

### 3

## **Aplicação do Programa de Inspeção Baseado em Risco.**

Este capítulo detalhará as etapas do trabalho de aplicação de IBR ao conjunto de pontes rolantes da empresa ThyssenKrupp Fundições Ltda., uma empresa do ramo metalúrgico que possui atualmente 44 pontes rolantes. Estas pontes rolantes são apoiadas e construídas com uma ou duas vigas suspensas e estão localizadas nos setores: fusão, modelação, moldação, rebarbação, controle de qualidade, tratamento térmico, expedição e manutenção.

Segue abaixo ilustrado na Figura 3.1, o fluxograma das etapas para elaboração do programa de inspeção baseado em risco:

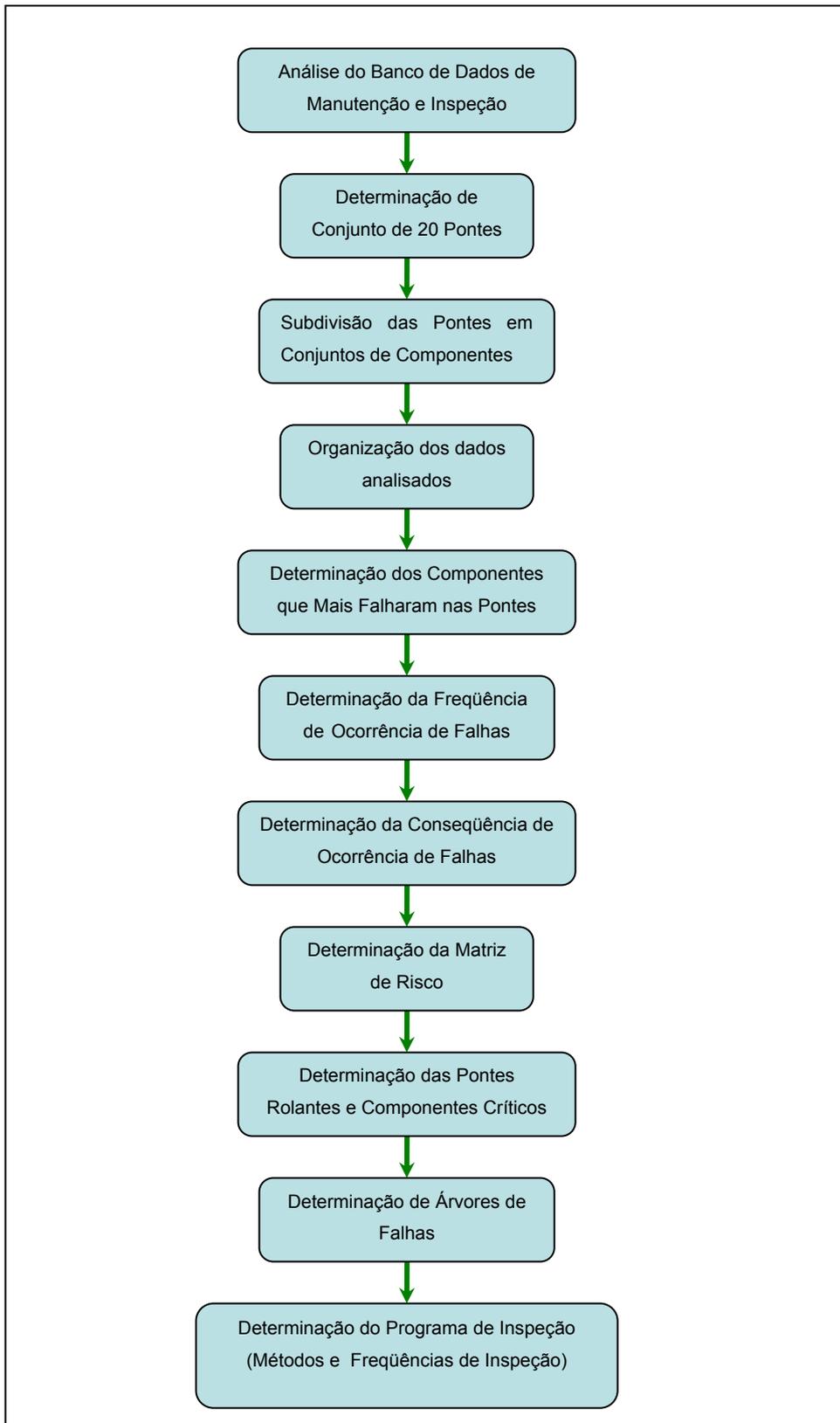


Figura 3.1 – Fluxograma das Etapas de Elaboração do Programa de Inspeção

### 3.1

#### 1ª Etapa – Análise do Banco de Dados de Manutenção e Inspeção.

Esta etapa constituiu-se na geração de um arquivo em formato de texto (.txt) através do sistema de banco de dados (programa em linguagem clipper) do setor de controle e planejamento de manutenção e posterior divisão em um arquivo para cada ponte rolante.

Após ser realizada a divisão dos arquivos prosseguiu-se à escolha de vinte pontes rolantes, conforme mostrado na Tabela 3.2, seguindo o seguinte critério: foi escolhida ao menos uma ponte rolante dos principais setores da empresa com os mais variados ambientes de trabalho, uma de cada tipo de construção e variadas capacidades de carga. A decisão de trabalhar apenas com 20 pontes rolantes da empresa, foi o objetivo da dissertação de propor uma metodologia, não tendo como foco a solução de um problema da empresa.

Após a determinação da família de pontes rolantes objeto do estudo da dissertação, foram geradas planilhas através dos arquivos de texto para facilitar a análise do banco de dados.

<b>Ponte Rolante</b>	<b>Localização</b>	<b>Cap. (t)</b>	<b>Grupo do Mecanismo [8]</b>
