

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – **UNISINOS**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
E SISTEMAS – NÍVEL MESTRADO

**GUSTAVO GASTMANN BRAND**

**MÉTODO DE APOIO À FORMULAÇÃO DE ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO EM  
AMBIENTE INDUSTRIAL: UM ESTUDO DE CASO**

São Leopoldo  
2011

**GUSTAVO GASTMANN BRAND**

**MÉTODO DE APOIO À FORMULAÇÃO DE ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO EM  
AMBIENTE INDUSTRIAL: UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada à Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto

Co-Orientador: Prof. Dr. José Antônio Valle Antunes Jr.

**São Leopoldo**

**2011**

### Ficha Catalográfica

B817m Brand, Gustavo Gastmann  
Método de apoio à formulação de estratégia de manutenção em ambiente industrial: um estudo de caso. / por Gustavo Gastmann Brand. – 2011.  
113 f. : il. ; 30cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2011.

“Orientação: Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto; Co-orientador: Prof. Dr. José Antônio Valle Antunes Jr., Ciências Econômicas”.

1. Confiabilidade – Engenharia. 2. Engenharia de produção. 3. Manutenção centrada em confiabilidade – MCC. 4. Estratégia – Manutenção. I. Título.

CDU 620.004.15

Catálogo na Publicação:  
Bibliotecária Camila Rodrigues Quaresma - CRB 2/1376

**GUSTAVO GASTMANN BRAND**

**MÉTODO DE APOIO À FORMULAÇÃO DE ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO EM  
AMBIENTE INDUSTRIAL: UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada à Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Aprovado em:

**BANCA EXAMINADORA**

---

Presidente: Dr. Miguel Afonso Sellitto – UNISINOS

---

Membro: Dr. Michel Anzanello – UFRGS

---

Membro: Dr. Ricardo Augusto Cassel – UNISINOS

---

Membro: Dr. Giancarlo Medeiros Pereira – UNISINOS

*Dedico este trabalho  
à Vanessa Rossi,  
e aos meus pais.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Miguel Afonso Sellitto, orientador, por sua dedicação e inestimável contribuição a esse estudo;

Ao Professor Junico Antunes, co-orientador, pelo apoio;

Aos colegas, professores e colaboradores do PPGEPS da Unisinos;

Aos Professores Giancarlo Pereira e Ricardo Cassel pela contribuição durante a qualificação deste trabalho;

Aos profissionais da empresa pesquisada, pela presteza com que contribuíram para esse estudo;

Aos meus pais e irmão pelo incentivo e dedicação;

A Vanessa Rossi, meu amor, por todo o incentivo e carinho.

## RESUMO

O objetivo principal desta dissertação é apresentar um método para aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em uma linha de cromagem de cilindros de alumínio. Para a análise, foram utilizados os tempos até a falha e os tempos para o reparo. O trabalho foi desenvolvido a partir de um estudo de caso e aplicado em uma empresa multinacional fabricante de motores à combustão interna, cuja produção de cilindros de alumínio atinge volume anual de 4,5 milhões de peças. Em relação aos objetivos específicos desse trabalho, citam-se a revisão dos conceitos, histórico e aplicações da manutenção, conceito de confiabilidade, modelos de distribuição probabilística, estimativa de parâmetros, teste de aderência e fundamentos de falhas. As principais etapas para aplicação do método são: definição e seleção do sistema objeto do estudo; análise funcional de falhas; seleção dos itens críticos; coleta e análise dos dados de falha; seleção de ações de manutenção; e determinação dos intervalos de manutenção. Como o *Mean Time To Repair* (MTTR) foi muito baixo em relação ao *Mean Time Between Failure* (MTBF), toda a atenção foi concentrada para aumentar o MTBF e não reduzir o MTTR. Como resultado, verificou-se que quase todos os equipamentos estudados estão na fase de maturidade. Observou-se também que a Manutenção Preventiva é predominante, em muitos casos associada à Preditiva. As considerações finais alinham as estratégias de manutenção com as estratégias de produção referentes ao sistema estudado.

**Palavras-chave:** Manutenção Centrada em Confiabilidade – Manutenção Industrial – Estratégias de Manutenção

## ABSTRACT

The main objective of this study is to show a method for implementation of Reliability Centered Maintenance (RCM) in a plating line of aluminum cylinders. For the analysis, It was used the time to failure and time to repair in the modeling. The work was developed from a case study and applied in a multinational manufacturer of internal combustion engines, whose production of aluminum cylinders achieves annual volume of 4.5 million pieces. Regarding the secondary objectives of this work, It's mentioned the review of the literature on the concepts, history and maintenance applications, the concept of reliability, probability distribution models, parameter estimation, testing, adherence and reasons for failure. The main steps for implementing the method are: definition and system selection object of the study, functional analysis of failures; selection of critical items, collection and analysis of failure data, selection of maintenance actions, and determining maintenance intervals. As the Mean Time To Repair (MTTR) was very low compared to the Mean Time Between Failure (MTBF), the whole focus was to increase MTBF and not reduce MTTR. The result was the strategy of Preventive Maintenance, as predominant in many cases, associated with Predictive. The final consideration line maintenance strategies with production strategies for the system studied.

**Keywords:** Reliability Centered Maintenance – Industrial Maintenance – Maintenance Strategies



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagramação da Pesquisa .....	21
Figura 2: Tipos de Manutenção.....	27
Figura 3: Curvas de taxas de falhas .....	39
Figura 4: Relação entre o parâmetro de forma e a Curva da Banheira.....	42
Figura 5: Sistema em Série.....	47
Figura 6: Sistema em Paralelo .....	48
Figura 7: Evolução da Produção de Cilindros.....	56
Figura 8 Etapas da Fabricação de Cilindro de Alumínio.....	56
Figura 9: Desenho Esquemático da Linha de Preparação e Cromagem.....	57
Figura 10: Etapas do Processo de Preparação e Cromagem.....	59
Figura 11: Diagrama de Confiabilidade do Sistema.....	60
Figura 12: Árvore de Falhas do Sistema Objeto do Estudo .....	60
Figura 13: Histograma para a amostra.....	62
Figura 14: Papel de Probabilidade de Weibull.....	62
Figura 15: Taxa de Falhas .....	63
Figura 16: Função de Confiabilidade.....	64
Figura 17: Função Densidade Acumulada de Falha.....	64
Figura 18: Histograma para a amostra.....	66
Figura 19: Papel de Probabilidade de Weibull.....	66
Figura 20: Taxa de Falhas .....	67
Figura 21: Função de Confiabilidade.....	68
Figura 22: Função Densidade Acumulada de Falha.....	68
Figura 23: Histograma para a amostra.....	70
Figura 24: Papel de Probabilidade de Weibull.....	70
Figura 25: Taxa de Falhas .....	71
Figura 26: Função de Confiabilidade.....	72
Figura 27: Função Densidade Acumulada de Falha.....	72
Figura 28: Histograma para a amostra.....	74
Figura 29: Papel de Probabilidade de Weibull.....	74
Figura 30: Taxa de Falhas .....	75
Figura 31: Função de Confiabilidade.....	76
Figura 32: Função Densidade Acumulada de Falha.....	76
Figura 33: Histograma para a amostra.....	78
Figura 34: Papel de Confiabilidade de Weibull .....	78

Figura 35: Taxa de Falhas .....	79
Figura 36: Função de Confiabilidade.....	80
Figura 37: Função Densidade Acumulada de Falha.....	80
Figura 38: Diagrama de Blocos dos Modos de Falha.....	81
Figura 39: Função de Confiabilidade do Sistema.....	82
Figura 40: Equipamento Monta-Cargas .....	85
Figura 41: Equipamento Carro de Transporte .....	88
Figura 42: Equipamento Tanque de Lavagem.....	93
Figura 43: Equipamento Tanque de Cromagem .....	95
Figura 44: Papel de Probabilidade de Tempo para o Reparo.....	104
Figura 45: Função Manutenibilidade .....	105
Figura 46: Papel de Probabilidade de Tempo para o Reparo.....	106
Figura 47: Função Manutenibilidade .....	107
Figura 48: Papel de Probabilidade de Tempo para o Reparo.....	108
Figura 49: Função Manutenibilidade .....	109
Figura 50: Papel de Probabilidade para Tempo para o Reparo .....	110
Figura 51: Função Manutenibilidade .....	111
Figura 52: Papel de Probabilidade para Tempo para o Reparo .....	112
Figura 53: Função Manutenibilidade .....	113

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução Custos da Manutenção no Brasil .....	19
Tabela 2: Nível da Atuação no Brasil .....	35
Tabela 3: Relação de Funcionários Efetivos na Manutenção.....	35
Tabela 4: Rotatividade do Pessoal da Manutenção .....	36
Tabela 5: Participação da Mão de Obra Produtiva na Manutenção .....	37
Tabela 6: Principais Indicadores Utilizados no Brasil .....	38
Tabela 7: Comportamento da Função Taxa de Falhas .....	43
Tabela 8: Tempos até a falha (TTF) para Falha do Monta-Cargas .....	61
Tabela 9: Ajuste a Distribuições da Amostra.....	63
Tabela 10: Análise do Tempo (horas) X Confiabilidade .....	65
Tabela 11: Tempos até a falha (TTF) para Falha do Carro de Transporte.....	65
Tabela 12: Ajuste a Distribuições da Amostra.....	67
Tabela 13: Análise do Tempo (horas) X Confiabilidade .....	69
Tabela 14: Tempos até a falha (TTF) para Falha do Transferidor Lateral.....	69
Tabela 15: Ajuste a Distribuições da Amostra.....	71
Tabela 16: Análise do Tempo (horas) X Confiabilidade .....	73
Tabela 17: Tempos até a falha (TTF) para Falha no Tanque de Lavagem .....	73
Tabela 18: Ajuste a Distribuições da Amostra.....	75
Tabela 19: Análise do Tempo (horas) X Confiabilidade .....	77
Tabela 20: Tempos até a falha (TTF) para Falha no Tanque de Cromagem .....	77
Tabela 21: Ajuste a Distribuições da Amostra.....	79
Tabela 22: Análise do Tempo (horas) X Confiabilidade .....	81
Tabela 23: Análise de Confiabilidade do Sistema .....	81
Tabela 24: Parâmetros Utilizados no Prosis.....	83
Tabela 25: Modos e Causas de Falhas.....	86
Tabela 26: Parâmetros da Amostra.....	86
Tabela 27: Modos e Causas de Falhas.....	89
Tabela 28: Parâmetros da Amostra.....	89
Tabela 29: Modos e Causas de Falhas.....	91
Tabela 30: Parâmetros da Amostra.....	91
Tabela 31: Modos e Causas de Falhas.....	93
Tabela 32: Parâmetros da Amostra.....	94
Tabela 33: Modos e Causas de Falhas.....	96
Tabela 34: Parâmetros da Amostra.....	96
Tabela 35: Resumo das Estratégias de Manutenção.....	99
Tabela 36: Tempos para o reparo (TTR) para o Monta-Cargas.....	104
Tabela 37: Tempos para o reparo (TTR) para o Carro de Transporte .....	106

