

Referências Bibliográficas

[1] Graciela N. Doz e José Luís de Brito, “Avaliação de dano em estruturas por intermédio das características dinâmicas” , First South-American congress on Computational Mechanics -(MECOM2002), Santa Fe, Argentina, 2002.

[2] Freire, J.L.F., Castro, J., Otegui, J.L., Manfredi, C., “Aspectos Gerais da Avaliação de Integridade e Extensão de Vida de Estruturas e Equipamentos Industriais”, ABCM/DT-PROMAI-001.0/96.

[3] José Luiz de França Freire, “Notas de aula do curso de Integridade Estrutural de Dutos”, dado no programa do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

[4] Jaime Tupiassú P. e Marco A. Meggiolaro, “Fadiga sob cargas reais de serviço-Fundamentos da Estatística Aplicada ao Projeto Mecânico”- Departamento de Engenharia Mecânica , PUC-Rio

[5] José de Jesus Leal Carvajalino, “Desempenho das Ferramentas de Inspeção em Linha e sua Influência na Confiabilidade Estrutural de Dutos Corroídos”, Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, PUC Rio, Maio 2004.

[6] Norma API 581 RBD, “Risk – Based Inspection – Base Resource Document”, American Petroleum Institute , Maio 2000.

[7] João Barusso Lafraia, “Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade”.PETROBRAS, Recursos Humanos.QUALITYMARK ,2001.

[8] Alessandro Barbosa Silva, “Programa de Inspeção para Ponte Rolante Baseado em Risco”, Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, PUC Rio, Dezembro 2004.

[9] Fábio de Castro Marangone, “Gerenciamento da Integridade de equipamentos utilizando a Inspeção baseada em Risco”, Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, PUC Rio, Setembro 2005.

[10] Marco Aurélio O. Lima, “A inspeção Baseada em Risco: Determinação Eficaz dos Riscos e dos Planos de Inspeção”, 9ª Coteq, Salvador – Bahia, Junho 2007.

[11] Daniel L. Massaro, “Inspeção Baseada em Risco como Ferramenta para gestão de ativos: Uma aplicação na unidade de recuperação de Enxofre da Petrobras UM-SIX”, 10ª Coteq, Salvador – Bahia, Maio 2009.

[12] Alberto E. Ildefonso, “Um procedimento Preliminar para a Avaliação de Integridade Estrutural aplicado às Estruturas de Grande Porte”, Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, PUC Rio, Maio 2000.

[13] Castro, J.T.P., Freire, J.L. F. e Vieira, R.D., “Fatigue Life Prediction of Repaired Welded Structures”, Journal of Constructional Steel Research, 28, 187-195, 1994.

[14] Castro, J.T.P., Freire, J.L.F. e Vieira, R.D., “Previsão de Vida Útil à Fadiga de Reparos Estruturais Soldados”, II Seminário Latino-Americano de Equipamentos e XVIII Seminário Brasileiro de Inspeção de Equipamentos, Instituto Brasileiro de Petróleo, Rio de Janeiro, pp. 384-395, 1991.

[15] Vieira, R.D., Castro, T.P., Freire, J.L.F., “Seleção e Aplicação de Técnicas de Análise Experimental de Tensões para a Inspeção e a Avaliação da Integridade Estrutural de Equipamentos”, 19º Seminário de Inspeção de Equipamentos, IBP, 551-568, Julho de 1992.

[16] Castro, J. T. P., Freire, J. L. F. e Vieira, R. D., “Avaliação de integridade Estrutural em Grandes Pórticos Soldados -- Estudo de um Caso Prático”, Anais do 20º Seminário de Inspeção de Equipamentos, 18-29, IBP, 1994.

[17] www.zeloso.com.br, “Manual de Operação e Manutenção – Guinchos Hidráulicos G 2000 / G-3000”.

[18] Beatriz Jaramillo, Jorge Andrés Calderón, Juan Guillermo Castaño, “Evaluación electroquímica de aceros autoprotectores em condiciones simuladas de laboratorio”- Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Colombia, Revista Facultad de Ingeniería N.º 37. pp. 200-210. Julio, 2006

[19] José Mauricio Santos Torres da Motta, “Dano acumulativo de fadiga em estruturas sob carregamento aleatório”, Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Abril 1990.

[20] Jaime Tupiassú P. e Marco A. Meggiolaro, “Fadiga sob cargas reais de serviço - Projeto à Fadiga sob Cargas Reais Segundo o Método SN”- Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio

[21] Norma API RP 579, “Fitness for Service”, American Petroleum Institute, Janeiro 2000.

[22] Vicente Gentil, “Corrosão”. Almeida Neves- Editores Ltda.. 1º edição, 1970.

[23] Jorge Luiz de Almeida Ferreira, “Um modelo para a previsão da incerteza do dano por fadiga”, Dissertação de Doutorado – Departamento de Engenharia Mecânica, PUC Rio, Maio 1997.

[24] Manfredo Harri Tabacniks, “Conceitos Básicos da Teoria de Erros”, Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2003.
http://www.if.usp.br/mht/tutoriais/tabacniks_concbasteorerr_rev2007.pdf

[25] Shigley J.E. , Mischke C.R. & Budynas R.G., “Mechanical Engineering Design”. Mc. Graw Hill. 7º edition, 2004.

[26] Marco Antonio Pérez Rosas, “Análise de Dutos com Perda de Espessura Reparados com Multicamadas Metálicas Coladas”, Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, PUC Rio, Maio 2006.

[27] Rodrigo P. Andolfato, Jefferson S. Camacho, Gilberto A. de Brito, “Extensometria Básica”, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, <http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Extensometria%20basica.pdf>

[28] J.L.A. Ferreira and J.L.F. Freire, “A New Model to Determine the Dispersion of Fatigue Damage Evaluations”, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences, v. XXIII, n. 4, 533-544, 2001.

[29] Section II, “Rules for the design of Mobile Equipment for Continuous Handling of Bulk Materials”, European Federation of Maintenance, 1997.

