

5

Análise dos Resultados.

Para a determinação das pontes rolantes críticas, utilizou-se o método qualitativo, utilizado em análise baseada em risco [3], através da elaboração de uma matriz de risco 4 x 4, conforme mostrado na Figura 5.1.

5.1

Pontes Rolantes Críticas.

As pontes rolantes críticas foram definidas através da matriz de risco COF x FOF (conseqüência da ocorrência de falhas x freqüência de ocorrência das falhas).

5.1.1

Matriz de Risco.

O objetivo da identificação das pontes rolantes críticas, é a priorização das mesmas no programa de inspeção e manutenção, objeto do estudo, através da aplicação dos métodos e freqüências de inspeção determinados no § 6, para os componentes críticos.

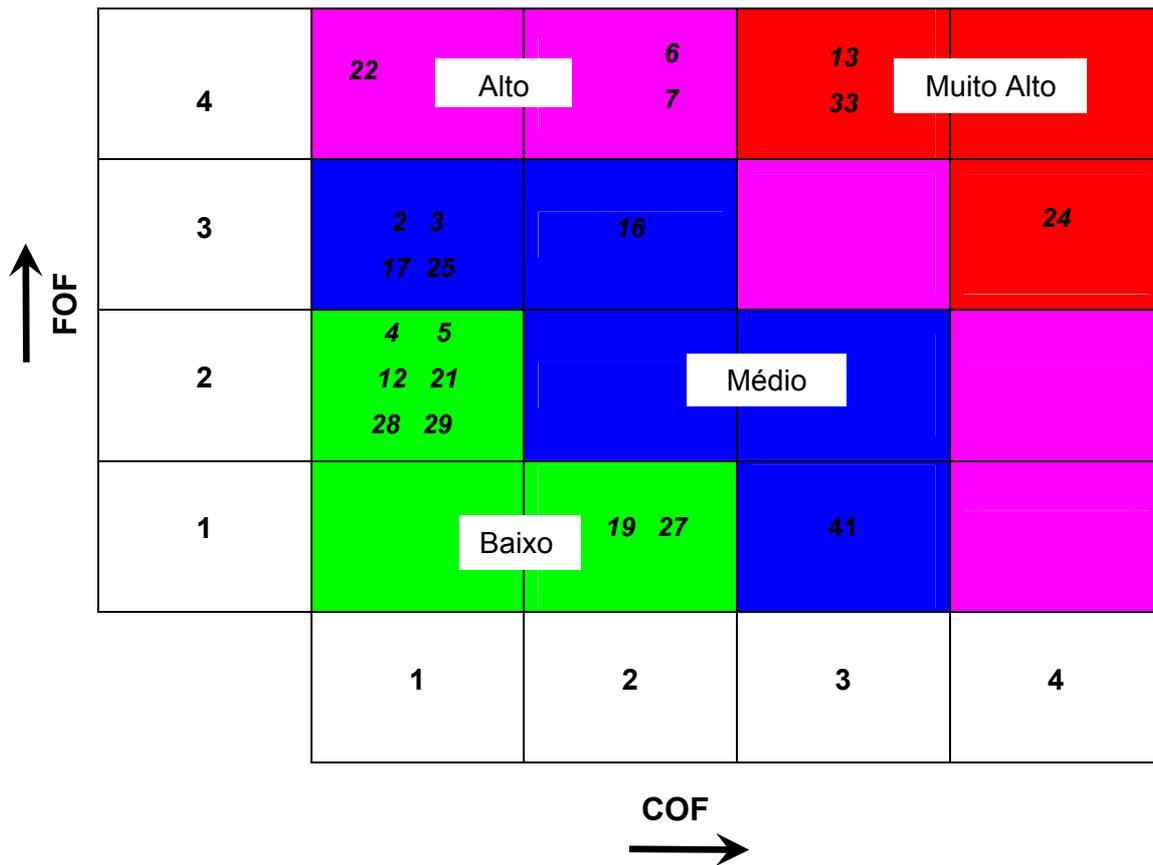


Figura 5.1 – Pontes Rolantes Plotadas na Matriz de Risco

Encontram-se posicionadas na matriz de risco (Figura 5.1) as pontes rolantes, sendo que as seis pontes críticas, ou seja, as consideradas de risco **alto** e **muito alto** para a empresa são as pontes 06, 07, 13, 22, 24 e 33.