Tabela 38: Tempos para o reparo (TTR) para Transferidor Lateral .....	108
Tabela 39: Tempos para o reparo (TTR) para o Tanque de Lavagem.....	110
Tabela 40: Tempos para o reparo (TTR) para o Tanque de Cromagem.....	112

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção  
CMFB – Custo de Manutenção por Faturamento Bruto  
CMMS – *Computadorized Maintenance Management System*  
CMPV – Custo de Manutenção por valor de Reposição  
DISP – Disponibilidade Física dos Equipamentos  
FAA – *Federal Aviation Authority*  
JIT – *Just-In-Time*  
MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade  
MTBF – *Mean Time Between Failure*  
MTTF – *Mean Time To Failure*  
MTTR – *Mean Time To Repair*  
RDB – *Reliability Block Diagram*  
RCM – *Reliability Centered Maintenance*  
TBF – Tempo de Operação entre Falhas  
TPM – *Total Productive Maintenance*  
TTF – Tempo de Operação até a Falha  
TTR – Tempo para o Reparo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
1.2	TEMA E JUSTIFICATIVA	17
1.3	OBJETIVOS	20
1.4	METODOLOGIA	20
1.4.1	<b>Método de Pesquisa</b>	20
1.4.2	<b>Método de Trabalho</b>	24
1.6	DELIMITAÇÕES	22
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>23</b>
2.1	FUNDAMENTOS DE MANUTENÇÃO	23
2.2	PROCESSO EVOLUTIVO DA MANUTENÇÃO	23
2.2.1	<b>Primeira Geração</b>	24
2.2.2	<b>Segunda Geração</b>	24
2.2.3	<b>Terceira Geração</b>	25
2.3	ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO	25
2.3.1	<b>Manutenção Corretiva</b>	26
2.3.2	<b>Manutenção Preventiva</b>	28
2.3.3	<b>Manutenção Preditiva</b>	29
2.3.4	<b>Engenharia de Manutenção</b>	29
2.4	ESTRUTURA DE SUPORTE ESTRATÉGICO À MANUTENÇÃO	30
2.4.1	<b>Indicadores de Manutenção</b>	30
2.4.2	<b>Gerenciamento Computadorizado de Manutenção</b>	32
2.4.3	<b>Planejamento de Manutenção</b>	33
2.4.4	<b>Fator Humano na Manutenção</b>	33
2.5	TENDÊNCIAS NA MANUTENÇÃO	34
2.6	MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)	38
2.6.1	<b>Conceitos de Confiabilidade em Manutenção</b>	40
2.6.2	<b>Distribuições de Probabilidade no Estudo da Confiabilidade</b>	41
2.6.3	<b>Testes de Aderência no Estudo da Confiabilidade</b>	45
2.7	ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS (FTA)	46
2.7.1	<b>Conceitos de Falhas</b>	47
2.8	CONFIABILIDADE DE SISTEMAS	47
2.8.1	<b>Sistema em Série</b>	47

2.8.2	Sistema em Paralelo .....	48
<b>3</b>	<b>MÉTODO DE INTERVENÇÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>52</b>
4.1	HISTÓRICO DA EMPRESA DO SETOR METALURGICO .....	52
4.2	ESTADO ATUAL DA FUNÇÃO MANUTENÇÃO NA EMPRESA .....	54
4.3	DESCRIÇÃO DO PROCESSO OBJETO DO ESTUDO .....	55
4.3.1	A Linha de Cromagem .....	56
4.3.2	O Processo de Cromagem.....	58
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DOS SISTEMAS.....</b>	<b>60</b>
5.1	MODELAGEM DE FALHAS DA LINHA DE CROMAGEM .....	61
5.1.1	Modelagem de Falha do Monta-Cargas .....	61
5.1.2	Modelagem de Falha do Carro Transferidor .....	65
5.1.3	Modelagem de Falha do Transferidor Lateral .....	69
5.1.4	Modelagem de Falha no Tanque de Lavagem .....	73
5.1.5	Modelagem de Falha no Tanque de Cromagem .....	77
5.2	CONFIABILIDADE TOTAL DA LINHA DE CROMAGEM .....	81
<b>6</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>84</b>
6.1	EQUIPAMENTO MONTA-CARGAS.....	84
6.2	EQUIPAMENTO CARRO DE TRANSPORTE.....	87
6.3	EQUIPAMENTO TRANSFERIDOR LATERAL.....	90
6.4	EQUIPAMENTO TANQUE DE LAVAGEM.....	92
6.5	EQUIPAMENTO TANQUE DE CROMAGEM.....	94
6.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	97
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>98</b>
7.1	CONCLUSÃO.....	98
7.2	RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....	100
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>101</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>104</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Cada vez mais o ambiente empresarial apresenta mudanças nas estratégias de negócio e inovações tecnológicas, favorecendo o acirramento da competitividade entre as organizações e, assim, permitindo maior poder de escolha aos consumidores neste mercado globalizado, como descreve Fabro (2003). Tudo isso aumenta a turbulência, exigindo a adequação imediata das organizações que desejam sobreviver. É essa a maneira como se apresenta o cenário industrial que rege as tomadas de decisões internas das empresas.

Com a finalidade de suportar a estratégia de produção, a manutenção apresenta-se como fator relevante na busca da competitividade e do sucesso empresarial. A procura por novas ferramentas e técnicas de gestão dos seus ativos, que direcionem as empresas para uma maior competitividade nos quesitos de qualidade e produtividade, é o que as mantém num ciclo permanente de evolução (PINTO, 1999).

Para Swanson (2001), uma estratégia de manutenção efetiva pode ser fundamental para o incremento das atividades produtivas dentro de uma empresa. Com ela, pode-se estender a vida útil dos equipamentos, aumentar sua disponibilidade e mantê-los em condições para a produção. A não realização desta manutenção, ou a falta de uma estratégia eficiente, pode ser responsável pelas falhas frequentes dos equipamentos, pelos atrasos na entrega da produção e pela diminuição da qualidade dos produtos, levando a empresa à diminuição de sua produtividade.

O desenvolvimento do processo de manutenção, conforme Cooke (2003) e Moubray (1996), pode ser caracterizado por três grandes momentos:

- a) a primeira fase da manutenção teve início com a operação das primeiras máquinas da indústria têxtil, que durou até o início da Segunda Guerra Mundial. Nesse período, a manutenção somente acontecia após a ocorrência da falha (LUCATELLI, 2002);
- b) na segunda fase, conforme Branco Filho (2008), há maior necessidade de disponibilidade e de confiabilidade dos equipamentos, como forma de garantir maior produtividade. O ambiente gerado após a Segunda



Guerra Mundial levou a indústria à dependência do bom funcionamento de suas máquinas. Esses fatos evidenciaram que as falhas inesperadas dos equipamentos deveriam ser evitadas e, assim, surgiu a necessidade da manutenção preventiva; e

- c) a necessidade da evolução da manutenção tornou-se evidente na medida em que houve o crescimento da automação e da mecanização, fazendo com que a confiabilidade e a disponibilidade se tornassem fundamentais nos processos produtivos. Com maior automação, também há mais ocorrências de falhas, que acabam afetando a capacidade de manter os padrões de qualidade estabelecidos. Foi a partir da necessidade de reverter esse quadro que surgiu o conceito de manutenção preditiva, marco do início da terceira fase da manutenção (BRANCO FILHO, 2008).

Conforme Lucatelli (2002), apesar da considerável evolução da Manutenção e das constantes melhorias nos processos produtivos, nunca será possível eliminar completamente as falhas ou as quebras nem prever com exatidão suas ocorrências, dado que o processo de surgimento da falha é um processo aleatório. Sendo assim, apesar das mais modernas técnicas e metodologias aplicadas para evitar a falha, torna-se necessário que o profissional de manutenção possua a habilidade de lidar com situações emergenciais, já que erros operacionais e quebras inesperadas sempre podem acontecer e, dificilmente, se terá um mecanismo para eliminar a incerteza na sua previsão.

## **1.2 TEMA E JUSTIFICATIVA**

A proposta dessa dissertação é estudar a possibilidade da utilização de diferentes estratégias de manutenção em uma planta industrial com diversos equipamentos e funções no processo produtivo. A organização objeto de estudo faz parte de uma multinacional, fabricante de ferramentas motorizadas, situada no estado do Rio Grande do Sul e seu processo produtivo é bastante complexo. A fábrica está dividida em minifábricas, que suportam as linhas de montagem com componentes produzidos dentro da própria planta.

De acordo com Fuentes (2006), a importância da estratégia da manutenção industrial vem sendo tema de diversas pesquisas e, em praticamente todas, a

competitividade das organizações é garantida pela operação adequada da manutenção. Sellitto (2007) apresenta, como um dos fatos alavancadores da evolução da manutenção, a percepção dos gestores das organizações industriais de que as falhas e a quebra dos equipamentos podem afetar os custos de produção, a segurança dos funcionários e a qualidade dos produtos fabricados.

Nesse contexto, conforme Pinto (1999), cabe à manutenção tornar-se mais eficaz nas suas atuações. Com as exigências de elevada produtividade, a manutenção não deve apenas consertar ou reparar o equipamento o mais rápido possível, e sim manter o equipamento disponível para produção, reduzindo a possibilidade de parada não planejada, garantindo a qualidade.

De acordo com Siqueira (2005), onde a manutenção é tratada de forma planejada e prioritária pelas organizações, há alguns dos benefícios conquistados:

- a) preservação das funções dos equipamentos, com a segurança necessária para a operação;
- b) otimização dos ativos produtivos;
- c) minimização dos custos de manutenção durante a vida útil dos equipamentos; e
- d) utilização da mão de obra da manutenção de forma racional, sem desperdícios.

Para Branco Filho (2008), nenhuma decisão referente à manutenção deve ser tomada sem que os custos sejam levados em consideração. Para o autor, não são relevantes apenas os custos de reparos, mas também devem ser considerados os custos de perda de produção, perdas de matéria-prima, possíveis indenizações por acidentes ou por desastres ambientais, perdas por desperdícios energéticos, perdas por afastamentos de manutentores devido a problemas ergonômicos e falha na qualidade dos produtos. Mirshawa (1993) complementa que a falta de manutenção pode acarretar na deterioração súbita ou gradativa dos equipamentos, levando à necessidade de sua substituição prematura, antes mesmo que tenha havido retorno financeiro do investimento feito.