[30] Norma NBR 8400, “Cálculo de Equipamento para Levantamento e Movimentação de Cargas”, ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Março 1984.

[31] Learce de Paula Nunes, “Fundamentos de Resistência à Corrosão”. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gas-IBP, Associação Brasileira de Corrosão-ABRACO, Editora Interciência, 2007.

[32] José Luiz de França Freire, “Notas de aula do curso de Análise Experimental de Tensões”, dado no programa do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

[33] Bruno Montenegro Da Fonseca, “Inspeção baseada em risco – Estudo de caso aplicado à área offshore de produção de óleo e gás”, Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, 2002.

[34] Mario Pezzi Filho, “Aplicação de IBR, Inspeção baseada em Risco a Oleodutos segundo o API 581 BRD”, Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, PUC Rio, Maio 2003.

Apêndice A

A.1. Centróides e Momentos de inércia das secções transversais do elemento 1 (Lança)

Para os pontos 2-4-5-6:

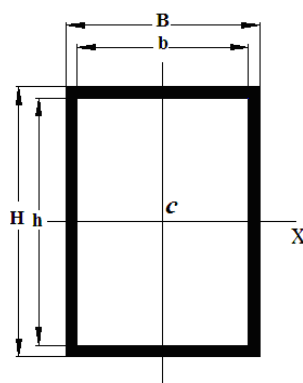


Figura A.1 - Seção Transversal dos pontos 2-4-5-6.

$$\Rightarrow I_C = \frac{BH^3 - bh^3}{12}$$

Para o ponto X:

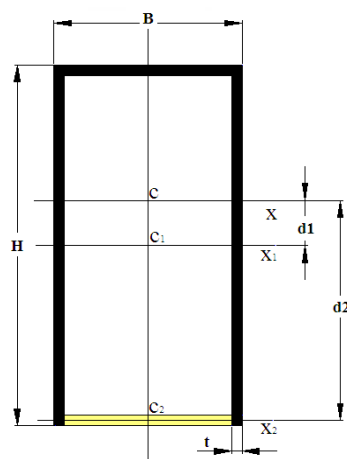


Figura A.2 - Seção Transversal do ponto X.

Calculando o centróide C:

$$c_1 = 0$$

$$A_1 = B.H - (B - 2t)(H - 2t)$$

$$c_2 = -\left(\frac{H - t}{2}\right)$$

$$A_2 = -(B - 2t)t$$

$$Q_x = \sum c_i A_i = \left(\frac{H - t}{2}\right)(B - 2t)t$$

$$c = \frac{Q_x}{A_t} = \frac{\left(\frac{H - t}{2}\right)(B - 2t)t}{B.H - (B - 2t)(H - 2t) - (B - 2t)t}$$

$$H = 170$$

$$B = 88$$

$$t = 5$$

$$? \quad c = 15.39$$

Calculando o Momento de Inércia no eixo que passa pelo centróide:

$$I_{1 \times 1} = \frac{B.H^3 - (B - 2t)(H - 2t)^3}{12}$$

$$d_1 = c$$

$$I_{2 \times 2} = \frac{(B - 2t)t^3}{12}$$

$$d_2 = c - c_2$$

$$I_c = (I_{1 \times 1} + A_1.d_1^2) - (I_{2 \times 2} + A_2.d_2^2)$$

$$\Rightarrow \quad I_c = 6254091.056 \text{ mm}^4$$

Para o ponto 3 :

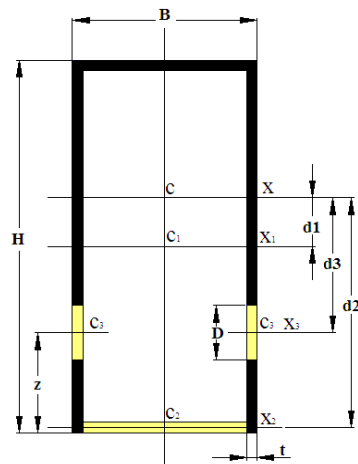


Figura A.3 - Seção Transversal do Ponto 3.

Calculando o centróide C:

$$c_1 = 0$$

$$A_1 = B.H - (B - 2.t)(H - 2.t)$$

$$c_2 = -\left(\frac{H - t}{2}\right)$$

$$A_2 = -(B - 2.t)t$$

$$c_3 = -\left(\frac{H}{2} - z\right)$$

$$A_3 = -2.D.t$$

$$Q_x = \sum c_i A_i = \left(\frac{H - t}{2}\right)(B - 2.t)t + \left(\frac{H}{2} - z\right)2.D.t$$

$$c = \frac{Q_x}{A_t} = \frac{\left(\frac{H - t}{2}\right)(B - 2.t)t + \left(\frac{H}{2} - z\right)2.D.t}{B.H - (B - 2.t)(H - 2.t) - (B - 2.t)t - 2.D.t}$$

$$H = 180$$

$$B = 88$$

$$t = 5$$

$$D = 26.4$$

$$z = 48.2$$

$$? \quad c = 23.45$$

Calculando o Momento de Inércia no eixo que passa pelo centróide:

$$I_{1 \times 1} = \frac{B.H^3 - (B - 2t)(H - 2t)^3}{12}$$

$$d_1 = c$$

$$I_{2 \times 2} = \frac{(B - 2t).t^3}{12}$$

$$d_2 = c - c_2$$

$$I_{3 \times 3} = \frac{2.t.D^3}{12}$$

$$d_3 = c - c_3$$

$$I_c = (I_{1 \times 1} + A_1.d_1^2) - (I_{2 \times 2} + A_2.d_2^2) - (I_{3 \times 3} + A_3.d_3^2)$$