Conforme mostra com maiores detalhes o § 6, estas pontes rolantes estão instaladas em 03 áreas distintas da empresa, as pontes rolantes 06, 07 e 13 na área de fusão de ferro fundido (fornos a indução), a 22 e a 24 na área de moldação automatizada pesada (ponte 22 no setor de vazamento de metal líquido nos moldes e 24, na confecção dos moldes) e a 33, na área de fundição de virabrequins (linha de vazamento de metal líquido).

A Tabela 5.2 mostra as horas paradas para correção das pontes rolantes críticas e o percentual representativo do total de horas para correção da família de pontes rolantes no período de janeiro de 1995 à junho de 2002, o que constata que as mesmas são críticas, pois são responsáveis por **mais de 50%** do total de horas da família de pontes rolantes.

A Tabela 5.3 apresenta o risco total calculado para as 20 pontes rolantes e a Tabela 5.4 o risco calculado para as 6 pontes rolantes críticas, o que reafirma o mostrado na Tabela 5.2, sendo estes equipamentos críticos

responsáveis por **84,17% do risco total** calculado para a família das 20 pontes rolantes. O risco foi calculado através da fórmula: $Risco = \sum_{i=1}^n H_i * C_i$

PONTES	Total de Horas Paradas Por Ponte (h)	% das pontes críticas / Total de horas da família de pontes
6	2137,38	20,06%
7	1292,65	12,13%
13	1167,7	10,96%
22	111,36	1,05%
24	609,17	5,72%
33	752,03	7,06%
TOTAL	6070,29	56,98%

Tabela 5.2 – Percentual Representativo das Pontes Rolantes Críticas na Família Pontes Rolantes

Cálculo do Risco Total Para as 20 Pontes Rolantes			
Pontes	Total de Horas Paradas jan/95 a jun/02 (H_i → h)	Custo com Parada / hora (C_i → R\$/h)	Risco (H_i x C_i → R\$)
2	419,26	9,88	4.142,29
3	439,02	41,91	18.399,33
4	345,98	9,88	3.418,28
5	177,77	46,57	8.278,75
6	2.137,38	120,48	257.511,54
7	1.292,65	120,48	155.738,47
12	398,11	27,11	10.792,76
13	1.167,70	271,09	316.551,79
16	667,42	225,91	150.776,85
17	578,01	93,13	53.830,07
19	156,75	180,73	28.329,43
21	162,42	27,94	4.538,01
22	111,36	1.275,50	142.039,68
24	609,17	1.275,50	776.996,34
25	514,72	19,77	10.176,01
27	29,00	100,22	2.906,38
28	292,91	93,13	27.278,71
29	381,33	55,88	21.308,72
33	752,03	301,67	226.864,89
41	20,00	427,08	8.541,60
Total (Σ)	10.652,99	4.723,86	2.228.419,91

Tabela 5.3 – Cálculo do Risco Total Para as 20 Pontes Rolantes

Cálculo do Risco Para as 6 Pontes Rolantes Críticas			
Pontes	Total de Horas Paradas jan/95 a jun/02 (H_i → h)	Custo com Parada / hora (C_i → R\$/h)	Risco (H_i x C_i → R\$)
6	2.137,38	120,48	257.511,54
7	1.292,65	120,48	155.738,47
13	1.167,70	271,09	316.551,79
22	111,36	1.275,50	142.039,68
24	609,17	1.275,50	776.996,34
33	752,03	301,67	226.864,89
Total (Σ)	6.070,29	3.364,72	1.875.702,71

Tabela 5.4 – Cálculo do Risco Total Para as 6 Pontes Rolantes Críticas

5.2

Componentes Críticos.