A Tabela 1 apresenta um estudo realizado pela ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção), no qual se pode verificar o aumento das despesas com manutenção no Brasil, representando cerca de 120 bilhões de Reais em 2008. Obviamente, o aumento das despesas com manutenção não é o objetivo de nenhuma organização; porém, com o aumento da automatização e com a utilização

de equipamentos mais complexos, é cada vez maior a necessidade de investimento para a conservação dos ativos.

**Tabela 1**  
**Evolução Custos da Manutenção no Brasil**

<b>CUSTO DA MANUTENÇÃO NO BRASIL</b>			
<b>Ano da Pesquisa</b>	<b>Ano Base</b>	<b>PIB (Milhões de R\$)</b>	<b>Custo (Milhões de R\$)</b>
<b>2009</b>	<b>2008</b>	<b>2.900.000</b>	<b>120.060,000</b>
<b>2007</b>	<b>2006</b>	<b>2.322.000</b>	<b>90.325,800</b>
<b>2005</b>	<b>2004</b>	<b>1.769.202</b>	<b>72.537,282</b>
<b>2003</b>	<b>2002</b>	<b>1.346.028</b>	<b>57.475,396</b>
<b>2001</b>	<b>2000</b>	<b>1.101.255</b>	<b>49.226,099</b>
<b>1999</b>	<b>1998</b>	<b>914.188</b>	<b>32.545,093</b>
<b>1997</b>	<b>1996</b>	<b>778.887</b>	<b>34.193,139</b>
<b>1995</b>	<b>1994</b>	<b>349.205</b>	<b>14.876,133</b>

Fonte: ABRAMAN (2009)

A estratégia de manutenção deve ser desenvolvida com base nas estratégias de manufatura e deve estar, conseqüentemente, orientada pelo planejamento estratégico da empresa. Assim, tanto a estratégia de manutenção quanto seu processo de gestão precisam ser constantemente revistos e readequados para o atendimento das necessidades cada vez mais flexíveis da manufatura (SELLITTO, 2005). Nesse contexto, a questão que motiva a realização desta dissertação é: como determinar estratégias de manutenção mais eficientes para equipamentos industriais com algumas variedades em um ambiente que contempla diferentes processos produtivos? Por equipamentos com algumas variedades entendem-se sistemas de produção compostos por equipamentos de diversas origens e situados num mesmo ambiente, segundo um projeto de engenharia. Algumas vezes, as empresas de fabricação chamam este arranjo de *shopping-around*, pois os equipamentos foram comprados de variadas fontes de fornecimento, com várias tecnologias e exigem variadas estratégias para sua operação, assistência técnica e manutenção.

### 1.3 OBJETIVOS

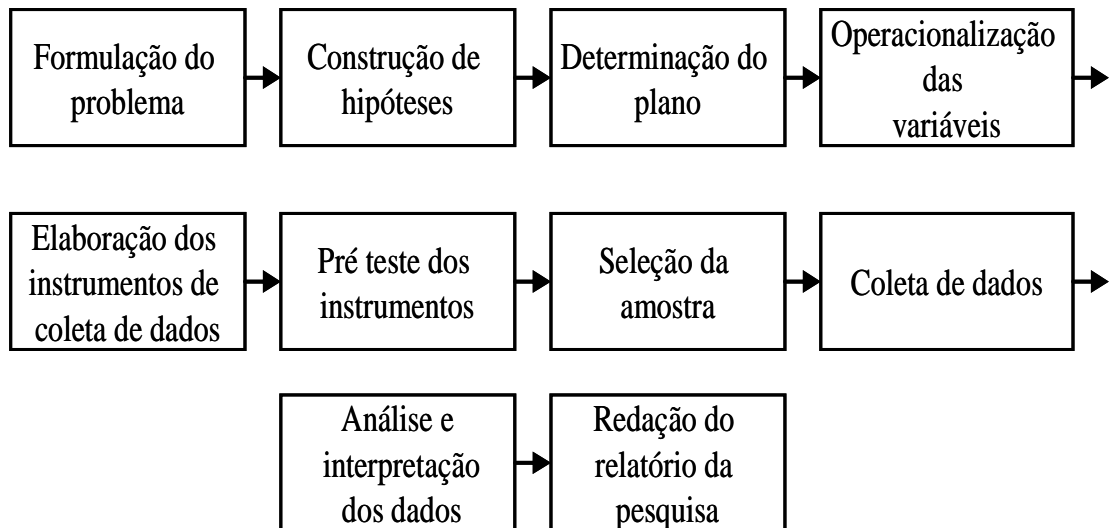
O objetivo geral desta dissertação é o desenvolvimento de um método para apoio à definição estratégica de procedimentos e atividades de manutenção em equipamentos industriais empregados em operações de manufatura. Os objetivos específicos são:

- a) desenvolver e descrever um método que viabilize a melhor utilização das diferentes estratégias de manutenção, a partir dos conceitos da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) ou *Reliability Centered Maintenance* (RCM), integrados com a estratégia de produção de um sistema produtivo complexo;
- b) aplicar o método desenvolvido em um objeto de estudo a fim de aumentar o MTBF (*Mean Time Between Failure* – tempo médio entre falhas) e, eventualmente, diminuir o MTTR (*Mean Time To Repair* – tempo médio até o reparo), caso isto seja importante; e
- c) definir e sistematizar os procedimentos operacionais, tornando-os aplicáveis a outros ambientes complexos de manufatura.

### 1.4 METODOLOGIA

#### 1.4.1 Método de Pesquisa

Conforme Gil (2002), pesquisa pode ser definida como um procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A Figura 1 apresenta um diagrama para a condução de uma pesquisa.



**Figura 1: Diagramação da Pesquisa**  
 Fonte: GIL (2002)

Para Silva (2001), o trabalho científico, geralmente, tem origem em um problema ou dificuldade, que pode ser resumido em uma questão inicial; o processo da pesquisa é responsável por fazer a ligação entre essa questão inicial e as informações obtidas ao longo do trabalho. Conforme Cooper (2003), uma boa pesquisa possui as seguintes características: propósito claramente definido; metodologia de pesquisa detalhada; planejamento de pesquisa completo; limitações francamente reveladas; resultados apresentados de forma clara; e conclusões justificadas.

#### 1.4.2 Método de Trabalho

A metodologia utilizada para desenvolvimento da pesquisa no presente trabalho é o Estudo de Caso que, conforme aponta Yin (2001), procura investigar um fenômeno em seu contexto, em sua realidade, principalmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. Segundo ele (2001), o estudo de caso proporciona ao pesquisador o controle sobre os eventos e a contraposição de fenômenos históricos e contemporâneos. A principal técnica de pesquisa empregada nesta investigação foi a observação participante do pesquisador.

Ao final do estudo, são apresentados os resultados obtidos com a utilização do método proposto no caso piloto, bem como são ofertadas sugestões para ampliação do campo de aplicação.

## **1.5 DELIMITAÇÕES**

O presente trabalho não enfoca o gerenciamento e a otimização dos materiais de manutenção, mas sim a determinação de uma estratégia de manutenção adequada, que atenda às necessidades dos processos produtivos. O estudo de caso baseia-se em uma indústria e equipamento específicos e, portanto, o resultado será uma hipótese para novos estudos, não uma conclusão definitiva e generalizável acerca do tema.

## **1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O capítulo 1 apresenta as considerações iniciais sobre o tema proposto, a justificativa, os objetivos, a metodologia, as delimitações e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 esboça um panorama geral da manutenção, destacando-se os conceitos, a evolução histórica, a importância, os métodos de pesquisa e trabalho e os tipos de manutenção, além de focar as principais abordagens ou estratégias atuais utilizadas pelas empresas.

No capítulo 3 é apresentado o método de intervenção.

No capítulo 4 foi apresentada a empresa objeto do estudo, com ênfase nos processos de produção suscetíveis à manutenção, além do estado atual de seu desenvolvimento da manutenção. Também são mostrados os elementos relevantes à aplicação das estratégias propostas.

O capítulo 5 descreve os resultados obtidos na modelagem dos tempos até as falhas.

O capítulo 6 aborda as análises de confiabilidade e manutenibilidade do sistema objeto do estudo.

As conclusões obtidas com a realização do trabalho foram expostas no capítulo 7. Também foram apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 FUNDAMENTOS DE MANUTENÇÃO**

As características do trabalho em manutenção mudaram fortemente nas três últimas décadas do século XX. As empresas contemporâneas têm visto elevada a importância estratégica da função manutenção, principalmente quando há aumento sensível no investimento em novos equipamentos. Tal mudança resulta do aumento na diversidade de componentes a serem mantidos, do aumento da complexidade dos requisitos de produção, do aumento na quantidade de automação presente nos equipamentos, do surgimento de novas técnicas de manufatura e de mudanças na visão e missão da manutenção dentro das organizações (TSANG, 2002).

Dessa forma, a manutenção procura adequar-se às novas expectativas de qualidade dos produtos fabricados, de necessidade de aumento dos índices de disponibilidade dos equipamentos, de redução contínua dos custos e de atendimento à legislação ambiental e de segurança (COOKE, 2003; MOUBRAY, 1996).

Para Swanson (2001), as atividades de manutenção têm sido consideradas críticas para muitas organizações industriais. A manutenção passou a ser vista como responsável por estender a vida útil dos equipamentos, através da melhora das condições de disponibilidade e por mantê-los em condições de operação. Na falta de uma boa estruturação, falhas no processo de manutenção podem acarretar maiores índices de quebras e, conseqüentemente, atrasos nas entregas de produtos por baixa disponibilidade dos equipamentos. Além disso, as falhas não detectadas podem afetar a qualidade dos produtos fabricados.

De forma sucinta, Lucatelli (2002) diz que a função da manutenção é assegurar que os ativos continuem a fazer aquilo que seus usuários querem que eles façam, tecnologicamente do modo mais correto.

### **2.2 PROCESSO EVOLUTIVO DA MANUTENÇÃO**

O processo de evolução da manutenção está relacionado ao desenvolvimento das técnicas produtivas. Quanto mais sofisticado for o processo de fabricação ou de prestação de serviço, mais apurada deve ser a manutenção de

seus ativos, principalmente se o processo depende de tecnologia para gerar resultados (BRANCO FILHO, 2008). A manutenção, portanto, tem evoluído junto com os processos produtivos. Moubray (2003) aponta três gerações distintas:

- Primeira Geração: antes da Segunda Guerra Mundial;
- Segunda Geração: depois da Segunda Guerra Mundial; e
- Terceira Geração: a partir da década de 1970.