$$\Rightarrow \quad I_c = 6311245.133 \text{ mm}^4$$

Apêndice B

B.1 Elemento 3 (Parafuso-Pino da Articulação) - Diagrama de corpo livre

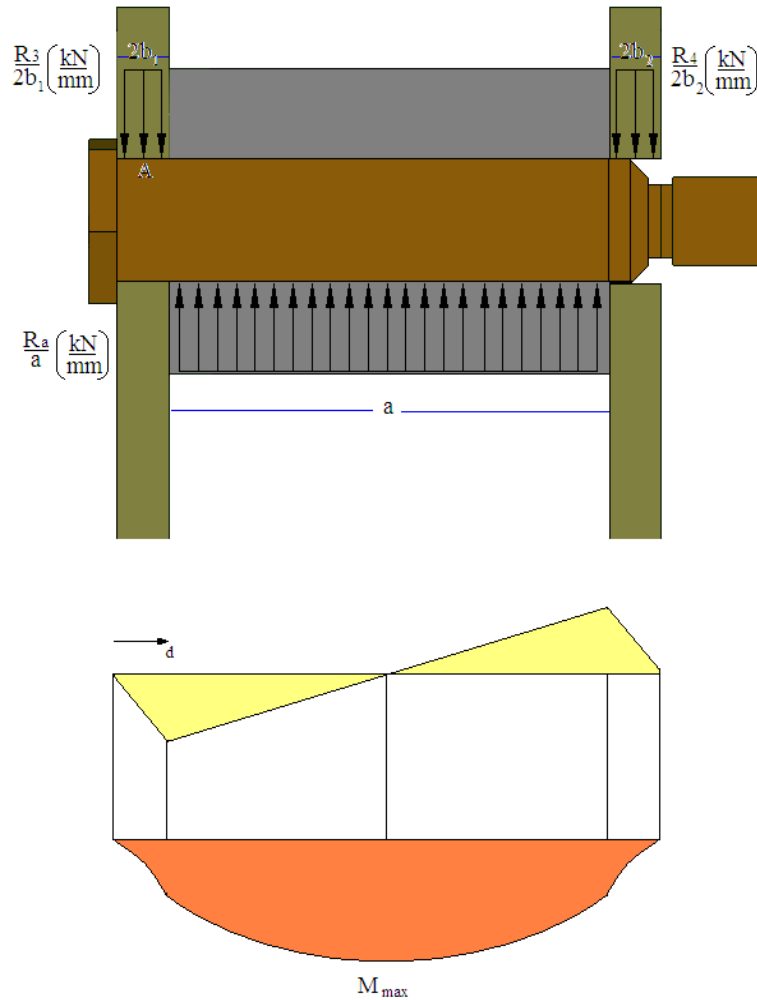


Figura B.1 - Diagrama de corpo livre, força cortante e momento fletor do parafuso-pino da articulação.

$$R_3 + R_4 = R_a \quad (B.1)$$

$$\sum M_A = 0 \quad R_a \cdot \left(\frac{a}{2} + b_1 \right) = R_4 \cdot (b_1 + b_2 + a) \quad (B.2a)$$

$$R_4 = \frac{R_a \cdot \left(\frac{a}{2} + b_1 \right)}{(b_1 + b_2 + a)} \quad (\text{B.2b})$$

$$M_{\max} = R_3 \cdot \frac{\left(\frac{a}{2} + 2b_1 \right)}{2} \quad (\text{B.3})$$

a	111	mm
b1	6,5	mm
b2	2,5	mm

R4	25,50	KN
R3	23,86	KN

Mmax	817,18	N.m
------	--------	-----

Tabela B.1 - Dimensões e Reações no Parafuso- Pino da Articulação.

Sabendo que:

$$I = \frac{p \cdot d^4}{64} \quad (\text{B.4})$$

$$s = \frac{64 \cdot M \cdot c}{p \cdot d^4} \quad (\text{B.5})$$

d (Ø)	30,00	mm
I	39760,88	mm ⁴
c	15	mm
s1 (max)	308,29	MPa

Tabela B.2 - Dimensões do Parafuso – Pino da Articulação.

Finalmente as tensões nos pontos são:

Ponto	d (mm)	s (MPa)
15	0	0,00
16	13	58,51
17	40,8	245,84
18	68,5	308,29
19	96,25	224,31
20	124	24,05
21	0	0,00

Tabela B.3 - Tensões dos Pontos analisados no Parafuso – Pino da Articulação.

B.2 Elemento 4 (Parafuso- Pino do Cilindro)- Diagrama de corpo livre

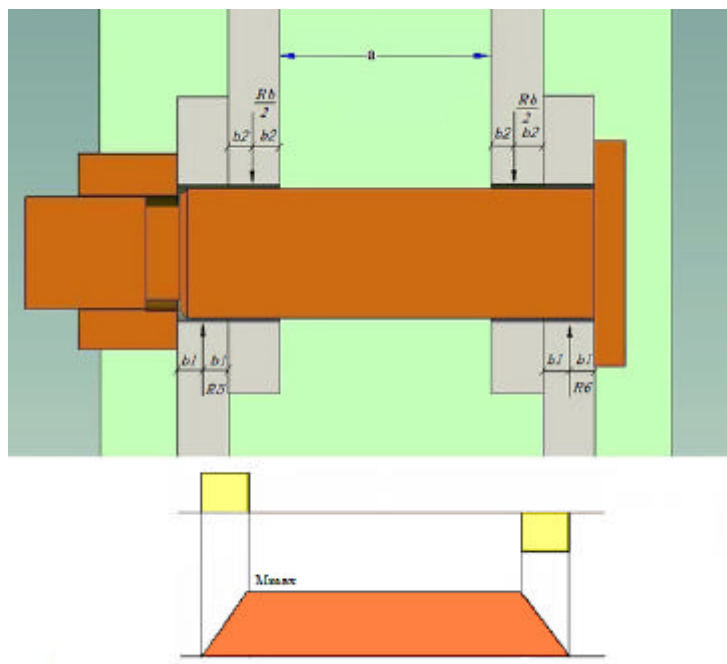


Figura B.2 - Diagrama de corpo livre, força cortante e momento fletor do parafuso-pino do cilindro.

$$R_5 + R_6 = R_B \quad (B.6)$$

$$R_5 = R_6 \quad (B.7)$$

$$M_{\max} = R_5 \cdot (b_1 + b_2) \quad (B.8)$$

a	40,00	mm
b1	5,00	mm
b2	5,00	mm

R5	29,55	KN
R6	29,55	KN

M1 (max)	295,53	N.m
----------	--------	-----

Tabela B.4 - Dimensões e Reações no Parafuso- Pino do Cilindro.