Para determinação dos cinco componentes críticos do conjunto de pontes rolantes foram determinados os cinco componentes responsáveis pelo maior número de horas em que cada uma das 20 pontes rolantes tiveram seu funcionamento interrompido para manutenção.

Após a identificação destes 5 componentes para cada ponte rolante, foram determinados os cinco componentes críticos gerais, baseados nos 5 piores componentes de cada uma das 20 pontes rolantes, considerando a quantidade de horas em que estas permaneceram paradas gerando perdas de negócios.

A Tabela 5.5 relaciona os 5 componentes com maiores frequências de manutenção para cada uma das 20 pontes rolantes e na Tabela 5.6 estão identificados os cinco componentes críticos gerais da família de pontes rolantes e das 6 pontes rolantes críticas.

Para aplicação do programa de inspeção baseado em risco deverá ser levada em consideração a consequência de ocorrência de falha referente à segurança, no momento da determinação dos componentes críticos.

PONTE	COMP. CRÍTICO 1	Horas	COMP. CRÍTICO 2	Horas	COMP. CRÍTICO 3	Horas	COMP. CRÍTICO 4	Horas	COMP. CRÍTICO 5	Horas
2	RODA MOTRIZ DA PONTE	108	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DA PONTE	71,92	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	55,42	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DO CARRO	49,92	CABO DE AÇO	24
3	GUINCHO	122,84	CABO DE AÇO	95,83	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	64,85	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DO CARRO	46,5	VIGA PRINCIPAL DA PONTE	33,5
4	EIXO DE TRACÇÃO DA PONTE	183,4	CABO DE AÇO	100,25	EIXO DE TRACÇÃO DO CARRO	25	RODA MOTRIZ DA PONTE	15,5	GUINCHO	10,83
5	GUINCHO	68,61	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	57,83	CABO DE AÇO	37,5	TRILHO DA PONTE	10,83	EIXO DE TRACÇÃO DA PONTE	3
6	RODA MOTRIZ DA PONTE	645,66	TRILHO DA PONTE	295,94	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DA PONTE	293,34	EIXO DE TRACÇÃO DA PONTE	214,16	RODA MOTRIZ DO CARRO	164
7	TRILHO DA PONTE	249,25	RODA MOTRIZ DA PONTE	216,08	EIXO DE TRACÇÃO DA PONTE	208,74	CABO DE AÇO	143,13	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DA PONTE	140,84
12	GUINCHO	107,58	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DA PONTE	105,18	VIGA PRINCIPAL DA PONTE	43,5	CABO DE AÇO	34,5	RODA MOTRIZ DA PONTE	31
13	RODA MOTRIZ DA PONTE	508,89	RODA MOVIDA DA PONTE	188,09	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DA PONTE	98,3	CABO DE AÇO	92,02	EIXO DE TRACÇÃO DA PONTE	86,5
16	CABO DE AÇO	367,67	GUINCHO	94	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DA PONTE	80,25	RODA MOTRIZ DA PONTE	51,5	TRILHO DA PONTE	47,5
17	GUINCHO	190,54	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	129,3	CABO DE AÇO	80,5	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DO CARRO	47,67	CARRO DA PONTE	39
19	RODA MOTRIZ DA PONTE	56,75	EIXO DE TRACÇÃO DA PONTE	40,5	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	20	RODA MOVIDA DA PONTE	14	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DA PONTE	10,5
21	CABO DE AÇO	53,17	GUINCHO	50,42	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	30	CARRO DA PONTE	20,5	TRILHO DA PONTE	7,33
22	CABO DE AÇO	57,5	RODA MOTRIZ DA PONTE	22	GUINCHO	16,42	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DA PONTE	6	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DO CARRO	5,2
24	RODA MOTRIZ DA PONTE	329,08	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	78,42	CABO DE AÇO	57,25	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DA PONTE	40,34	GUINCHO	39,5
25	RODA MOTRIZ DA PONTE	238,23	CABO DE AÇO	145,15	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	42,5	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DA PONTE	33,34	GUINCHO	20,75
27	CABO DE AÇO	13,5	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	6	VIGA PRINCIPAL DA PONTE	6	GUINCHO	3,5	-	-
28	RODA MOTRIZ DA PONTE	92,34	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	53,92	EIXO DE TRACÇÃO DO CARRO	46,15	GUINCHO	24,5	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DO CARRO	23,5
29	RODA MOTRIZ DA PONTE	109,83	CABO DE AÇO	106,5	TRILHO DA PONTE	33	MOTOREDUTOR DE TRACÇÃO DA PONTE	27,67	RODA MOVIDA DA PONTE	26
33	EIXO DE TRACÇÃO DA PONTE	288,97	RODA MOTRIZ DA PONTE	141,15	GUINCHO	104,25	CABO DE AÇO	72,36	RODA MOVIDA DA PONTE	65,3
41	CABO DE AÇO	13	GUINCHO	7	-	-	-	-	-	-