### **2.2.1 Primeira Geração**

Considera-se como o início da primeira geração da manutenção o período correspondente à Primeira Guerra Mundial, estendendo-se até a Segunda Guerra Mundial (SIQUEIRA, 2005). Durante esse tempo, a indústria não contava com elevado grau de mecanização, e os equipamentos eram simples e seus componentes sobredimensionados para exercer suas funções. Sem a necessidade de maiores dispêndios com qualidade e produtividade, as indústrias necessitavam apenas que os equipamentos fossem consertados quando apresentassem defeitos.

Conforme Lucatelli (2002), durante o período da primeira geração, utilizava-se apenas a Manutenção Corretiva Emergencial, ou seja, a manutenção atuava apenas quando ocorria alguma falha.

### **2.2.2 Segunda Geração**

Com o término da Segunda Guerra Mundial, teve início a chamada Segunda Geração da Manutenção. O período de industrialização pós-guerra gerou dependência crescente da sociedade dos produtos e processos industriais, e, com isso, o acirramento da concorrência entre as organizações. Nesse contexto, surgiu a necessidade do desenvolvimento de técnicas de manutenção voltadas à prevenção de paradas dos processos produtivos, com o aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos equipamentos (SIQUEIRA, 2005).

De acordo com Siqueira (2005), a forma de atuação preventiva complementa as ações corretivas, levando em conta a vida útil dos componentes instalados nos equipamentos. A partir desse momento, começam a surgir as técnicas de Manutenção Preditiva, cujo objetivo é ampliar a utilização dos componentes através de inspeções sensoriais ou instrumentadas. Sabendo-se o comportamento dos



componentes antes da falha, é possível estender sua vida útil e, conseqüentemente, diminuir despesas com substituição.

### **2.2.3 Terceira Geração**

Conforme descreve Siqueira (2005), há um momento de transição entre as gerações de manutenção, que pode ser expresso pelo surgimento da Manutenção Produtiva Total (*TPM – Total Productive Maintenance*), resultado da união de boas práticas adotadas na indústria japonesa. Dentre os conceitos simples utilizados pela TPM, conforme Branco Filho (2008), estão o alto grau de treinamento, os cuidados com a limpeza dos equipamentos, a disciplina dos envolvidos e a participação dos próprios operadores na manutenção básica dos equipamentos.

Siqueira (2005) cita o surgimento da RCM (*Reliability Centered Maintenance*) como um grande avanço no ciclo de evolução da manutenção. Um grande marco na utilização dessa metodologia foi a utilização dos cálculos de confiabilidade na definição das atividades de manutenção para o então novo Boeing 747<sup>1</sup>.

## **2.3 ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO**

Conforme Pinjala (2001), estratégia é um padrão coerente de decisões. É ela que determina e revela os propósitos da organização e procura obter resultados sustentáveis em cada um dos seus campos de atuação, além de ser responsável por envolver todos os níveis hierárquicos de uma organização.

Especificamente em relação às estratégias de manutenção, vários autores divergem sobre sua classificação. Sellitto (2005) classifica as escolas em Européia e Nipo-americana.

Na escola Européia, as estratégias de manutenção são definidas como Emergencial ou Programada e são utilizados os seguintes procedimentos (SIQUEIRA, 2005):

---

<sup>1</sup> Tais atividades foram avalizadas pela FAA (*Federal Aviation Authority*) – órgão norte-americano regulador das atividades aeronáuticas.

- a) substituição ou reparo funcional: atua-se na parte defeituosa do equipamento, objetivando que o componente retorne à condição anterior à falha;
- b) substituição e restauração preventiva: substituição ou correção programada de um componente. Realiza-se a intervenção próximo ao limite de vida dos componentes, com o intuito de prevenir a sua falha;
- c) reforma: nesse caso, atua-se nos componentes em falha, nos componentes com tendência de falha e naqueles que apresentam potencial de falha. Um dos objetivos é aumentar a confiabilidade dos componentes e do equipamento como um todo.

Conforme Oliveira e Sellitto (2002), as estratégias de manutenção adotadas pela escola nipo-americana são baseadas na seguinte tipologia: emergencial, na qual o equipamento ou componente opera até a falha; a corretiva, onde também se opera até a falha, porém o componente que falhou é corrigido ou reforçado; a preditiva, que executa intervenções com base em diagnósticos; e a preventiva, que executa intervenções em intervalos regulares de tempo.

De acordo com Branco Filho (2008), são quatro os tipos de manutenção:

- a) Manutenção Corretiva, subdividida em:
  - I. Corretiva Emergencial; e
  - II. Corretiva Planejada.
- b) Manutenção Preventiva, subdividida em:
  - I. Preventiva Baseada no Tempo; e
  - II. Preventiva Baseada na Condição.
- c) Manutenção Preditiva; e
- d) Engenharia de Manutenção.

### **2.3.1 Manutenção Corretiva**

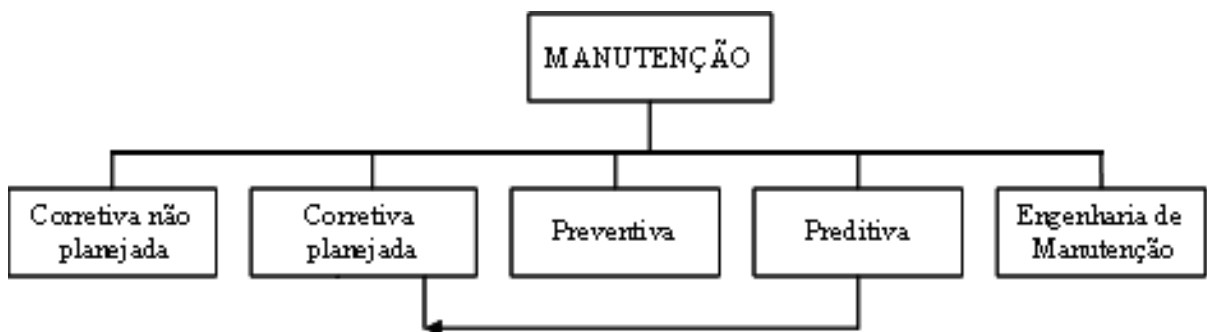
Higgins (2001) descreve que a diferença principal entre manutenção corretiva e manutenção preventiva é que um problema deve ocorrer antes que atividades corretivas sejam realizadas. A manutenção corretiva contempla ações para fazer com que um sistema falho retorne ao seu estado operacional normal (LAFRAIA, 2001).

Em Branco Filho (2008), a manutenção corretiva é definida como todo o trabalho de manutenção realizado em máquinas que estejam em falha. O objetivo maior da manutenção corretiva é restabelecer as condições, sejam elas operacionais ou construtivas, em que se encontravam o equipamento antes da falha. O termo Manutenção Corretiva pode ser utilizado para designar duas formas de atuação: a Manutenção Corretiva de Emergência e a Manutenção Corretiva Planejada.

De acordo com Siqueira (2005), a manutenção corretiva emergencial ocorre no momento em que a falha do equipamento leva à interrupção do processo produtivo ou à impossibilidade do equipamento em cumprir com a sua finalidade. Como Manutenção Corretiva Planejada entende-se o tipo de intervenção que ocorre em decorrência de uma iminência de falha ou quando o equipamento mantém sua funcionalidade até que o reparo possa ocorrer.

Para Higgins (2001), as Manutenções Corretivas Planejadas dependem do cumprimento de alguns pré-requisitos para serem bem implementadas: identificação das causas das falhas, treinamento dos mantenedores, histórico de dados de falha, procedimentos padrões de manutenção, tempo adequado para o reparo e a correta verificação da manutenção realizada.

No que se refere à Manutenção Corretiva Planejada, conforme Branco Filho (2008), podem ser definidas a Manutenção Preditiva e as inspeções de rotina como incentivadoras da prática – conforme apresentado na Figura 2 – uma vez que se torna mais eficiente detectar a falha antes que tragam consequências negativas para o processo produtivo.



**Figura 2: Tipos de Manutenção**  
**Fonte: PINTO (1999)**

### 2.3.2 Manutenção Preventiva

Conforme Pinto (1999), a função da manutenção preventiva é atuar com planejamento prévio, a fim de evitar falhas decorrentes de desgastes, pois os equipamentos podem ser substituídos ou reparados antes do total colapso. Lafraia (2001) diz que a Manutenção Preventiva busca manter o sistema em operação através da prevenção de ocorrência de falhas. Além dessas atividades, os planos de Manutenção Preventiva podem ser usados para tarefas de inspeção, lubrificação, ajustes e outras tarefas que devam ser realizadas de maneira periódica.

Branco Filho (2008), consolidando conceitos apresentados por outros autores, divide a Manutenção Preventiva em: 1) baseada na condição; e 2) baseada no tempo ou em outro parâmetro externo ao equipamento, tal como quilometragem, em veículos, ou ciclos, em máquinas alternativas (sistemática).

A Manutenção Preventiva baseada na condição é realizada no momento em que se detecta alguma condição de degradação do equipamento ainda operante, por intermédio de inspeções. Procura-se utilizar esse procedimento técnico no momento mais próximo possível da ocorrência da falha, ou no instante julgado mais adequado, aproveitando oportunidades. Para Lafraia (2001), a Manutenção Preventiva é planejada e deve ser executada quando for desejado.

Por outro lado, a manutenção preventiva baseada no tempo ocorre sistematicamente, ou seja, a troca de componentes, reparos ou inspeções são realizados de acordo com um cronograma estabelecido. Palmer (2000) diz que a Manutenção Preventiva é realizada em intervalos constantes que podem ser baseados no tempo calendário, no tempo trabalhado pelo sistema, ou pela quantidade de ciclos operacionais realizados.

Para Higgins (2001), as etapas para utilização da manutenção preventiva são as seguintes: estimativa do tempo de realização das atividades, estimativa da mão de obra necessária, levantamento de materiais, priorização das atividades e coordenação com a produção.

### **2.3.3 Manutenção Preditiva**

Esse tipo de manutenção utiliza técnicas de inspeção sensitiva e/ou instrumentada com o objetivo de detectar, com certa antecedência, a ocorrência da falha nos equipamentos.

Conforme Pinto (1999), a manutenção preditiva procura antecipar a ocorrência de paradas dos equipamentos através do acompanhamento de determinados parâmetros, ou seja, o controle estatístico do comportamento dos componentes pode indicar quando ele irá falhar.

Para Branco Filho (2008), a Manutenção Preditiva é uma das formas mais eficientes de manutenção e que demandam menor investimento, uma vez que permite a operação do equipamento pelo maior tempo possível e evita despesas com a troca de componentes, muitas vezes, em boas condições. Porém, conforme Moubrey (1996), a Manutenção Preditiva possui alguns pontos negativos, como as despesas iniciais para aquisição de equipamentos e o treinamento de pessoal especializado, que podem ser consideradas proibitivas para algumas organizações.

