Apêndice A	 149
A.1. Centróides e Momentos de inércia das secções transversais do elemento 1 (Lança)	149
 Apêndice B	 153
B.1 Elemento 3 (Parafuso-Pino da Articulação) - Diagrama de corpo livre	153
B.2 Elemento 4 (Parafuso– Pino do Cilindro)- Diagrama de corpo livre	155
B.3 Elemento 5(Suporte da Articulação) - Diagrama de corpo livre	157
B.4. Elemento 6(Suporte do Cilindro) - Diagrama de corpo livre	159
B.5. Elemento 7 (Base)- Diagrama de corpo livre	160

B.6. Elemento 8 (Coluna)- Diagrama de corpo livre	163
Apêndice C	166
C.1 Comparação das medições	166
Apêndice D	169
D.1 Método do Estimador de Grubbs	169
D.2 Método do Estimador de Thompson	170
D.3 Método do Estimador de Jaech	171

## Lista de figuras

Figura 2.1 – Distribuição Normal ou Gaussiana	26
Figura 2.2 – Esquema do cálculo da Probabilidade de Falha	28
Figura 2.3 – Risco vs. Atividade de Inspeção	31
Figura 2.4 – Matriz de Risco	32
Figura 2.5 – Matriz de Risco Qualitativa	32
Figura 2.6 – Fluxograma geral de Análise Quantitativa do Risco [7].	34
Figura 2.7 – Diagrama de Análise Semi-Quantitativa do Risco.	34
Figura 3.1 – Carregador de navios.	35
Figura 3.2 – Diagrama do Procedimento.	41
Figura 3.3 – Guincho Hidráulico – Laboratório de Fotomecânica PUC-Rio.	42
Figura 3.4 – Guincho Hidráulico e suas partes principais.	43
Figura 4.1 – Curva de Wöhler ou curva SN.	47
Figura 4.2 – Exemplo de curva Tensão-Tempo[20].	47
Figura 4.3 – Diagrama $\sigma_a \times \sigma_m$ .	48
Figura 4.4 – Fenômeno de Dano por Corrosão.	52
Figura 5.1 - Pontos e seções analisadas no Elemento 1 – Lança	54
Figura 5.2 - Pontos e seções analisadas no Elemento 2 - Parafuso do Pistão.	54
Figura 5.3 - Pontos e seções analisadas no Elemento 3 – Parafuso da Articulação.	55
Figura 5.4 - Pontos e seções analisadas no Elemento 4 – Parafuso do cilindro.	55
Figura 5.5 - Pontos analisadas nos Elementos 5 e 6 , respectivamente, suporte da articulação e suporte do cilindro.	55
Figura 5.6 - Pontos e seções analisadas no Elemento 7 – Base.	56
Figura 5.7 - Pontos e seções analisadas no Elemento 8 – Coluna.	56
Figura 6.1 - Posição da força de aplicação na lança.	57
Figura 6.2 - Diagrama de corpo livre, força cortante e momento fletor da lança.	59

Figura 6.3 – Diagrama de corpo livre, força cortante e momento fletor do parafuso-pino do pistão.	61
Figura 6.4 - Ponto analisado vs. Tensão Normal Analítica.	64
Figura 6.5 – Elemento Solid 186 e suas variantes.	66
Figura 6.6 – Malhas dos principais elementos do Guincho Hidráulico.	66
Figura 6.7 - Restrições do Modelo 3D – Vista por debaixo do guincho.	67
Figura 6.8 - Carregamento externo na máquina.	67
Figura 6.9 – Tensões Normais na Lança	68
Figura 6.10 - Tensões Normais no Parafuso-Pino do Pistão.	68
Figura 6.11 - Tensões Normais na Base (parte superior).	69
Figura 6.12 - Tensões Normais na Base (parte inferior).	69
Figura 6.13 - Tensões Normais no Suporte da Articulação.	70
Figura 6.14 - Tensões Normais na Coluna.	70
Figura 6.15 - Ponto Analisado vs. Tensão Normal Numérica.	72
Figura 6.16 - Comparação das tensões calculadas analítica e numericamente.	72
Figura 6.17 - Pontos Instrumentados na estrutura.	73
Figura 6.18 - Indicador de deformações Vishay Modelo P3.	74
Figura 6.19 - Localização dos strain gages na lança.	74
Figura 6.20 - Localização dos strain gages na base.	75
Figura 6.21 - Localização dos strain gages no reforço do cilindro e da articulação.	75
Figura 6.22 - Representação do carregamento da estrutura.	76
Figura 6.23 - Condições de contorno 1 e 2.	76
Figura 6.24a - Tipos de reforço considerados.	78
Figura 6.24b - Tipos de reforço considerados.	79
Figura 6.25 - Representação da instrumentação no ponto X.	79
Figura 6.26 - Medições no Ponto X.	80
Figura 6.27 - Comparação das medições dos três métodos para diferentes tipos de reforço no ponto XD.	82
Figura 6.28 - Comparação das medições dos três métodos para diferentes tipos de reforço no ponto 3D.	83
Figura 6.29 - Comparação das medições dos três métodos	