Tabela 5.5 – Cinco Componentes Responsáveis Pelas Maiores Frequências de Manutenção de Cada Ponte Rolante

	1º COMPONENTE POR PONTES	Ocorrências	2º COMPONENTE POR PONTES	Ocorrências	3º COMPONENTE POR PONTES	Ocorrências	4º COMPONENTE/ POR PONTES	Ocorrências	5º COMPONENTE POR PONTES	Ocorrências	Total de Horas Geral	Ordem do Comp. Crítico por Horas
	RODA MOTRIZ DA PONTE	8	RODA MOTRIZ DA PONTE	3	RODA MOTRIZ DA PONTE	0	RODA MOTRIZ DA PONTE	2	RODA MOTRIZ DA PONTE	1	2566,01	1
TOTAL HORAS	2088,78		379,23		0		67		31			
	CABO DE AÇO	5	CABO DE AÇO	4	CABO DE AÇO	3	CABO DE AÇO	4	CABO DE AÇO	1	1493,83	2
TOTAL HORAS	504,84		447,73		175,25		342,01		24			
	GUINCHO	4	GUINCHO	3	GUINCHO	2	GUINCHO	2	GUINCHO	3	860,74	5
TOTAL HORAS	489,57		151,42		120,67		28		71,08			
	EIXO DE TRAÇÃO DA PONTE	2	EIXO DE TRAÇÃO DA PONTE	1	EIXO DE TRAÇÃO DA PONTE	1	EIXO DE TRAÇÃO DA PONTE	1	EIXO DE TRAÇÃO DA PONTE	2	1025,27	3
TOTAL HORAS	472,37		40,5		208,74		214,16		89,5			
	TRILHO DA PONTE	1	TRILHO DA PONTE	1	TRILHO DA PONTE	1	TRILHO DA PONTE	1	TRILHO DA PONTE	2	654,68	6
TOTAL HORAS	249,25		295,94		33		10,83		65,66			
	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	0	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	5	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	5	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	0	MOTOREDUTOR DO GUINCHO	0	538,24	7
TOTAL HORAS	0		325,47		212,77		0		0			
	MOTOREDUTOR DE TRAÇÃO DA PONTE	0	MOTOREDUTOR DE TRAÇÃO DA PONTE	2	MOTOREDUTOR DE TRAÇÃO DA PONTE	3	MOTOREDUTOR DE TRAÇÃO DA PONTE	4	MOTOREDUTOR DE TRAÇÃO DA PONTE	2	907,68	4
TOTAL HORAS	0		177,1		471,89		107,35		151,34			
	RODA MOVIDA DA PONTE	0	RODA MOVIDA DA PONTE	1	RODA MOVIDA DA PONTE	0	RODA MOVIDA DA PONTE	1	RODA MOVIDA DA PONTE	2	293,39	8
TOTAL HORAS	0		188,09		0		14		91,3			
	EIXO DE TRAÇÃO DO CARRO	0	EIXO DE TRAÇÃO DO CARRO	0	EIXO DE TRAÇÃO DO CARRO	2	EIXO DE TRAÇÃO DO CARRO	0	EIXO DE TRAÇÃO DO CARRO	0	71,15	12
TOTAL HORAS	0		0		71,15		0		0			
	VIGA PRINCIPAL DA PONTE	0	VIGA PRINCIPAL DA PONTE	0	VIGA PRINCIPAL DA PONTE	2	VIGA PRINCIPAL DA PONTE	0	VIGA PRINCIPAL DA PONTE	1	83	11
TOTAL HORAS	0		0		49,5		0		33,5			
	MOTOREDUTOR DE TRAÇÃO DO CARRO	0	MOTOREDUTOR DE TRAÇÃO DO CARRO	0	MOTOREDUTOR DE TRAÇÃO DO CARRO	0	MOTOREDUTOR DE TRAÇÃO DO CARRO	3	MOTOREDUTOR DE TRAÇÃO DO CARRO	2	172,79	9
TOTAL HORAS	0		0		0		144,09		28,7			
	CARRO DA PONTE	0	CARRO DA PONTE	0	CARRO DA PONTE	0	CARRO DA PONTE	1	CARRO DA PONTE	1	59,5	13
TOTAL HORAS	0		0		0		20,5		39			
	RODA MOTRIZ DO CARRO	0	RODA MOTRIZ DO CARRO	0	RODA MOTRIZ DO CARRO	0	RODA MOTRIZ DO CARRO	0	RODA MOTRIZ DO CARRO	1	164	10
TOTAL HORAS	0		0		0		0		164			
TOTAL		20		20		19		19		18	8890,28	