02	Rebarbação Geral	3	5m
03	Moldação Manual Gr. 81	3	5m
04	Rebarbação Geral	3	5m
05	Moldação Manual Gr. 81 (Linha 90)	3	5m
06	Fusão II	5,5	5m
07	Fusão II	5,5	5m
12	Pátio De Matéria Prima - Fusão I	7,5	5m
13	Pátio De Matéria Prima - Fusão I	7,5	5m
16	Fusão I	5	5m
17	Moldação Manual Gr. 81	7,5	5m
19	Fusão I	10	5m
21	Moldação Manual Gr. 81	10	5m
22	Moldação Automatizada Gr. 76	5	5m
24	Moldação Automatizada Gr. 76	8	5m
25	Rebarbação Geral	8	5m
27	Tratamento Térmico	8	5m
28	Moldação Manual Gr. 81	5	5m
29	Fechamento E Vazamento Gr. 81	5	5m
33	Unidade de Fundição de Casca Shell	4	5m
41	Moldação Automatizada L2	5	5m

Tabela 3.2 – Família de Pontes Rolantes Selecionadas

A análise do banco de dados teve como objetivo determinar os componentes que falharam no período de janeiro de 1995 a junho de 2002, a quantidade de horas para correção das falhas e a frequência das falhas.

Todas as pontes rolantes selecionadas se enquadram no grupo de mecanismo 5m (Tabela 3.2), devido à classe de funcionamento V4 e V5 e ao estado de solitação 3 atribuídos às mesmas.

## 3.2

### **2ª Etapa – Subdivisão das Pontes em Conjuntos de Componentes.**

Após a realização da 1ª análise, foram definidos os sistemas e conjuntos de componentes das pontes rolantes, conforme a Tabela 3.3. Primeiro a ponte rolante foi dividida em partes, as quais denominam-se sistemas, depois os sistemas foram divididos em conjuntos, a fim de separar os diversos componentes por características mecânicas, tipos de componentes estruturais (estrutura metálica), mecanismos de translação e elevação, e componentes com histórico de alto índice de falhas segundo especialistas em pontes rolantes [9], [10]. Cada conjunto escolhido foi dividido em subcomponentes, de maneira a facilitar a avaliação da integridade estrutural [5] dos mesmos.