para diferentes tipos de reforço no ponto 3E.	85
Figura 6.30 - Comparação das medições no Ponto 5 (direita e esquerda).	86
Figura 6.31 - Comparação das medições no Ponto 34 (direita e esquerda).	86
Figura 6.32 - Comparação das medições no Ponto 37 (direita e esquerda).	86
Figura 6.33 - Relação entre os valores de deformação experimental do lado esquerdo e direito.	88
Figura 6.34 - Relação entre os valores de deformação experimental e numérica.	90
Figura 6.35 - Pontos com tensões altas na lança.	92
Figura 6.36 - Pontos com tensões altas na base.	93
Figura 6.37 - Pontos com tensões altas no Reforço da Articulação.	93
Figura 6.38 - Pontos com tensões altas no Reforço da Base.	93
Figura 6.39 – Probabilidade de falha total para este mecanismo.	102
Figura 6.40 - Probabilidade de falha por ano dos pontos mais solicitados da estrutura.	103
Figura 6.41 – Esquema para o cálculo de $S_a$ (Modelo 1).	104
Figura 6.42 - Interferência entre as variáveis $S_a$ - $s_a$ considerando o critério de Goodman e Gerber.	105
Figura 6.43 - Historia de carregamento do guincho.	105
Figura 6.44 - Curva SN para material da chapa (ASTM-A242).	106
Figura 6.45 - Curva SN para material dos parafusos-pino (ASTM-A325).	107
Figura 6.46 – Detalhe da Classe 80 na lança e base da Estrutura.	114
Figura 6.47 - Detalhe da Classe 50 nos reforços da Estrutura.	114
Figura 6.48 - Detalhe da Classe 63 na Coluna.	114
Figura 6.49 - Probabilidade de falha total para este mecanismo – Modelo 1.	118
Figura 6.50 - Probabilidade de falha total para este mecanismo – Modelo 2.	128
Figura 6.51 - Probabilidade de falha por ano dos pontos mais solicitados	

da estrutura – Modelo 2.	128
Figura 6.52 - Comparação entre as Probabilidades de falha para fadiga.	129
Figura 6.53 - – Probabilidade de Falha Total dos pontos analisados considerando o modelo 1 (após 20 anos).	130
Figura 6.54 - Probabilidade de Falha Total dos pontos analisados considerando o modelo 2 (após 20 anos).	131
Figura 6.55 - Evolução da Probabilidade de Falha dos pontos mais solicitados–Modelo 2.	132
Figura 6.56 - Nível de Probabilidade de Falha dos pontos analisados considerando o modelo 1.	132
Figura 6.57 - Nível de Probabilidade de Falha dos pontos analisados considerando o modelo 2.	133
Figura 6.58 - Nível de Consequência de Falha dos pontos analisados.	134
Figura 6.59 - Nível de Risco dos pontos analisados considerando o modelo 1 após 20 anos.	135
Figura 6.60 - Nível de Risco dos pontos analisados considerando o modelo 2 após 20 anos.	135
Figura 7.1 - Comparação do nível de risco dos pontos analisados nos dois métodos após 20 anos.	136
Figura 7.2 - Enquadramento das principais partes do Guincho na Matriz de Risco considerando o modelo 1.	137
Figura 7.3 - Enquadramento das principais partes do Guincho na Matriz de Risco considerando o modelo 2.	137
Figura 7.4 - Evolução do Risco de falha em alguns pontos da estrutura.	138
Figura A.1 - Seção Transversal dos pontos 2-4-5-6.	149
Figura A.2 - Seção Transversal do ponto X.	149
Figura A.3 - Seção Transversal do Ponto 3.	151
Figura B.1 - Diagrama de corpo livre, força cortante e momento fletor do parafuso-pino da articulação.	153
Figura B.2 - Diagrama de corpo livre, força cortante e momento	

fletor do parafuso-pino do cilindro.	155
Figura B.3 - Diagrama de corpo livre do Suporte da articulação.	157
Figura B.4 - Diagrama de corpo livre do Suporte do Cilindro.	159
Figura B.5 - Diagrama de corpo livre do Guincho Hidráulico.	160
Figura B.6 - Diagrama de corpo livre, força cortante e momento fletor da Base.	161
Figura B.7 - Seção Transversal da Base.	162
Figura B.8 - Diagrama de Corpo Livre da Coluna.	163
Figura B.9 - Seção Transversal da Coluna.	164
Figura C.1 – Comparação das medições dos três métodos para diferentes tipos de reforço no ponto XE1.	166
Figura C.2 – Comparação das medições dos três métodos para diferentes tipos de reforço no ponto XE2.	167
Figura C.3 - Comparação das medições no Ponto 6 (direita e esquerda).	167
Figura C.4 - Comparação das medições no Ponto 31 (direita e esquerda).	168
Figura C.5 - Comparação das medições dos três métodos no Ponto 32.	168
Figura C.6 - Comparação das medições no Ponto 35 (direita e esquerda).	168
Figura C.7 – Comparação das medições no Ponto 36 (direita e esquerda).	168