Tabela 5.6 – Matriz Para Determinação dos Cinco Componentes Críticos da Família de Pontes Rolantes

Conforme mostrado na Tabela 5.6, os cinco componentes críticos para a família de pontes rolantes são:

- **Componente Crítico 1: Roda Motriz do Sistema de Translação da Ponte**
- **Componente Crítico 2: Cabo de Aço do Guincho**
- **Componente Crítico 3: Eixo Motriz do Sistema de Translação da Ponte**
- **Componente Crítico 4: Motoredutor do Sistema de Translação da Ponte**
- **Componente Crítico 5: Guincho da Ponte**

Conforme descrito, os cinco componentes foram os responsáveis pelas maiores perdas de tempo com interrupção dos negócios, devendo assim serem tratados de forma especial conforme veremos no § 6. Os componentes críticos estão relacionados na Tabela 5.7 com as respectivas horas submetidas a correção de falhas. O total de horas dos cinco componentes críticos representam mais de 50% do total de horas da família de pontes rolantes, o que comprova que os mesmos são críticos e necessitam de cuidado especial no programa de inspeção.

COMPONENTES CRÍTICOS	TOTAL DE HORAS	% do comp. / Total de horas das 20 pontes	% do comp. / Total dos Comp. Críticos
Roda Motriz da Ponte	2566,01	24,09%	37,44%
Cabo de Aço	1493,83	14,02%	21,80%
Eixo de Tração da Ponte	1025,27	9,62%	14,96%
Motoredutor de Tração da Ponte	907,68	8,52%	13,24%
Guincho	860,74	8,08%	12,56%
TOTAL	6853,53	64,33%	100,00%

Tabela 5.7 –Componentes Críticos das Pontes Rolantes

5.3

Flexa da Viga Principal & Estado de Conservação das Pontes Rolantes

Segundo informações obtidas na Companhia Nacional Siderúrgica (CSN)¹⁾, [12], [13], a flexa admissível da viga principal da ponte rolante deve ser no máximo igual a medida do vão da ponte rolante (medida de centro-a-centro das rodas) dividida por 1000 (vão/1000). Com base neste dado foram verificadas as flexas das vigas principais dos 20 equipamentos objetos do estudo e comparados com a flexa admissível de cada uma. Os resultados obtidos estão plotados nos gráficos da Figura 5.8, Figura 5.9 e Figura 5.10, os quais apresentam “flexas medidas” (flexa medida / vão) e “flexas admissíveis” (vão / 1000) de cada viga principal das 20 pontes rolantes, sendo que a Figura 5.8 mostra as flexas medidas sem carga, a Figura 5.9 as flexas medidas com carga içada pelo equipamento no centro do vão e a Figura 5.10 a diferença entre as flexas medidas com carga e a flexas medidas sem carga .