<b>CONJUNTOS DE COMPONENTES</b>		
<b>SISTEMAS</b>	<b>CONJUNTOS</b>	<b>SUBCOMPONENTES</b>
<b>Estrutura da Ponte</b>	Estrutura Principal	Viga principal e passarela de manutenção
	Cabeceiras	Perfis de aço, chapas de aço e parafusos de fixação
	Cabine da Ponte	Perfis de aço, chapas de aço e parafusos de fixação
<b>Sistema de Translação da Ponte</b>	Motoredutor de Tração da Ponte	Carcaça, eixos, rolamentos, retentores, engrenagens e parafusos de fixação
	Eixo de Translação da ponte	Eixo, mancais, rolamentos, retentores, engrenagem, acoplamentos e parafusos de fixação
	Roda Motriz da Ponte	Roda, mancais, rolamentos, retentores, eixo, engrenagem e parafusos de fixação
	Roda Moviada da Ponte	Roda, mancais, rolamentos, retentores, eixo e parafusos de fixação
	Trilho de Translação da Ponte	Trilhos, suportes, chapas de base, presilhas, batentes e parafusos de fixação
<b>Sistema de Elevação de Carga</b>	Carro de fixação do guincho	Perfis de aço, chapas de aço, parafusos de fixação e trilho de rolamento do carro
	Motoredutor de Translação do Carro	Carcaça, eixos, rolamentos, retentores, engrenagens e parafusos de fixação
	Eixo de Translação do Carro	Eixo, mancais, rolamentos, retentores, engrenagem, acoplamentos e parafusos de fixação
	Roda Motriz do Carro	Roda, mancais, rolamentos, retentores, eixo, engrenagem e parafusos de fixação
	Roda Moviada do Carro	Roda, mancais, rolamentos, retentores, eixo e parafusos de fixação
	Guincho	Dromo, eixo, mancais, rolamentos, engrenagens, polias móveis e fixas, gancho e parafusos de fixação
	Motoredutor de Elevação do Guincho	Carcaça, eixos, rolamentos, retentores, engrenagens e parafusos de fixação
	Cabo de Aço	Cabo e fim-de-curso

Tabela 3.3 – Conjuntos de componentes das pontes rolantes

## 3.3

### 3ª Etapa – Organização dos dados analisados por componentes em tabelas.

Após a determinação dos conjuntos de componentes das pontes rolantes, os mesmos foram dispostos em tabelas com suas respectivas falhas, horas paradas para correção e data em que ocorreram, conforme a Tabela 3.4. Esta relaciona as falhas dos componentes da ponte rolante 4 no período de janeiro de 1995 a junho de 2002. Os dados das demais pontes rolantes analisadas estão apresentados no Anexo A.

<b>FALHAS DOS COMPONENTES DA PONTE ROLANTE Nº. 04 (Grupo do mecanismo - 5m)</b>				
<b>TOTAL (h)</b>	<b>FREQÜÊNCIA (h)</b>	<b>COMPONENTES</b>	<b>FALHAS</b>	<b>DATA</b>
183.4	36.5	EIXO DE TRAÇÃO DA PONTE	Substituição de Eixo Danificado	22/05/96
	31.3		Confecção de Estrias no Eixo	07/03/98
	23		Substituição de Eixo c/ Rasgo de Chaveta Danificado e Rolamento	5/1/00
	44.3		Substituição de Eixo c/ Rasgo de Chaveta Danificado	12/1/00
	48.3		Substituições de Eixo Quebrado e Rolamento Danificado	21/02/01
25	21	EIXO DE TRAÇÃO DO CARRO	Soldagem de Trinca do Eixo	4/10/96
	4		Substituição de Eixo com Desgaste	28/12/01
100.25	3	CABO DE AÇO	Substituição do Cabo danificado	16/03/96
	8.5		Substituição do Cabo danificado	4/7/97
	11		Substituição do Cabo danificado	13/11/97
	13		Substituição do Cabo danificado	12/5/98
	14.25		Substituição do Cabo danificado	24/11/98
	23.75		Substituição do Cabo danificado	16/06/00
	26.75		Substituição do Cabo danificado	8/11/00
10.83	0.83	MOTOREDUTOR DE TRAÇÃO DA PONTE	Reaperto dos Parafusos de Fixação	2/5/96
	10		Substituição do motoredutor	19/09/96
7	3	GANCHO	Substituição do Gancho	16/03/96
	4		Substituição do Tirante e Chapa Lateral	15/01/99
4	1	RODA MOTRIZ DO CARRO	Substituição de Roda com desgaste	28/12/01
15.5	4.5	RODA MOTRIZ DA PONTE	Retificação dos dentes da Engrenagem	10/9/96
	11		Substituição de Engrenagem e Rolamento com Desgaste	29/07/96