Sabendo que:

$$I = \frac{p \cdot d^4}{64} \quad (\text{B.9})$$

$$s = \frac{64 \cdot M \cdot c}{p \cdot d^4} \quad (\text{B.10})$$

d (Ø)	25,40	mm
I	20431,76	mm ⁴
c	12,7	mm
s1 (max)	183,69	MPa

Tabela B.5 - Dimensões do Parafuso- Pino do Cilindro.

Finalmente as tensões nos pontos são:

Ponto	d (mm)	s (MPa)
22	0	0,00
23	5	91,85
24	10	183,69
25	20	183,69
26	50	183,69
27	60	183,69
28	65	91,85
29	70	0,00

Tabela B.6 - Tensões dos Pontos analisados no Parafuso-Pino do Cilindro.

B.3 Elemento 5(Suporte da Articulação) - Diagrama de corpo livre

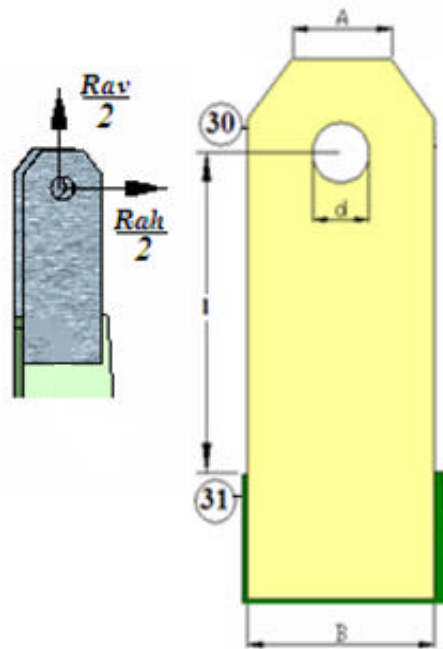


Figura B.3 - Diagrama de corpo livre do Suporte da articulação.

Tensão de Tração no Ponto 30:

$$s_{t30} = \frac{R_{av}}{2.(B-d).t} \quad (B.11)$$

Tensão de Tração no Ponto 31:

$$s_{t31} = \frac{R_{av}}{2.B.t} \quad (B.12)$$

Tensão de Flexão no Ponto 31:

$$s_{f31} = \frac{M.c}{I} = \frac{\frac{R_{ah}}{2}.l.\frac{B}{2}}{I} \quad (B.13)$$

$$I = \frac{t.B^3}{12} \quad (B.14)$$

$$s_{f31} = \frac{M.c}{I} = \frac{3.R_{ah}.l}{t.B^2} \quad (B.15)$$

Tensão Total no Ponto 31:

$$s_{31} = s_{f31} + s_{t31} \quad (B.16)$$

Sabendo que:

Rav/2	24,47	KN
Rah/2	3,19	KN
A	54	mm
B	102	mm
d	31	mm
t	13	mm
L	151	mm

Tabela B.7 - Dimensões e Reações no Suporte da Articulação.

Finalmente as tensões nos pontos são:

Ponto	s (MPa)
30	26,52
31	39,84

Tabela B.8 - Tensões dos Pontos analisados no Suporte da Articulação.

B.4. Elemento 6(Suporte do Cilindro) - Diagrama de corpo livre

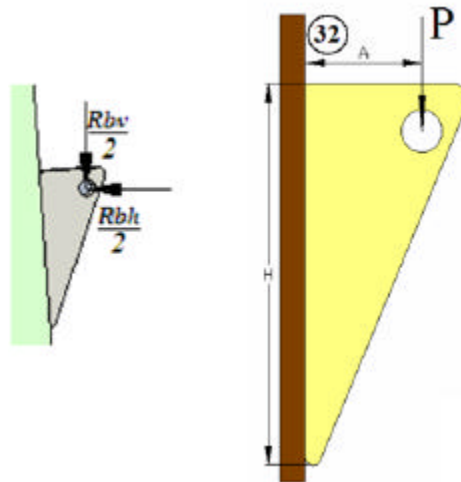


Figura B.4 - Diagrama de corpo livre do Suporte do Cilindro.

Tensão de Flexão no Ponto 32:

$$s_{f32} = \frac{M.c}{I} = \frac{\frac{R_{bv}}{2} . A . \frac{H}{2}}{I} \quad (B.17)$$

$$I = \frac{t.H^3}{12} \quad (B.18)$$

Tensão de Compressão no Ponto 32:

$$s_{c32} = \frac{R_{bh}}{2.H.t} \quad (B.19)$$

Tensão Total no Ponto 32:

$$s_{32} = s_{f32} + s_{c32} \quad (B.20)$$

Sabendo que:

A	75	mm
H	260	mm
t	10	mm
$P=Rbv/2$	29,38	KN
$R=Rbh/2$	3,19	KN

Tabela B.9 - Dimensões e Reações no Suporte do Cilindro.

Finalmente a tensão no ponto:

Ponto	s (MPa)
32	18,33

Tabela B.10 - Tensões do Ponto analisado no Suporte do Cilindro.