A análise de ruídos de rolamentos e de óleo lubrificante, os ensaios de ultrassom, a medição de folgas e de temperatura em mancais e trocadores de calor, a análise termográfica de componentes elétricos, entre outras, são algumas das técnicas utilizadas na Manutenção Preditiva (TSANG, 1995). Para Branco Filho (2008), a principal contribuição da Manutenção Preditiva à Manutenção Preventiva é a determinação do ponto ótimo para execução da atividade preventiva.

### **2.3.4 Engenharia de Manutenção**

Conforme Pinto (1999), cabe à Engenharia de Manutenção a busca das melhores práticas e técnicas modernas para serem aplicadas na manutenção industrial. O objetivo principal da Engenharia de Manutenção é diminuir a necessidade de intervenções de manutenção através da melhoria das condições operacionais dos componentes.

Fabro (2003) complementa essa afirmação dizendo que são atribuições da Engenharia de Manutenção a busca das causas de quebras e falhas, proposições de modificações de projetos em casos de defeitos repetitivos e o desafio pela diminuição dos custos. A geração de documentos para padronização das atividades

de manutenção e gerenciamento de peças sobressalentes também fazem parte da Engenharia de Manutenção (BRANCO FILHO, 2008).

É função da Engenharia de Manutenção melhorar continuamente os equipamentos, seja através de alterações de projeto ou modificações nas formas de operação e manutenção. Essa é a principal diferença da Engenharia de Manutenção em relação aos outros tipos de manutenção, que são responsáveis, simplesmente, em restabelecer as condições operacionais após a falha (POSSAMAI, 2001).

## 2.4 ESTRUTURA DE SUPORTE ESTRATÉGICO À MANUTENÇÃO

### 2.4.1 Indicadores de Manutenção

Conforme descrito em Branco Filho (2008), é fundamental, para o setor de manutenção, a escolha de indicadores que sejam o resultado do desdobramento dos objetivos da organização. Sendo assim, os indicadores de Manutenção são desenvolvidos e utilizados com vistas a atingir metas operacionais definidas pela organização. Segundo Viana (2002), existem seis indicadores chamados de Índices de Classe Mundial. São eles:

- a) MTBF (*Mean Time Between Failure*): significa o período médio entre falhas. Este valor indica quando poderá ocorrer uma falha no equipamento ou no componente estudado. Quanto maior for este índice, maior será a confiabilidade no equipamento (Equação 1).

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^N TBF_i}{N} \quad (1)$$

Onde, TBF significa o tempo de operação entre falhas; N, o número de ocorrências (WÜTKE e SELLITTO, 2008).

- b) MTTR (*Mean Time to Repair*): significa tempo médio para reparar, isto é, o tempo médio necessário para recolocar um componente ou sistema defeituoso em funcionamento. É dado por (2).

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^N TTR_i}{N} \quad (2)$$

Onde TTR significa o tempo para o reparo.

- c) *MTTF (Mean Time To Failure)*: corresponde ao tempo médio para a falha, ou seja, a média aritmética entre a entrada em funcionamento e a falha. Nesse caso, considera-se que os componentes ou o equipamento são descartados após a falha. O MTTF e MTBF são distintos, um leva em consideração falhas em componentes reparáveis; o outro, nos não reparáveis. É dado por (3).

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^N TTF_i}{N} \quad (3)$$

Onde TTF significa o tempo de operação até a falha.

- d) *DISP (Disponibilidade Física dos Equipamentos)*: é a capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo. A fórmula do cálculo da disponibilidade varia de um setor produtivo para outro, e até mesmo de uma empresa concorrente para outra. De maneira geral, a disponibilidade física representa o percentual de dedicação para operação de um equipamento, ou de uma planta em relação às horas totais do período (SELLITTO, 2005).

$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (4)$$

- e) *CMFB (Custo de Manutenção por Faturamento Bruto)*: é utilizado com o intuito de se conhecer a parcela das despesas de Manutenção e da Manutenção no faturamento bruto da empresa. Em sua composição

estão gastos com pessoal, material e contratação de serviços externos, depreciação e perda de faturamento.

- f) CMPV (Custo de Manutenção por valor de Reposição): este índice consiste na relação entre o custo total de manutenção de um determinado equipamento e o seu valor de compra. Para equipamentos de criticidade alta, deve-se calcular o custo de manutenção por valor de reposição. Um valor aceitável deste indicador seria  $CMPV < 6\%$  no período de um ano, dependendo do retorno financeiro e estratégico dado pelo equipamento analisado, que pode vir a justificar um custo de manutenção considerado alto (BRANCO FILHO, 2008).

#### **2.4.2 Gerenciamento Computadorizado de Manutenção**

O Gerenciamento Computadorizado de Manutenção (*Computadorized Maintenance Management System – CMMS*), com o uso dos recursos da informática, dos equipamentos e instalações, e objetivando a criação de um banco de dados históricos dos equipamentos, bem como com o planejamento e a programação de recursos, permite orientar atividades e estabelecer o panorama das condições dos equipamentos. Além disso, a utilização da informática faz com que a manutenção esteja ligada aos demais departamentos da empresa, tornando o gerenciamento de custos, materiais e pessoal mais ágil e seguro (BRANCO FILHO, 2008).

Conforme Gabbar (2003), a indústria petroquímica e a nuclear foram as pioneiras na utilização do CMMS, devido à necessidade de um controle mais eficiente das atividades de manutenção em seus equipamentos e cujas falhas podem ter consequências devastadoras. No início dos anos 2000 os *softwares* comerciais mais utilizados em nível mundial eram o MAXIMO e o SAP/R3 PM (GABBAR, 2003). De acordo com Fabro (2003), a utilização do CMMS tem se mostrado de grande importância na evolução dos processos de manutenção, aumentando sua dinamicidade.



### **2.4.3 Planejamento de Manutenção**

Conforme descrito em Fabro (2003), o planejamento pode se tornar o principal fator da excelência de um processo de manutenção, pois é com a sua realização que se conectam os tipos de manutenção, estratégias e demais métodos utilizados. É através do planejamento que são selecionadas as formas de atuação da manutenção nos equipamentos e definidas quais práticas serão aplicadas, bem como o momento de sua aplicação.

Branco Filho (2008) descreve que o planejamento é, fundamentalmente, a organização de um trabalho para ser executado com eficiência, tornando-se um dos aspectos mais importantes da manutenção e contribuindo significativamente para uma melhor produtividade do setor de manutenção. Para Fabro (2003), o planejamento de manutenção é a maneira eficiente pela qual se consegue ampliar o nível de disponibilidade dos equipamentos e dos processos produtivos como um todo.

### **2.4.4 Fator Humano na Manutenção**

Conforme Branco Filho (2008), de nada adianta a utilização das mais modernas técnicas e práticas de manutenção se o executante das tarefas não está plenamente preparado para fazer uma intervenção minuciosa e com a qualidade desejada. Cabe ao mantenedor manter-se informado sobre os métodos de manutenção, deter o conhecimento detalhado sobre o funcionamento dos equipamentos e entender o processo produtivo em que se enquadra o equipamento.

Para Fabro (2003), é fundamental que se tenha uma rotina de treinamento para os mantenedores e para os demais envolvidos no processo de manutenção. Os mantenedores devem receber informações referentes às ferramentas de solução de problemas a fim de desenvolverem diagnósticos mais rápidos e precisos das falhas, além da busca por melhorias nos equipamentos. Para os planejadores e engenheiros de manutenção, é importante a participação em congressos e seminários, com o intuito de trazer a organização as melhores práticas.

Nem todas as atividades de manutenção são realizadas pelos mantenedores da empresa. Em alguns casos, ocorre a contratação de pessoal para a complementação de mão de obra em serviços, cuja demanda excede os recursos

disponíveis, ou para a realização de trabalhos de baixa especificação (TAVARES, 1996). Além disso, a terceirização é utilizada quando a manutenção da empresa não se encontra habilitada a intervir nos equipamentos que necessitam de manutenção específica, ou por falta de conhecimento.

## **2.5 TENDÊNCIAS NA MANUTENÇÃO**

Conforme descrito em Fuentes (2006), diversos autores apresentam a gestão da manutenção como um fator que vem recebendo cada vez mais atenção nas organizações, uma vez que, a partir dela, pode-se obter um desempenho cada vez maior dos ativos. Dentro de um contexto em que a manutenção passa a ter sua importância reconhecida, passa a ser necessária uma visão global daquilo que está acontecendo e sobre a possibilidade de compartilhar as melhores práticas adotadas por cada empresa.

A Tabela 2 apresenta o nível de atuação da manutenção no Brasil em 2009, segundo o documento nacional da ABRAMAN, que tem por objetivo oferecer uma fonte de informação sobre a manutenção no Brasil. Com base nesses dados, pode-se afirmar que ainda se trabalha com muita Manutenção Corretiva e com Manutenção Preventiva em excesso no Brasil. O nível de Manutenção Preditiva é bastante inferior aos demais, e a Engenharia de Manutenção nem aparece como fator relevante na pesquisa.

**Tabela 2**  
Nível de atuação no Brasil

<b>Aplicação dos Recursos na Manutenção (%)</b>				
<b>Ano</b>	<b>Manutenção Corretiva</b>	<b>Manutenção Preventiva</b>	<b>Manutenção Preditiva</b>	<b>Outros</b>
<b>2009</b>	<b>29,85</b>	<b>38,73</b>	<b>13,74</b>	<b>17,68</b>
<b>Hh (serviços de manutenção) / Hh (total de trabalho)</b>				

Fonte: ABRAMAN (2009)

O domínio tecnológico estratégico e o conhecimento profundo dos equipamentos da planta são fundamentais para que as intervenções sejam rápidas e eficientes. Assim, é importante que a equipe não esteja sempre mudando. É por estas razões que a maior parte dos profissionais de manutenção são empregados da própria empresa. A Tabela 3 apresenta a relação entre a quantidade de pessoas envolvidas na manutenção e a quantidade de funcionários efetivos da organização.

**Tabela 3**  
Relação de Funcionários Efetivos na Manutenção

<b>Ano</b>	<b>Relação entre Pessoal Contratado e Total de Executantes</b>	
	<b>Número de Empresas</b>	<b>Relação (%)</b>
<b>2009</b>	<b>97</b>	<b>40,15</b>
<b>2007</b>	<b>140</b>	<b>41,39</b>
<b>2005</b>	<b>104</b>	<b>32,45</b>
<b>2003</b>	<b>113</b>	<b>34,42</b>
<b>2001</b>	<b>134</b>	<b>38,88</b>
<b>1999</b>	<b>104</b>	<b>32,21</b>

Fonte: ABRAMAN (2009)

De acordo com os dados apresentados, as empresas têm utilizado mais mão de obra própria nas intervenções de manutenção. Os serviços realizados por pessoal terceirizado costumam ser utilizados para regular as flutuações na carga de

trabalho, em projetos temporários, nas grandes paradas para manutenção ou em atividades que não estejam ligadas diretamente às atividades fim da empresa (limpeza, pintura, etc.). A rotatividade de pessoal, também conhecida como *Turnover*, é apresentada na Tabela 4. Estes dados mostram uma rotatividade baixa, quando comparada às demais categorias profissionais existentes na indústria.