Alguns equipamentos possuem flexas mesmo quando sem carga (flexa permanente). A flexa com carga, segundo orientações de técnicos no assunto¹⁾, deve ser a flexa medida com a carga máxima do equipamento no centro do vão, sendo o valor medido resultado da flexa permanente mais a flexa devida a carga e é este valor que deve ser levado em consideração no momento da avaliação da viga¹⁾.

O método utilizado na obtenção das flexas, foi a fixação de um cabo de aço de diâmetro 1/8” nas extremidades da viga principal da ponte, com auxílio de hastes de cantoneira de aço, esticamento do mesmo e verificação da medida da flexa no centro do vão da viga com auxílio de um paquímetro.

Além das flexas, foi determinado também o estado de conservação das pontes rolantes, que por premissa varia de **1 a 5**, sendo 1 o melhor estado e 5 o pior. O critério utilizado para definição do estado de conservação foi visual, através do aspecto da ponte rolante, levando em consideração a limpeza, a pintura e o grau de corrosão. Estes estados de conservação estão plotados também nos gráficos.

Analisando os gráficos, nota-se que as pontes rolantes 6 e 16 encontram-se com flexa maior que a admissível, mesmo sem carga, as pontes rolantes 2, 3, 4, 6, 7, 12, 13, 16, 19, 25, 27, 28 e 29 possuem flexas com carga maiores que a admissível e existe também uma relação entre o estado de conservação e a flexa da viga principal da ponte, ou seja, com exceção da ponte rolante 12, todas

as pontes com flexas maiores que o limite admissível, possuem os piores estados de conservação.

Para aplicação do programa de inspeção baseado em risco deverá ser realizada uma análise criteriosa das vigas principais (perfis - estrutura metálica) das pontes rolantes, por técnicos qualificados levando em consideração a segurança, através da limpeza e análise dos pontos críticos por ensaios não destrutivos (LP - líquido penetrante, por exemplo).