**Tabela 3.4 – Falha dos Componentes da Ponte 4 no período de jan/1995 a jun/2002**

### 3.4

#### 4ª Etapa – Determinação dos Componentes que Mais Falharam nas Pontes Rolantes.

Após a geração das tabelas de falhas dos componentes das pontes rolantes, foram gerados gráficos para determinação dos componentes com maior número de horas para manutenção no período estudado (componentes críticos) para cada ponte rolante, conforme o gráfico da Figura 3.5.

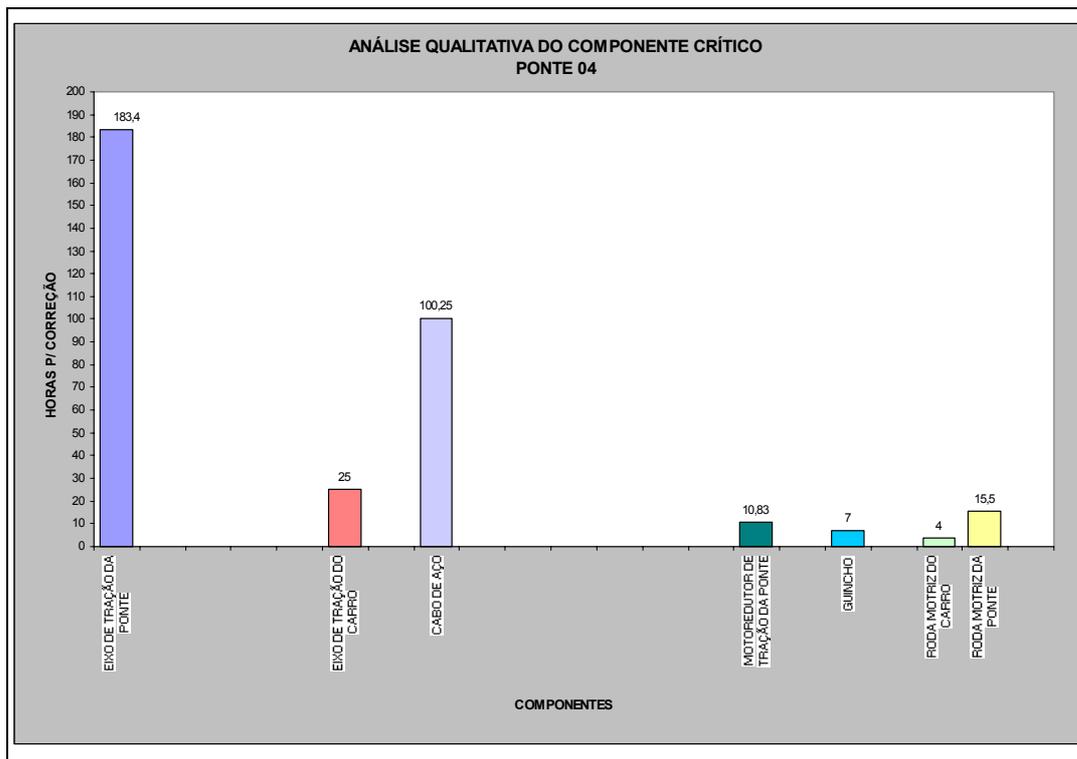


Figura 3.5 – Componentes Críticos da Ponte Rolante

## 3.5

## 5ª Etapa – Determinação da Frequência de Ocorrência de Falhas (FOF).

Foram determinados 4 níveis de frequência de falhas para aplicação na matriz de risco qualitativa, aplicando o método de “median ranks” (Anexo B) [11]. O método de ordenação usado o “Median Ranks” serve para ordenar cumulativamente dados de falhas. Este método foi aplicado aos totais de horas paradas médias de cada ponte rolante no período de janeiro de 1995 a junho de 2002 (87 meses), conforme a coluna de horas paradas / mês (média) da Tabela 3.6, com exceção da ponte rolante 41 que foi adquirida em abril de 1998 (período de 51 meses).