**Tabela 4**  
**Rotatividade do Pessoal da Manutenção**

<b>"Turnover" Anual do Pessoal da Manutenção</b>	
<b>Ano</b>	<b>Rotatividade Anual (% Médio)</b>
<b>2009</b>	<b>3,70</b>
<b>2007</b>	<b>2,39</b>
<b>2005</b>	<b>1,98</b>
<b>2003</b>	<b>2,32</b>
<b>2001</b>	<b>2,46</b>
<b>1999</b>	<b>2,45</b>

Fonte: ABRAMAN (2009)

A participação das equipes de produção que executam algumas atividades de manutenção tem sido incentivada e é uma prática que poderá crescer nos próximos tempos, principalmente à medida que em forem sendo utilizadas as práticas da TPM. Um dos objetivos dessa integração é despertar no operador de produção o comprometimento com a sua respectiva ferramenta de trabalho, com a sua valorização profissional e com a amplitude de seu conhecimento técnico.

A Tabela 5 mostra a evolução da participação da produção nas atividades de manutenção. Nas últimas duas pesquisas, houve aumento da quantidade de empresas que alegam não utilizar mão de obra produtiva nas atividades de manutenção. Esse fato pode ser explicado pela maior organização desses setores, já que grande parte dos trabalhos realizados no passado pelo pessoal produtivo serviam para preencher as lacunas deixadas pela manutenção. Os trabalhos esporádicos mencionados na pesquisa são referentes a atividades de limpeza e lubrificação realizadas pelos operadores das máquinas.

**Tabela 5**  
**Participação da Mão de Obra Produtiva na Manutenção**

Ano	Pessoal Não Administrativo Participa dos Serviços de Manutenção? (%)					
	Não	Esporádico	Na Falta de Pessoal	Pequenos Reparos	Trabalhos Rotineiros	Em Conjunto com a Manut.
2009	55,09	26,27	0,85	0,00	5,08	12,71
2007	55,06	17,72	4,43	0,64	5,06	17,09
2005	30,09	16,81	1,77	4,42	21,24	25,67
2003	29,27	21,95	1,63	4,06	11,38	31,71
2001	36,24	12,08	0,67	10,07	16,78	24,16
1999	26,85	23,15	0,93	10,19	12,04	26,84

Fonte: ABRAMAN (2009)

Os indicadores permitem a avaliação da qualidade do trabalho realizado. Há indicadores adequados para reportar os resultados e embasar as decisões estratégicas da empresa, indicadores para controle do gerenciamento da manutenção e outros voltados para a equipe de trabalho. A partir da Tabela 6, observa-se que os indicadores de MTTF e MTTR começam a ser utilizados na indústria nacional apenas nos anos 2000. Esses indicadores são utilizados pela Engenharia de Manutenção, servindo como base para as decisões técnicas. Conforme apresentado, os indicadores mais utilizados no Brasil continuam sendo os relativos aos custos e à disponibilidade operacional.

**Tabela 6**  
**Principais Indicadores Utilizados no Brasil**

Principais Indicadores de Desempenho Utilizados								
Tipos	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009
Custos	26,21	26,49	26,32	25,91	21,45	21,96	20,33	18,98
Frequência de Falhas	17,54	12,20	14,24	16,22	11,66	12,17	9,75	9,81
Satisfação do Cliente	13,91	11,01	11,76	11,86	8,62	8,11	8,93	9,38
Disponibilidade Operacional	25,20	24,70	22,60	23,24	19,58	19,81	18,51	20,68
Retrabalho	9,07	5,65	8,36	8,96	6,06	6,68	3,97	5,33
Backlog	8,07	6,55	8,98	10,41	9,32	6,92	11,57	10,02
Não Utilizam	-	2,09	2,79	1,22	1,63	0,72	0,33	1,07
TMPF (MTTF)	-	-	-	-	11,89	11,69	14,21	12,79
TMPR (MTTR)	-	-	-	-	9,56	11,46	11,74	11,94
Outros Indicadores	-	11,31	4,95	2,18	0,23	0,48	0,66	0,00

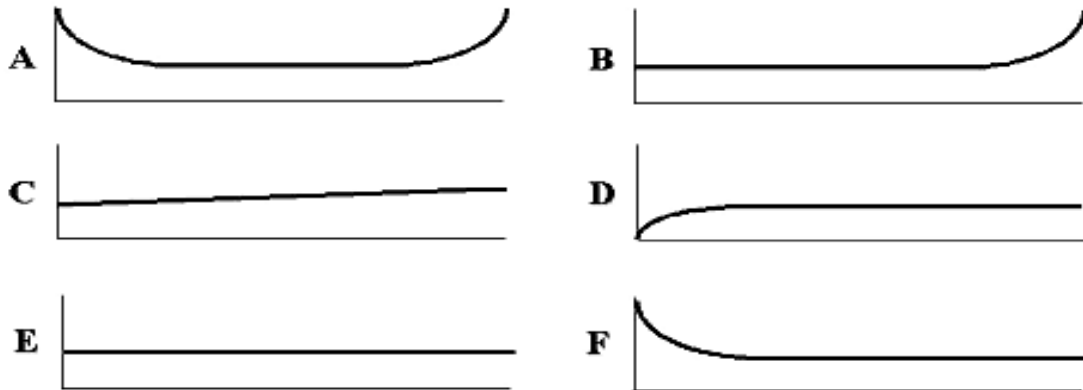
Fonte: ABRAMAN (2009)

## 2.6 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)

De acordo com Siqueira (2005), a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) tem sua origem relacionada aos avanços tecnológicos do período após a Segunda Guerra Mundial. As pesquisas realizadas na indústria bélica norte-americana foram de grande importância para o desenvolvimento da MCC, assim como o incremento da automação industrial e o avanço da computação. Em meados dos anos 1980, a manutenção centrada em confiabilidade começou a ser utilizada na manutenção de submarinos nucleares da Marinha Americana. Em paralelo, foram surgindo os primeiros estudos para aplicação no ramo elétrico e aeronáutico.

A realização periódica de revisões em equipamentos de grande porte é uma prática comum na indústria, pois se presume que isso garanta a confiabilidade e a segurança das instalações. Conforme Siqueira (2005), pesquisas realizadas por grupos dedicados a estudar a manutenção centrada em confiabilidade concluíram que esse método produz pouco efeito na confiabilidade final dos processos, ou mesmo das linhas de produção. A principal razão para isso está no pressuposto de que todos os equipamentos obedecem a uma única curva de taxas de falha, chamada curva da banheira.

Conforme descrito por Siqueira (2005) e Moubray (1996), existem, além da curva da banheira, outras cinco curvas típicas de taxas de falhas, que estão representadas na Figura 3, seguida pela descrição:



**Figura 3: Curvas de taxas de falhas**  
 Fonte: adaptado de MOUBRAY (1996)

- a) Tipo A – caracterizada por um período de mortalidade infantil, período de vida útil com falhas aleatórias e desgaste acentuado. Exemplos: motores elétricos, engrenagens e ventiladores;
- b) Tipo B – nesse caso ocorrem poucas falhas prematuras e durante a vida útil, com desgaste acentuado após determinado período. Exemplos: válvulas e pistões;
- c) Tipo C – mecanismo que apresenta índice de falhas crescente e constante; elas não ocorrem por desgaste, e sim por fadiga. Exemplos: compressores de ar, turbinas, engrenagens e rolamentos;
- d) Tipo D – no início da vida útil, a Taxa de Falhas é baixa; porém, em seguida, a Taxa de Falhas é constante. Exemplo: itens exaustivamente testados antes de serem instalados;
- e) Tipo E – falhas descritas por esse mecanismo são bastante aleatórias e podem ocorrer sem aviso em qualquer período. Dessa forma, é impossível prever o tempo de vida do componente. Exemplo: lâmpadas;
- f) Tipo F – apresenta alto índice de mortalidade infantil e, com o tempo, as diminuem. Exemplo: componentes eletrônicos e *softwares*.

De acordo com Sellitto (2007), para equipamentos complexos e sistemas integrados de produção fabril, é mais vantajoso trabalhar apenas com o formato A, curva da banheira. Segundo o autor, quase todos os comportamentos de interesse em manutenção industrial estão representados em uma das fases da curva da banheira. Também interessa conhecer a evolução do equipamento, ou seja, como se desloca na curva ao longo do tempo.

Conforme Modak (2002), alguns dos benefícios da aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade são: desenvolvimento de planos de manutenção de alta qualidade em menos tempo e baixo custo; a garantia de que todos os componentes importantes e seus modos de falha são contemplados nos planos de manutenção; disseminação das informações referentes aos componentes críticos dos sistemas.

### 2.6.1 Conceitos de Confiabilidade em Manutenção

Conforme Siqueira (2005), o interesse da manutenção é saber qual é a probabilidade que os componentes ou os equipamentos têm de sobreviverem durante um intervalo de tempo. A probabilidade de sobrevivência é chamada de confiabilidade  $R(t)$ , expressa pela equação (5).

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t).dt = 1 - \int_{-\infty}^t f(t).dt = 1 - F(t) \quad (5)$$

sendo que  $f(t)$  é a função densidade de probabilidade de falha:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (6)$$

$F(t)$  é a distribuição de probabilidade acumulada de falhas, podendo ser definida a partir de um dado instante de tempo ou entre um intervalo entre dois tempos:



$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t).dt \quad (7)$$

ou

$$F(t_2) - F(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} f(t).dt \quad (8)$$

Outro conceito importante é a função Taxa de Falhas, que é definida pela probabilidade da ocorrência da falha entre dois tempos,  $t$  e  $t + dt$ . A função Taxa de Falhas é dada por (9).

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (9)$$

## 2.6.2 Distribuições de Probabilidade no Estudo da Confiabilidade

Conforme Wütke e Sellitto (2008), as distribuições de probabilidade úteis nos estudos de confiabilidade aplicados à manutenção são Weibull, Normal, Lognormal, Exponencial e Gamma. Cada uma das distribuições de probabilidade deve se encaixar em determinado tipo de componente, equipamento e modo de falha. Por exemplo, a distribuição de Weibull representa, melhor, sistemas cujos componentes estão conectados em série; a Normal descreve tempos de falhas que se somam; a Lognormal descreve tempos de falhas que se multiplicam; a Exponencial descreve falhas que ocorrem por motivos aleatórios; a Gamma, quando o sistema pode ser considerado uma ligação de múltiplos componentes em paralelo.