## Lista de tabelas

Tabela 3.1 – Guincho Hidráulico: Lista de Componentes.	43
Tabela 3.2 – Composição Química do aço A-242.	44
Tabela 4.1 - Coeficientes para as curvas de fadiga em corpos de prova soldados [21].	50
Tabela 6.1 - Dimensões e Reações na Lança.	60
Tabela 6.2 - Momentos de Inércia das seções analisadas na lança.	60
Tabela 6.3 - Tensões dos pontos analisados na lança.	61
Tabela 6.4 – Dimensões e Reações no Parafuso – Pino do Pistão.	62
Tabela 6.5 – Dimensões do Parafuso- Pino do Pistão.	62
Tabela 6.6 – Tensões dos Pontos analisados no Parafuso- Pino do Pistão.	62
Tabela 6.7 - Pontos analisados vs.Tensão Normal Analítica.	63
Tabela 6.8 - Pontos analisados vs Tensão Normal Numérica.	71
Tabela 6.9 - Tensões nos pontos da base calculadas pelo método analítico.	77
Tabela 6.10 - Tensões nos pontos da base calculadas pelo método numérico.	77
Tabela 6.11 – Medições feitas nos diferentes pontos da estrutura.	78
Tabela 6.12 – Comparações das medições no ponto X	80
Tabela 6.13 – Deformações experimentais (esquerda e direita) nos diferentes pontos da estrutura.	88
Tabela 6.14 - Deformações experimentais (esquerda e direita) nos diferentes pontos da estrutura sem considerar o ponto X.	89
Tabela 6.15 – Deformações experimentais e numéricas nos diferentes pontos da estrutura	90
Tabela 6.16 - Desvios padrões calculados pelos quatro métodos.	91
Tabela 6.17 – Tensões Normais considerando os novos pontos	94
Tabela 6.17 - Propagação de incertezas [24].	97
Tabela 6.18 - Níveis de taxa de corrosão [22].	98
Tabela 6.19 - Tensão Normal no ponto 11 (parafuso do pistão)	

ao longo do tempo.	99
Tabela 6.20 – Esquema do cálculo da Probabilidade de falha no ponto 11 (parafuso do pistão).	100
Tabela 6.21 – Probabilidade de Falha por carregamento excessivo considerando corrosão.	101
Tabela 6.22 – Número de ciclos estabelecidos no guincho.	106
Tabela 6.23 - Coeficientes de variação de Sf.	112
Tabela 6.24 - Probabilidade de falha no ponto 11 após 20 anos.	113
Tabela 6.25 – Probabilidade de falha no ponto 3 após 20 anos.	116
Tabela 6.26 - Probabilidade de Falha para fadiga para 20 anos – modelo 1.	117
Tabela 6.27 - Probabilidade de falha no ponto 11 após o primeiro ano.	122
Tabela 6.28 - Probabilidade de falha no ponto 3 após o primeiro ano.	125
Tabela 6.29 - Probabilidade de Falha para fadiga – modelo 2.	126
Tabela 6.30 – Probabilidade de Falha Total dos pontos analisados para os dois modelos após 20 anos.	130
Tabela 6.31 - Classificação dos níveis de Probabilidade de Falha.	131
Tabela 6.32 - Classificação dos níveis de Consequência de Falha.	133
Tabela 6.33 - Níveis de Risco.	134
Tabela 7.1 – Risco dos pontos analisados nos anos 1, 5, 10,15 e 20.	140
Tabela 7.2 – Periodicidade das Inspeções.	141
Tabela 7.3 – Periodicidade de Inspeção após 1 ano de operação do Guincho Hidráulico.	141
Tabela B.1 - Dimensões e Reações no Parafuso- Pino da Articulação.	154
Tabela B.2 - Dimensões do Parafuso – Pino da Articulação.	154
Tabela B.3 - Tensões dos Pontos analisados no Parafuso – Pino da Articulação.	154
Tabela B.4 - Dimensões e Reações no Parafuso- Pino do Cilindro.	155
Tabela B.5 - Dimensões do Parafuso- Pino do Cilindro.	156
Tabela B.6 - Tensões dos Pontos analisados no Parafuso- Pino do Cilindro.	156
Tabela B.7 - Dimensões e Reações no Suporte da Articulação.	158
Tabela B.8 - Tensões dos Pontos analisados no Suporte da	

Articulação.	158
Tabela B.9 - Dimensões e Reações no Suporte do Cilindro.	160
Tabela B.10 - Tensões do Ponto analisado no Suporte do Cilindro.	160
Tabela B.11 – Reações na Lança.	161
Tabela B.12 - Reações na Lança.	161
Tabela B.13 - Dimensões e Momento de Inércia na seção Transversal da Base.	162
Tabela B.14 - Tensões dos Pontos analisados na Base.	163
Tabela B.15 - Dimensões, Momento de Inércia e Reações na Coluna.	165
Tabela B.16 - Tensões dos Pontos analisados na Coluna.	165
Tabela D.1 – Tabela de condições de Método do Estimador de Thompson.	170