<b>FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE FALHAS - FOF</b>							
NÍVEIS	PONTE S	Total de Horas do Período (1995-2002)	Horas Paradas / mês (média)	Custo com Parada / hora	Custo com Parada / mês	ITEM	MEDIAN RANK
1	27	29	0,33	100,22	33,07	1	3,43%
	41	20	0,39	427,08	166,56	2	8,33%
	22	111,36	1,28	1275,5	1632,64	3	13,24%
	19	156,75	1,8	180,73	325,31	4	18,14%
2	21	162,42	1,87	27,94	52,25	5	23,04%
	5	177,77	2,04	46,57	95,00	6	27,94%
	28	292,91	3,37	93,13	313,85	7	32,84%
	4	345,98	3,98	9,88	39,32	8	37,75%
	29	381,33	4,38	55,88	244,75	9	42,65%
	12	398,11	4,58	27,11	124,16	10	47,55%
3	2	419,26	4,82	9,88	47,62	11	52,45%
	3	439,02	5,05	41,91	211,65	12	57,35%
	25	514,72	5,92	19,77	117,04	13	62,25%
	17	578,01	6,64	93,13	618,38	14	67,16%
	24	609,17	7	1275,5	8928,50	15	72,06%
	16	667,42	7,67	225,91	1732,73	16	76,96%
4	33	752,03	8,64	301,67	2606,43	17	81,86%
	13	1167,7	13,42	271,09	3638,03	18	86,76%
	7	1292,65	14,86	120,48	1790,33	19	91,67%
	6	2137,38	24,57	120,48	2960,19	20	96,57%

**Níveis de Frequência de falha - FOF**

1 – Equipamento parado p/ correção de	0,00 - 1,80 h/mês
2 – Equipamento parado p/ correção de	1,80 - 4,58 h/mês
3 – Equipamento parado p/ correção de	4,58 - 7,67 h/mês
4 – Equipamento parado p/ correção mais que	7.67 h/mês

**Tabela 3.6 – Níveis de Frequência de Falhas - FOF**

### 3.6

#### 6ª Etapa – Determinação da Conseqüência de Ocorrência de Falhas.

##### 3.6.1

#### Conseqüência de Ocorrência de Falhas Referente à Interrupção dos Negócios.

O departamento de contabilidade e custos da ThyssenKrupp Fundições Ltda. determinou os prejuízos monetários devido à interrupção dos negócios de cada setor da empresa. De posse destes custos, determinou o custo horário de cada equipamento proveniente das horas paradas para as correções das falhas, relacionado à perda de produção, para cada uma das vinte pontes rolantes objeto do estudo, conforme a coluna de custo com parada / hora da Tabela 3.6. Para a determinação destes custos, primeiramente foi determinado o percentual representativo de cada ponte rolante nos diversos processos produtivos dos setores em que se encontram instaladas. De posse do custo horário representativo de cada ponte rolante foram estabelecidos os 4 níveis de Conseqüência de Ocorrência de Falhas (COF), com base no menor e maior custo, conforme Tabela 3.7.

Os custos de manutenção não foram levados em consideração na obtenção da conseqüência de ocorrência de falhas, pois os mesmos são semelhantes para as diversas pontes rolantes, não sendo assim relevante para a determinação dos equipamentos críticos. Já os custos referentes às interrupções dos negócios são diferentes para cada setor da empresa onde estão instaladas as pontes rolantes.