De acordo com Wütke e Sellitto (2008), a distribuição de Weibull permite a modelagem de sistemas nos quais a falha do sistema inteiro é determinada pela falha do primeiro componente, fato esse bastante comum no ambiente industrial. A função distribuição de probabilidade de Weibull é dada por:

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left( \frac{t}{\theta} \right)^{\gamma-1} e \left[ - \left( \frac{t}{\theta} \right)^{\gamma} \right] \quad 0 \leq t \leq \infty \quad (10)$$

onde,

$\gamma$ : parâmetro de forma;

$\theta$ : parâmetro de escala;

$t$ : tempo até a falha.

Pelo parâmetro de forma  $\gamma$  da distribuição de Weibull, pode-se obter informações a respeito do ciclo de vida dos equipamentos ou componentes submetidos à análise (SELLITTO, 2005). O autor apresenta, na curva da banheira (Figura 4), a relação entre o parâmetro de forma  $\gamma$  e a Taxa de Falhas  $\lambda$ .

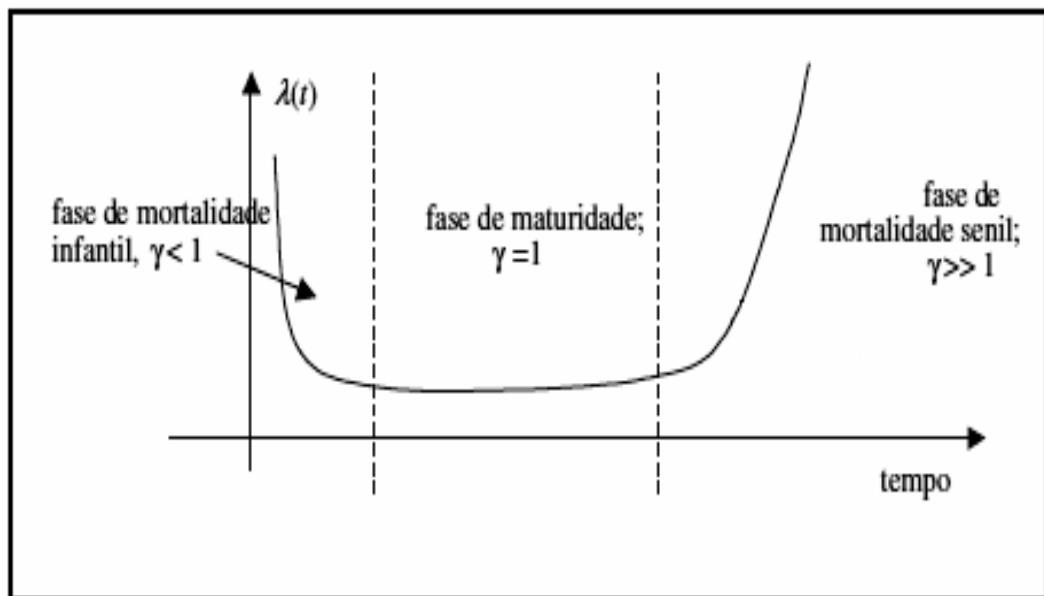


Figura 4: Relação entre o parâmetro de forma e a Curva da Banheira  
Fonte: SELLITTO (2005)

Lafraia (2001) complementa, na Tabela 7, o comportamento da função Taxa de Falhas conforme os valores obtidos no parâmetro de forma. O autor relaciona o tipo de taxa de falha com o comportamento preferencial do equipamento e a posição que ocupa na curva da banheira.

**Tabela 7**  
**Comportamento da Função Taxa de Falhas**

$\gamma$	Comportamento da Função Taxa de Falhas
<1	Taxa de Falhas Decrescente com o tempo – mortalidade infantil
=1	Taxa de Falhas Constante – maturidade
>1	Taxa de Falhas Crescente com o Tempo – mortalidade senil
=2	Taxa de Falhas Linearmente Crescente
>2	Taxa de Falhas aumenta proporcionalmente à potência
=3,2	Distribuição aproxima-se da distribuição Normal

Fonte: adaptado de LAFRAIA (2001)

A função Manutenibilidade  $m(t)$  pode ser modelada pelas distribuições Normal e Lognormal. A Normal se ajusta melhor quando a atividade de manutenção é composta preferencialmente por sequências de atividades, tais como o desmanche e a reforma de máquinas. A Lognormal se ajusta melhor às atividades que incluem etapas de pesquisa, estratégia e atividade cognitiva, tal como a busca de um defeito ou substituição de um equipamento por outro mais avançado, o *retrofit* (SELLITTO, 2005 e 2007). Portanto, para este trabalho, além da Weibull, também são úteis as distribuições Normal e Lognormal.

Para a distribuição Normal, a função densidade de probabilidade de falhas é dada por (11).

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]} \quad -\infty \leq t \leq \infty \quad (11)$$

onde,

$\mu$  : média;

$\sigma$  : desvio padrão;

$t$  : tempo até a falha.

Conforme Sellitto (2007), a distribuição Lognormal também é a que melhor representa o período de vida útil de componentes expostos à fadiga e à corrosão. A função densidade de probabilidade da distribuição Lognormal é dada por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot t \sqrt{2\pi}} e^{\left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right]} \quad t > 0 \quad (12)$$

onde,

$\mu$  : média;

$\sigma$  : desvio padrão;

$t$  : tempo até a falha.

A distribuição de probabilidade da função Exponencial é dada por:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (13)$$

onde,

$\lambda$  : Taxa de Falhas.

O interesse acerca da distribuição exponencial está em que ela se torna um caso particular da distribuição de Weibull, quando a Taxa de Falhas é constante, ou seja, se o equipamento está na fase de maturidade, os dados de falhas se ajustam também à exponencial.

Sellitto (2005) afirma que a distribuição Gamma descreve sistemas que operam em paralelo, ou seja, sistemas em que a falha total ocorre quando o último componente falha. A função Gamma é dada por:

$$f(t) = \frac{t^{-\gamma-1}}{\theta^\gamma \Gamma(\gamma)} \cdot e^{\left( -\frac{t}{\theta} \right)} \quad (14)$$

onde,

$\theta$ : parâmetro de escala;

$\Gamma$ : função gamma;

$\gamma$ : parâmetro de forma;

$t$ : tempo até a falha.

Observa-se, por fim, que os valores de MTBF e MTTR são calculados extraindo-se os valores esperados das distribuições escolhidas para descrever os tempos até a falha e até o reparo. É possível que, dependendo da distribuição escolhida, difiram das médias aritméticas do conjunto de dados de tempos até a falha, principalmente quando a distribuição que melhor se ajusta aos dados tem assimetrias acentuadas, tais como a distribuição de Weibull. As médias aritméticas apontam a média dos tempos já ocorridos, enquanto o valor esperado da distribuição aponta para o valor próximo mais provável a ser observado, caso a distribuição seja seguida. Em síntese, se houver assimetria na distribuição e esta for acentuada, os valores podem não ser iguais (SELLITTO, 2007).

### **2.6.3 Testes de Aderência no Estudo da Confiabilidade**

Conforme descrito por Lewis (1996), existem diversos métodos que mostram a aderência dos dados a determinado modelo probabilístico. Eles são utilizados para estabelecer uma medida quantitativa da confiança que os dados possuem ao serem representados por uma distribuição. Os testes mais utilizados no estudo da confiabilidade são o Qui-Quadrado e o teste de Kolmogorov-Smirnov. O teste Qui-Quadrado é utilizado quando existe uma quantidade de dados suficiente para se construir um histograma, e o teste Kolmogorov-Smirnov é utilizado para dados não agrupados. O teste de aderência Qui-Quadrado é mais utilizado para comprovar a concordância entre valores observados e esperados para um determinado fenômeno (MARTINS, 1981). Caso o teste Qui-Quadrado seja utilizado para colocar à prova hipóteses que se refiram à forma da distribuição, está se realizando um teste de aderência (LEWIS, 1996). Nestes testes, admite-se que a distribuição da variável estudada é descrita por determinado modelo de probabilidade, a fim de se verificar o grau de aderência dos dados da amostra ao modelo.

De acordo com o descrito por Lewis (1996), o teste Kolmogorov-Smirnov analisa a concordância entre um conjunto de valores observados e uma determinada distribuição probabilística. Esse fato ocorre através da comparação de cada um dos pontos entre as frequências acumuladas obtidas nos dados de determinada amostra com a do modelo de distribuição probabilística que se deseja verificar.

## **2.7 ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS (FTA)**

De acordo com Siqueira (2005), a análise de árvore de falha (*Fault Tree Analysis* – FTA) pode ser definida como uma ferramenta de análise de cima para baixo, ou seja, que se inicia com a identificação de um evento indesejável, conhecido como evento raiz, prosseguindo com a determinação de todas as maneiras possíveis de tal evento ocorrer.

A metodologia foi desenvolvida em 1962 pela Força Aérea Norte-Americana, em parceria com os laboratórios *Bell Telephone* (LEWIS, 1996). O objetivo principal era a análise dos sistemas de controle de lançamento de mísseis. Atualmente, as análises de árvore de falhas encontram as maiores aplicações na indústria aeroespacial e nuclear, a fim de avaliar a confiabilidade e a segurança dos sistemas complexos.

Podem ser utilizadas duas abordagens diferentes na utilização do FTA, conforme descrito por Lafraia (2001): a análise do tipo qualitativa e a do tipo quantitativa. Na análise qualitativa, objetiva-se determinar as causas básicas de determinado evento ou a sequência de eventos que o levou a acontecer. Na análise quantitativa, objetiva-se determinar a probabilidade de ocorrência de um evento. Os seguintes passos devem ser seguidos para a aplicação do método na abordagem qualitativa, conforme Lafraia (2001):

- a) determinação do evento principal (topo);
- b) determinação dos fatores contribuintes;
- c) diagramação lógica.

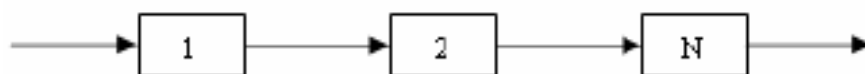
### 2.7.1 Conceitos de Falhas

Conforme definido pela ABRAMAN, falha é a impossibilidade de um sistema ou máquina realizar a sua função específica, ou seja, a função para a qual foi projetado. Partindo-se dessa definição, pode-se dividir o conceito de falha em duas categorias: falha com perda total da capacidade do sistema, e falha com redução parcial da capacidade. As falhas com perda total da capacidade ocorrem de forma inesperada, e fazem com que o funcionamento geral do equipamento ou sistema seja interrompido. Já as falhas com perda parcial da função são as falhas que não causam a interrupção da operação, porém resultam em diversas perdas, tais como defeitos e pequenas interrupções (NAKAJIMA, 1989).