B.5. Elemento 7 (Base)- Diagrama de corpo livre

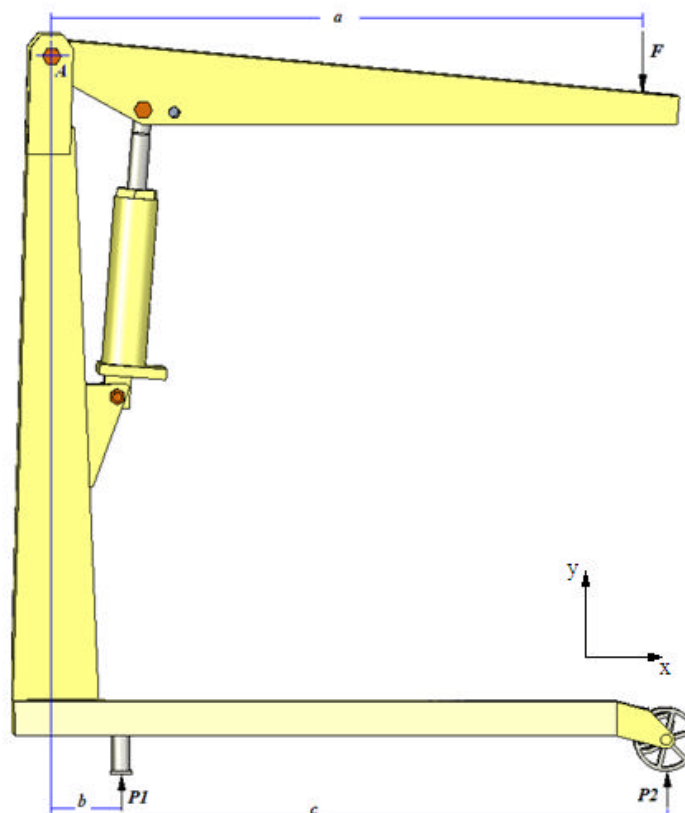


Figura B.5 - Diagrama de corpo livre do Guincho Hidráulico.

$$\sum F_y = 0 \quad P_1 + P_2 = F \quad (\text{B.21})$$

$$\sum M_A = 0 \quad F.a = P_1.b + P_2.c \quad (\text{B.22})$$

Sabendo que:

a	1449	mm
b	237	mm
c	1552	mm
F	9,81	KN

Tabela B.11 – Reações na Lança.

Tem-se que:

P2	9,04	KN
P1	0,77	KN

Tabela B.12 - Reações na Lança.

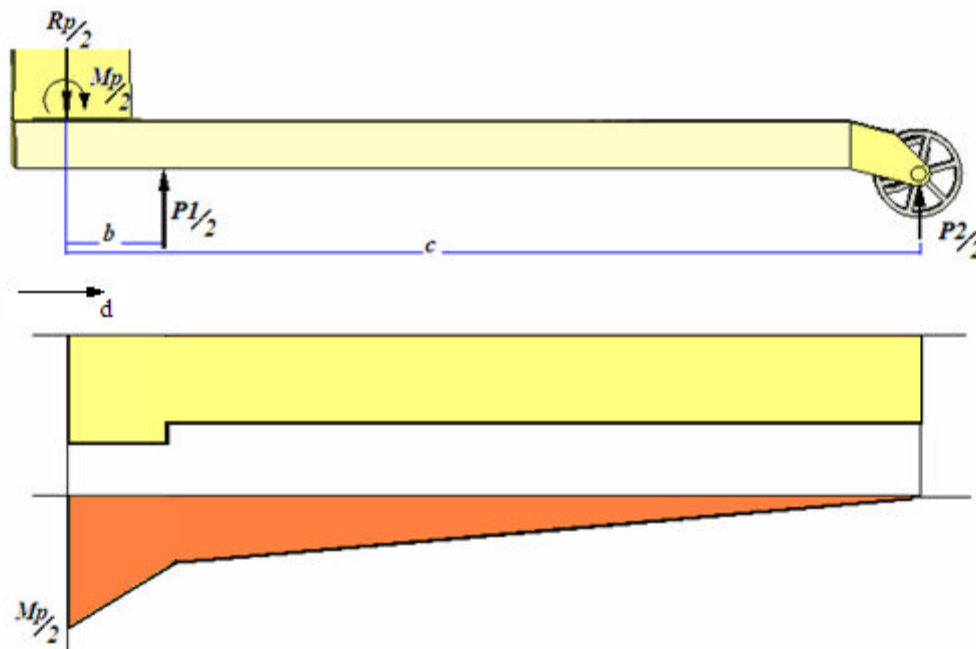


Figura B.6 - Diagrama de corpo livre, força cortante e momento fletor da Base.

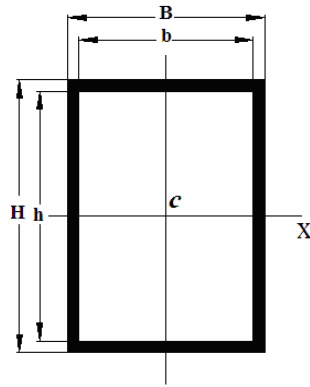


Figura B.7 - Seção Transversal da Base.

$$M_p = F.a \quad (B.23)$$

$$I_c = \frac{B.H^3 - (b.h^3)}{12} \quad (B.24)$$

$$b = B - 2t \quad (B.25)$$

$$h = H - 2t \quad (B.26)$$

$$s = \frac{M.y}{I} \quad (B.27)$$

Sabendo que:

B	80	mm
H	80	mm
t	5	mm
I	1412500	mm ⁴
c	40	mm

Tabela B.13 - Dimensões e Momento de Inércia na seção Transversal da Base.

Finalmente a tensões nos pontos são:

Ponto	d (mm)	s (MPa)
33	0	201,27
34	118	184,83
35	237	168,38
36	658	114,51
37	986	72,41
38	1552	0,00

Tabela B.14 - Tensões dos Pontos analisados na Base.