<u>Níveis de Conseqüência de Ocorrência de Falhas (COF)</u>		
<u>por Hora Parada</u>		
1 – Perda de negócio	de R\$ 0,00	- R\$100,00 mensal
2 – Perda de negócio	de R\$100,00	- R\$250,00 mensal
3 – Perda de negócio	de R\$250,00	- R\$500,00 mensal
4 – Perda de negócio acima	de	R\$500,00 mensal

**Tabela 3.7 – Níveis de Conseqüência de Ocorrência de Falhas – COF**

### 3.6.2

#### **Conseqüência de Ocorrência de Falhas Referente à Segurança.**

As Pontes rolantes são equipamentos que trabalham com cargas suspensas em áreas onde muitas vezes transitam pessoas. No caso da ThyssenKrupp Fundições Ltda. as pontes rolantes trabalham com cargas da ordem de toneladas e em alguns setores com panelas de ferro líquido, o que representa risco de vida para os funcionários. Conforme fichas técnicas (Anexo C), todas as pontes rolantes da empresa se enquadram no grupo de mecanismo 5m [8]. Esta classificação se deve à natureza das operações dos equipamentos, à sua classe de funcionamento e ao seu estado de solicitação. Sendo assim, todos os equipamentos estariam no nível mais alto de conseqüência de ocorrência de falhas, levando-as aos patamares de risco alto e muito alto na matriz de risco. Assim, todas as pontes rolantes devem ser consideradas críticas do ponto de vista da segurança. Contudo, a freqüência de falha estrutural catastrófica é muito baixa.

### 3.6.3

#### **Conseqüência de Ocorrência de Falhas Referente ao Meio Ambiente.**

No caso da empresa ThyssenKrupp Fundições Ltda. as pontes rolantes trabalham em galpões no interior do complexo fabril não trazendo risco ao meio ambiente, mesmo no caso de derramamento de ferro líquido, as conseqüências não violarão nenhum padrão da empresa, regional ou federal.

### 3.6.4

#### **Conseqüência de Ocorrência de Falhas a ser Trabalhada.**

Partindo do princípio que as conseqüências de ocorrências de falhas referente à segurança e ao meio ambiente não influenciarão na determinação das pontes rolantes críticas, a única conseqüência de falha que será utilizada na matriz de risco qualitativa será a “conseqüência de ocorrência de falhas referente à interrupção dos negócios”, através dos 4 níveis determinados na Tabela 3.7.

### 3.7

#### 7ª Etapa – Determinação da Matriz de Risco.

Após determinação dos 4 níveis de FOF e COF, foi elaborada a matriz de risco, através de abordagem qualitativa de inspeção baseada em risco [3]. A finalidade da matriz de risco é através de uma análise qualitativa, determinar as pontes rolantes críticas da família de pontes. A matriz possui 4 níveis de risco: baixo, médio, alto e muito alto, conforme Figura 3.8.