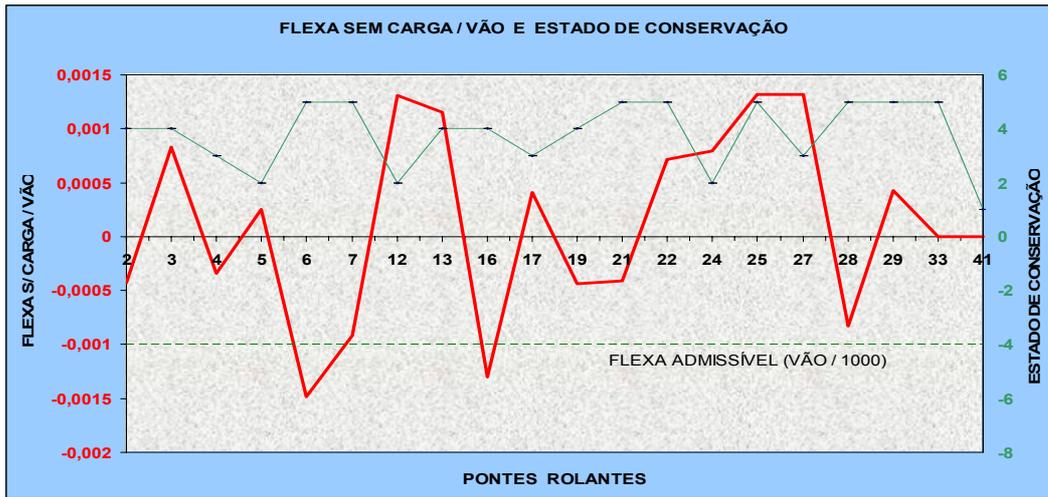


Figura 5.8 – Gráfico - Flexa sem Carga e Flexa Admissível

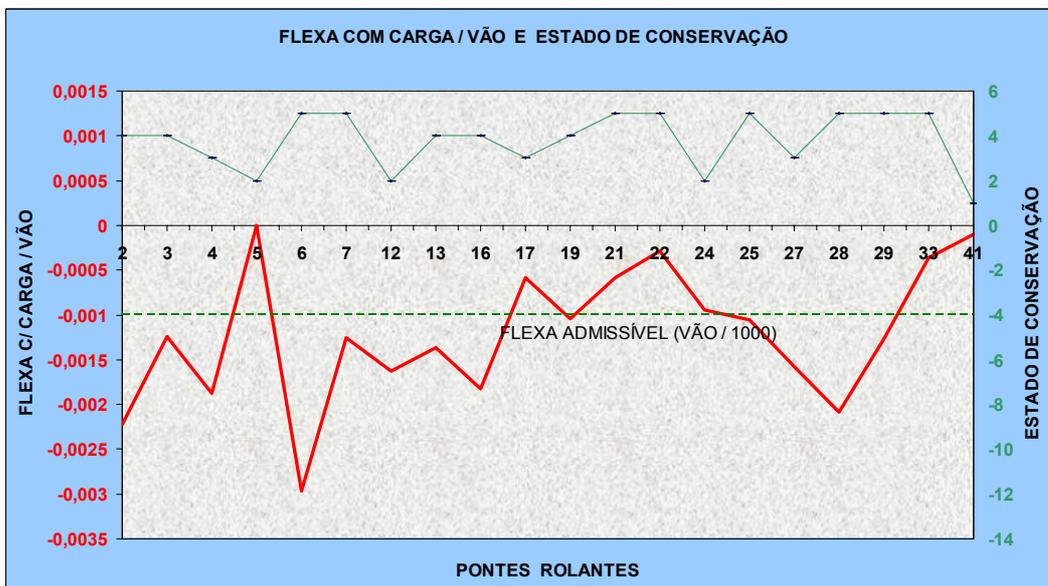


Figura 5.9 – Gráfico - Flexa com Carga e Flexa Admissível

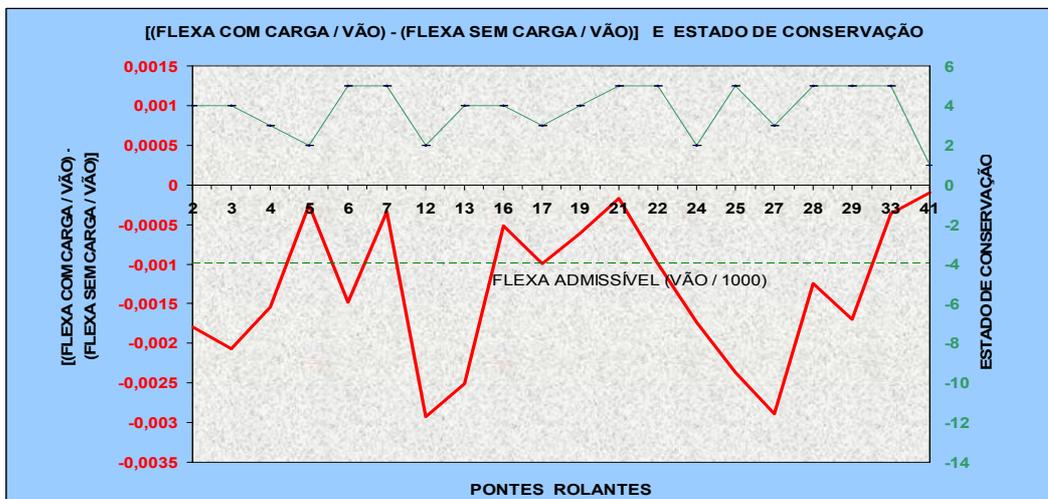


Figura 5.10 – Gráfico - (Flexa com Carga - Flexa sem Carga) e Flexa Admissível