B.6. Elemento 8 (Coluna)- Diagrama de corpo livre

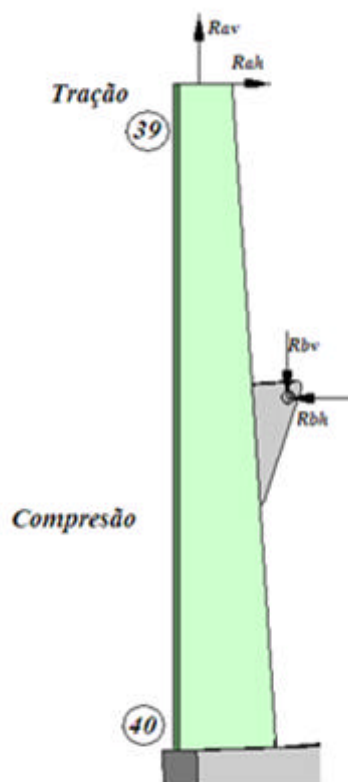


Figura B.8 - Diagrama de Corpo Livre da Coluna.

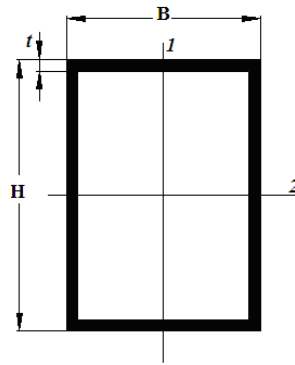


Figura B.9 - Seção Transversal da Coluna.

Tensão no Ponto 39:

$$s_{39} = \frac{R_{av}}{A_{39}} \quad (B.28)$$

$$A_{39} = B_{39} \cdot H_{39} - (B_{39} - 2t) \cdot (H_{39} - 2t) \quad (B.29)$$

Tensão de Tração no Ponto 40:

$$s_{t40} = \frac{(R_{bv} - R_{av})}{A_{40}} \quad (B.30)$$

Tensão de flexão no Ponto 40:

$$s_{f40} = \frac{M_p \cdot y}{I_1} \quad (B.31)$$

$$I_1 = \frac{H_{40} \cdot B_{40}^3 - h_{40} \cdot b_{40}^3}{12} \quad (B.32)$$

Tensão Total no Ponto 40:

$$s_{40} = s_{t40} + s_{f40} \quad (B.33)$$

$$b_{40} = B_{40} - 2t \quad (B.34)$$

$$h_{40} = H_{40} - 2t \quad (B.35)$$

Sabendo que:

B39	111	mm
H39	111	mm
t	5	mm
B40	155,17	mm
H40	111	mm
I ₁	8809689,96	mm ⁴
R _{av}	48,95	KN
R _{bv}	58,76	KN
M _p	14214,69	N.m

Tabela B.15 - Dimensões, Momento de Inércia e Reações na Coluna.

Tem-se finalmente:

Ponto	s (MPa)
39	23,09
40	121,36

Tabela B.16 - Tensões dos Pontos analisados na Coluna.

Apêndice C

C.1 Comparação das medições

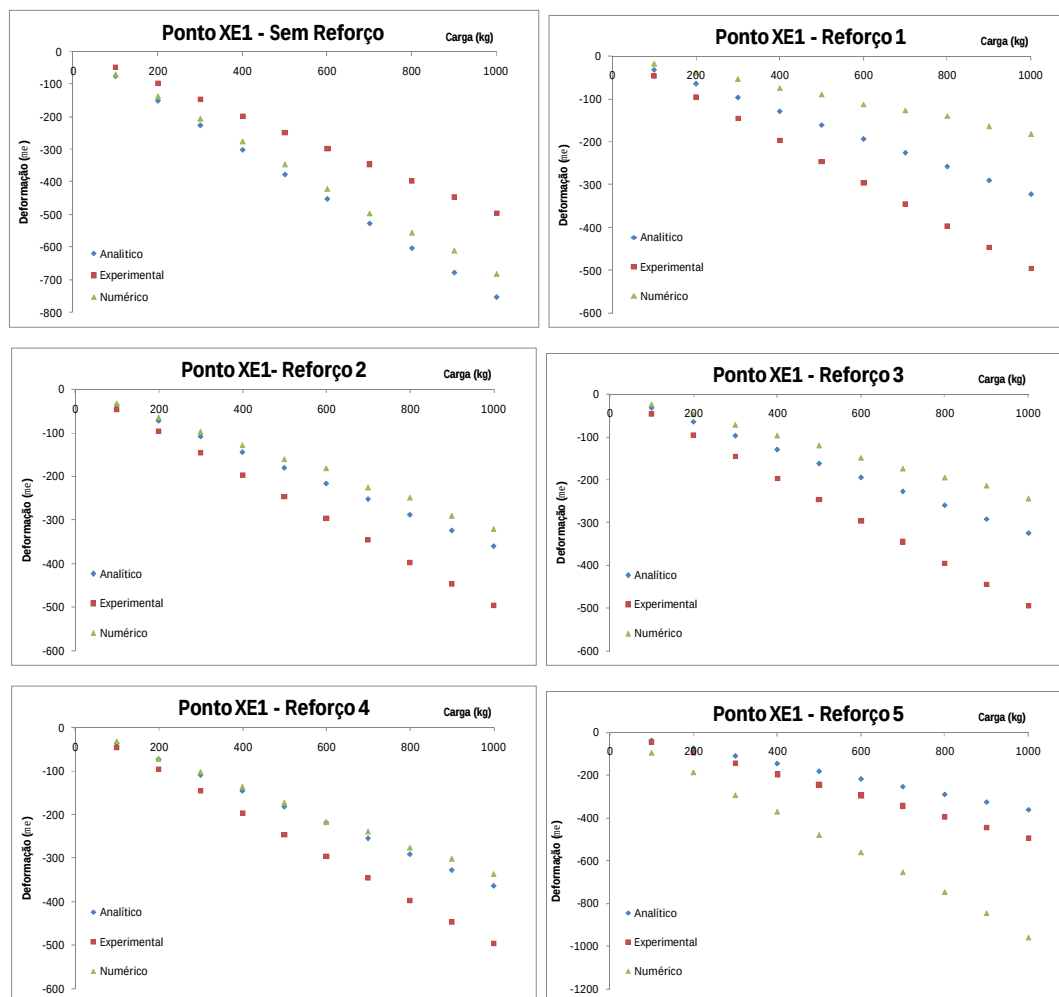


Figura C.1 – Comparação das medições dos três métodos para diferentes tipos de reforço no ponto XE1.