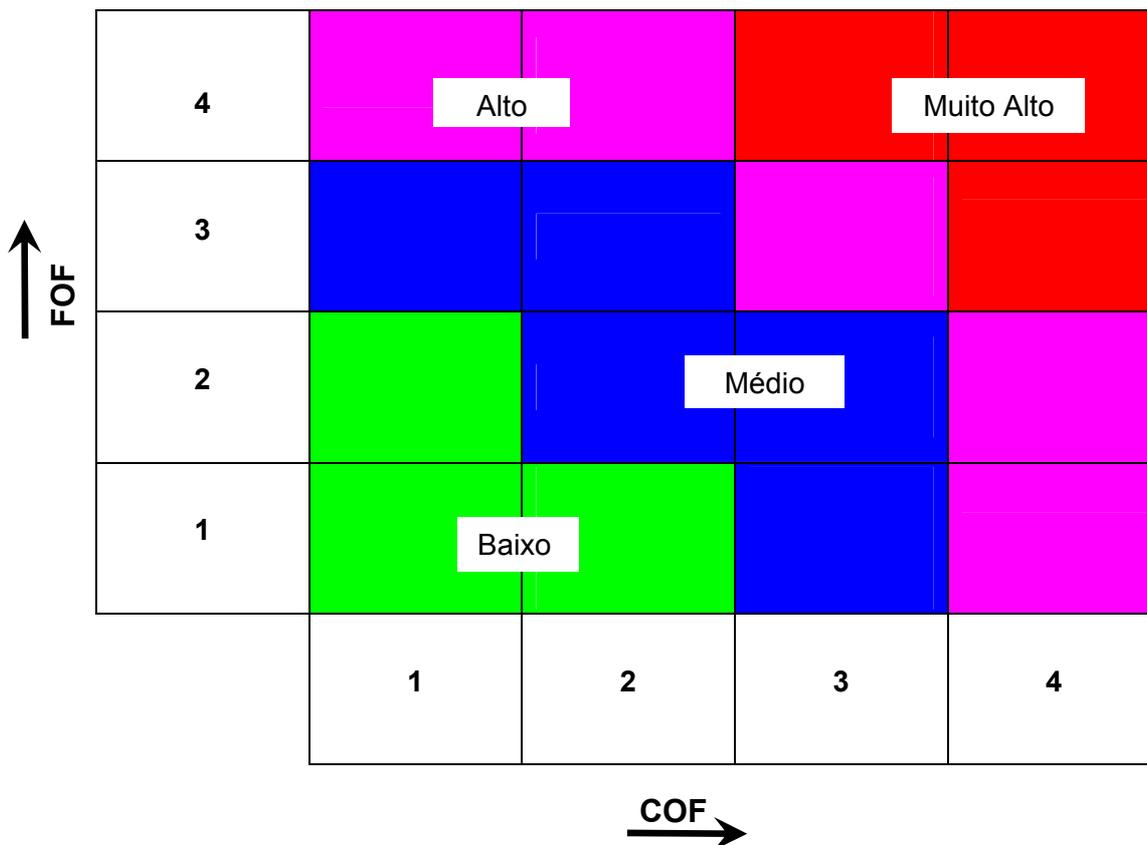


Figura 3.8 – Matriz de Risco para Pontes Rolantes

### 3.8

#### 8ª Etapa – Determinação das Pontes Rolantes e Componentes Críticos.

Após a elaboração da matriz de risco, as pontes rolantes foram posicionadas na mesma (Figura 5.1), levando em consideração o seu nível de frequência de falha (FOF) e consequência de falha (COF), conforme Tabela 3.9. Tomou-se como pontes rolantes críticas, as pontes que representam risco **alto** e

**muito alto** para a empresa. O § 6 é voltado às pontes rolantes críticas e seus componentes críticos.

<b>Níveis de FOF e COF das Pontes Rolantes</b>		
<b>Pontes Rolantes</b>	<b>FOF</b>	<b>COF</b>
2	3	1
3	3	1
4	2	1
5	2	1
6	4	2
7	4	2
12	2	1
13	4	3
16	3	2
17	3	1
19	1	2
21	2	1
22	1	4
24	3	4
25	3	1
27	1	2
28	2	1
29	2	1
33	4	3
41	1	3

**Tabela 3.9 – Níveis de Conseqüência de Ocorrência de Falhas – COF e Frequência de Ocorrência de Falhas - FOF**

### 3.9

#### **9ª Etapa – Determinação de Árvores de Falhas para as Pontes Rolantes Críticas.**

Após a determinação das pontes rolantes críticas, foi elaborada uma árvore de falhas das pontes rolantes críticas (Figura 6.1), com os percentuais representativos das falhas de cada componente crítico, e outras árvores de falhas (Figura 6.2 a Figura 6.8) para as diversas falhas dos componentes críticos, mostrando o relacionamento hierárquico entre os modos de falhas, sistematizando as possíveis falhas e suas conseqüências, orientando na determinação de medidas corretivas, preventivas (ações mitigadoras) e planos de inspeção.

### **3.10**

#### **10ª Etapa – Determinação do Programa de Inspeção Baseado em Risco .**

Através da compreensão da árvore de falhas e frequências das falhas, foram determinadas frequências e métodos de inspeção para as pontes rolantes críticas e seus respectivos componentes críticos, bem como ações mitigadoras de falhas, conforme mostrado nos § 6.3 e 6.4.