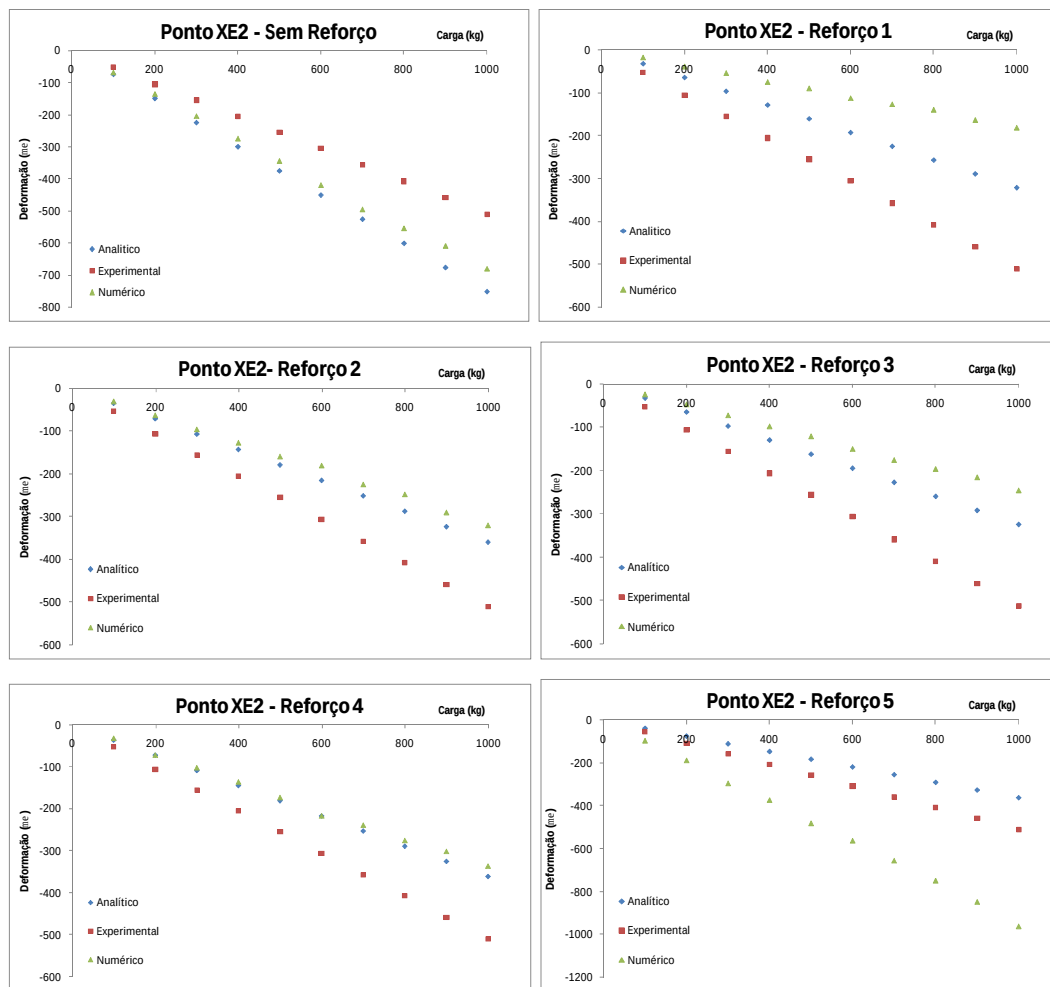


Figura C.2 – Comparação das medições dos três métodos para diferentes tipos de reforço no ponto XE2.

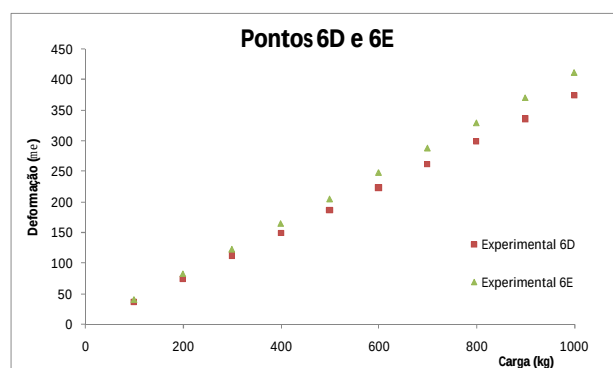


Figura C.3 - Comparação das medições no Ponto 6 (direita e esquerda).

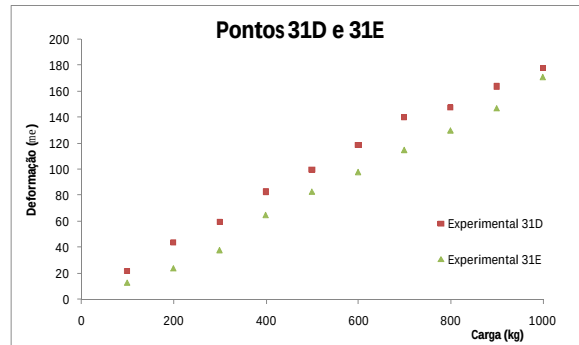


Figura C.4 - Comparação das medições no Ponto 31 (direita e esquerda).

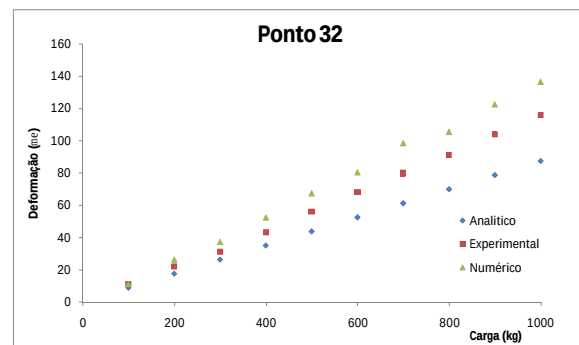


Figura C.5 - Comparação das medições dos três métodos no Ponto 32.

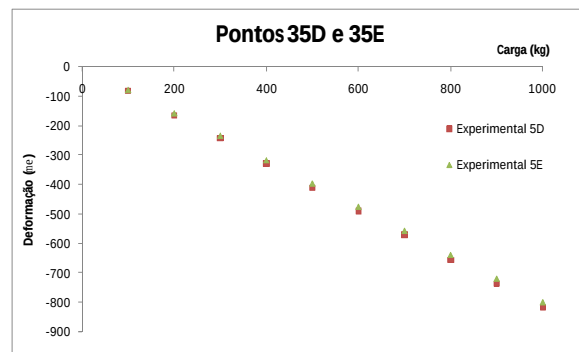


Figura C.6 - Comparação das medições no Ponto 35 (direita e esquerda).

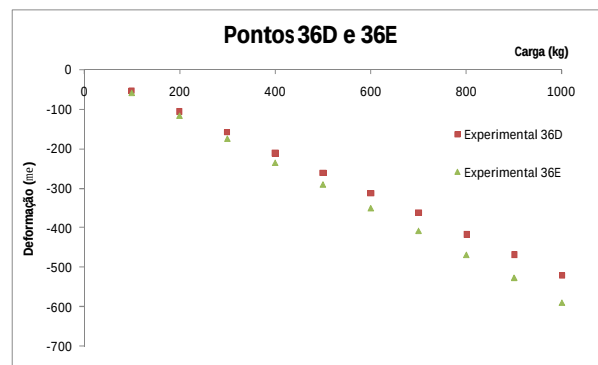


Figura C.7 – Comparação das medições no Ponto 36 (direita e esquerda).

Apêndice D

Os métodos para calcular o desvio padrão entre os resultados numéricos e experimentais são mencionados em [5]:

D.1 Método do Estimador de Grubbs

Avalia as variâncias dos erros de medição mediante as seguintes equações:

$$s_{e1G}^2 = s_1^2 - s_{12} \quad (D.1a)$$

$$s_{e2G}^2 = s_2^2 - s_{12} \quad (D.1b)$$

Onde, s_{e1G}^2 e s_{e2G}^2 são respectivamente as variâncias dos erros de medição para a ferramenta 1 e 2, s_1^2 é a variância das medições realizadas pela ferramenta 1, s_2^2 é a variância das medições realizadas pela ferramenta 2 e s_{12} é a covariância entre as medições realizadas por estas ferramentas

$$s_1^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right] \quad (D.2a)$$

$$s_2^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \quad (D.2b)$$

$$s_{12} = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \right] \quad (D.2c)$$

Os desvios padrões dos erros de medição s_{e1G} e s_{e2G} para cada ferramenta são obtidos da seguinte forma:

$$s_{e1G} = \pm \sqrt{s_{e1G}^2} \quad (D.3a)$$

$$s_{e2G} = \pm \sqrt{s_{e2G}^2} \quad (D.3b)$$

O método de Grubbs não pode ser aplicado se $s_1^2 < s_{12}$ ou $s_2^2 < s_{12}$. Para isso, outros estimadores desenvolvidos por Jaech e Thompson podem ser usados.

D.2 Método do Estimador de Thompson

Diz que a dispersão total pode ser dada à ferramenta cuja variância é maior que a covariância, enquanto a outra fica com erro de medição igual a zero. É usado igual que o método de Grubbs sem as restrições deste.

CONDIÇÕES	s_{e1T}^2	s_{e2T}^2
$s_2^2 > s_{12} \geq s_1^2$	0	$s_1^2 + s_2^2 - 2s_{12}$
$s_1^2 > s_{12} \geq s_2^2$	$s_1^2 + s_2^2 - 2s_{12}$	0
$s_{12} \leq 0$	s_1^2	s_2^2
$s_1^2 = s_{12} = s_2^2$	0	0
$s_1^2 = s_{12} = 0$	0	s_2^2
$s_2^2 = s_{12} = 0$	s_1^2	0

Tabela D.1 – Tabela de condições de Método do Estimador de Thompson.

$$s_{e1T} = \pm \sqrt{s_{e1T}^2} \quad (D.4a)$$

$$s_{e2T} = \pm \sqrt{s_{e2T}^2} \quad (D.4b)$$

D.3 Método do Estimador de Jaech

Define uma integral para a estimação do erro de uma ferramenta de medição. Este estimador define uma quantidade de dispersão v , associada a cada ferramenta. O valor de v é limitado entre 0 e 1. Se v for igual a 0 ou 1, toda a dispersão é associada a uma das duas ferramentas. Para cada valor de v o espalhamento nas medições é atribuído na proporção de v e de $v-1$.

Jaech define a dispersão total S e uma função de compartilhamento $f(v)$ para o cálculo das variâncias nos erros de medição.

$$S = \frac{n-1}{n} (s_1^2 + s_2^2 - 2s_{12}) \quad (D.5)$$

$$f_{(v)} = [s_1^2 (1-v)^2 + v^2 s_2^2 - 2v(1-v)s_{12}]^{\frac{-n}{2}} \quad (D.6)$$

As variâncias dos erros de medição são definidas pelas seguintes equações:

$$s_{e1J}^2 = \frac{S \cdot I_0}{I_1} \quad (D.7a)$$

$$s_{e2J}^2 = S - s_{e1J}^2 \quad (D.7b)$$

Onde I_0 e I_1 são duas integrais baseadas na função de compartilhamento e quantidade de dispersão v .

$$I_0 = \int_0^1 v \cdot f_{(v)} \cdot dv \quad (D.8a)$$

$$I_1 = \int_0^1 f_{(v)} \cdot dv \quad (D.8b)$$

$$s_{e1J} = \pm \sqrt{s_{e1J}^2} \quad (D.9a)$$

$$s_{e2J} = \pm \sqrt{s_{e2J}^2} \quad (D.9b)$$