## 2.8 CONFIABILIDADE DE SISTEMAS

### 2.8.1 Sistema em Série

Conforme descrito em Lafraia (2001), os componentes são considerados em série quando a falha de qualquer um provocar a falha do sistema como um todo, ou seja, o sistema fica completamente inoperante pela simples falha de um dos componentes. Sendo assim, o funcionamento completo do sistema depende da atuação perfeita de cada um dos componentes. A representação através do diagrama de blocos de um sistema em série é dada conforme a Figura 5.



**Figura 5: Sistema em Série**  
Fonte: LAFRAIA (2001)

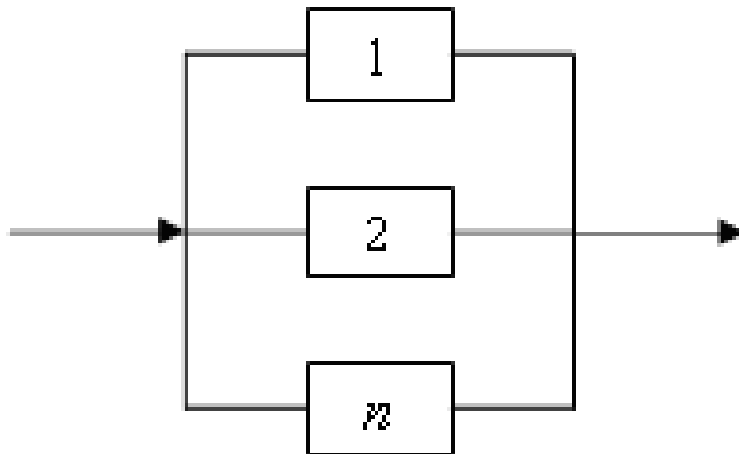
Considera-se que os componentes 1, 2, ..., N possuem confiabilidade  $R_1(t)$ ,  $R_2(t)$  a  $R_N(t)$ , respectivamente. Por exemplo, se forem utilizados dois componentes em série, com confiabilidades  $R_1(t)$  e  $R_2(t)$ , a probabilidade de que ambos os componentes resistam ao tempo  $t$  é dada pela equação 15.

$$R_0(t) = R_1(t) \times R_2(t) \quad (15)$$

Pode-se deduzir, conforme Meyer (1993), que a confiabilidade de um sistema em série, formado por dois componentes independentes, é menor do que qualquer confiabilidade de cada componente. A conclusão a que chega Lafraia (2001) é que não se deve sobrecarregar um sistema em série com componentes, pois quanto maior a quantidade de componentes, menor tende a ser a confiabilidade do sistema como um todo.

### 2.8.2 Sistema em Paralelo

Os componentes são considerados em paralelo quando a falha do sistema ocorre apenas assim que todos os componentes falharem ou o sistema continuar em operação (LAFRAIA, 2001). Em um sistema em paralelo, a confiabilidade atinge valores maiores do que os sistemas em série. Um sistema em paralelo é representado conforme a Figura 6.



**Figura 6: Sistema em Paralelo**  
Fonte: LAFRAIA (2001)

A probabilidade de falha, para um sistema com dois componentes em paralelo é dada por (16) e (17).

$$R_0(t) = R_1(t) \times R_2(t) \quad (16)$$

Ou seja,

$$R_0(t) = 1 - \{(1-R_1(t)) \times (1-R_2(t))\} \quad (17)$$



De acordo com Meyer (1983), nas operações de sistemas em série, é obrigatório que todos os componentes funcionem perfeitamente; enquanto, no sistema em paralelo, a confiabilidade será maior, quanto maior for o número de componentes.

### 3 MÉTODO DE INTERVENÇÃO

O método de intervenção utilizado neste estudo de caso tem como objetivo principal a aplicação da técnica da Manutenção Centrada na Confiabilidade, vinculada às estratégias de produção utilizadas no ambiente industrial. A fim de atingir os objetivos propostos para esta pesquisa, foram realizadas as seguintes etapas, que correspondem à metodologia aplicada:

- a) escolha de um sistema produtivo complexo para análise e estudo das condições atuais de funcionamento e de produtividade, dos índices de manutenção e a relação com as estratégias produtivas. Conforme Sellitto (2007), a complexidade dos equipamentos refere-se aos inúmeros modos de falhas possíveis de ocorrer e também pelas interferências que cada um dos modos de falha exerce sobre os demais;
- b) modelagem qualitativa do sistema produtivo selecionado para o estudo de caso piloto, levando-se em consideração a disposição dos equipamentos na linha de produção, a sequência de operações realizadas e a sua criticidade para o funcionamento do processo como um todo, com construção do RDB (*Reliability Block Diagram* – Diagrama de Blocos da Confiabilidade) do sistema;
- c) elaboração da análise de árvore de falhas (FTA) para o sistema objeto do estudo, a fim de identificar os modos de falha primários que levam à falha geral do sistema;
- d) coleta dos dados do histórico de falhas de cada um dos equipamentos que compõem o sistema produtivo escolhido. Os dados de interesse são os TTF (tempo entre falhas, para o cálculo da Taxa de Falhas) e as causas das falhas, quando houver diagnóstico inequívoco. Foram utilizados os dados dos últimos vinte e quatro meses de operação. Os dados foram disponibilizados através do *software* de gerenciamento de manutenção usado na empresa objeto de estudo. Eventualmente, também os TTR são de interesse, principalmente quando o MTTR é significativo diante do MTBF, o que faz com que a disponibilidade do equipamento seja muito diferente de 100%;

- e) definição das estratégias de manutenção de equipamentos relevantes na empresa estudada. Baseia-se na função Taxa de Falhas dos Equipamentos: se a Taxa de Falhas for decrescente, formula-se um tipo de estratégia; se for constante, outro tipo; se for crescente, um terceiro tipo. As funções taxas de falha  $h(t)$  e confiabilidade  $R(t)$  foram calculadas com o apoio do *software ProCont®*, disponível na Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos. Para a confiabilidade de sistema foi usado o *software Prosys*, também disponível na universidade. Com base nas curvas de taxa de falhas X tempo, foram verificadas a natureza das falhas relativas à mortalidade infantil, à fase de maturidade e à mortalidade senil. A definição do conjunto de ações depende de cada equipamento e da estratégia de produção envolvida (equipamento gargalo, não gargalo, com redundância, sem redundância, produção para estoque, produção *Just-In-Time*, etc);
- f) utilizou-se o valor de 0,85 como fator de risco para a probabilidade de falhas, a fim de determinar os períodos de manutenção preventiva, quando aplicada. O intervalo ótimo de manutenção preventiva é econômico, ou seja, deve levar em consideração o custo da falha emergencial e o custo da preventiva; e
- g) discussão das possíveis falhas do método detectadas durante a sua aplicação, bem como os demais fatores que se apresentarem relevantes ao desenvolvimento acadêmico e prático.

O objetivo da gestão estratégica é focalizar apenas as ações que têm mais chance de trazerem bom resultado com baixo esforço. Ações que exigem alto esforço, como corretiva em toda quebra; ações que oferecem pouco resultado, como preditiva em toda máquina; ou ações contraproducentes, como preventiva fora do desgaste, devem ser reconhecidas e abandonadas em uma gestão estratégica da manutenção (SELLITTO, 2005).

## **4 ESTUDO DE CASO**

O objetivo principal desse capítulo é apresentar um estudo de caso realizado em uma empresa do setor metalúrgico. Neste capítulo estão descritos o objeto estudo do caso, os dados obtidos para o estudo, os ensaios estatísticos e os modelos da confiabilidade que fundamentam o estudo.

### **4.1 HISTÓRICO DA EMPRESA DO SETOR METALÚRGICO**

A empresa objeto do estudo é uma multinacional de origem alemã, cujo início de suas operações ocorreu na década de 1930, com a fabricação, por parte de seu fundador, das primeiras motosserras movidas à gasolina. A partir daí, iniciou-se um ciclo de industrialização de ferramentas portáteis motorizadas, voltadas às atividades de silvicultura, bricolagem e construção civil. Atualmente, a empresa possui operações de venda em 160 países, e seus produtos são fabricados na Alemanha, no Brasil, nos Estados Unidos, na China e na Suíça.

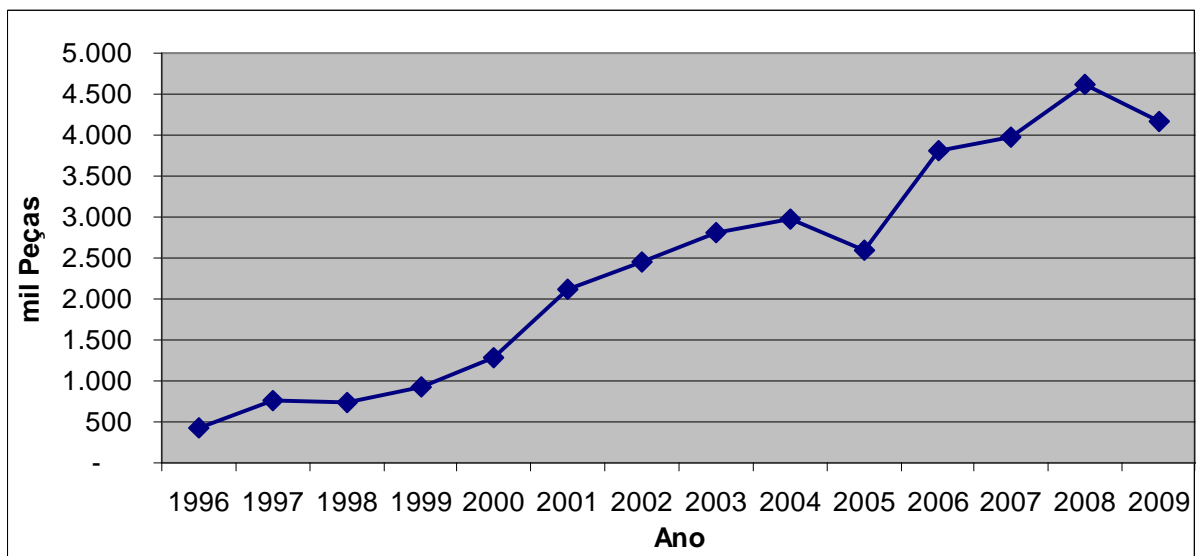
Na década de 1970, com o crescimento das atividades agrícolas na América do Sul, a empresa optou pela fabricação de moto-serras e roçadeiras no Brasil. No início das operações, todos os componentes eram importados ou adquiridos de alguns fornecedores nacionais, ficando a apenas a montagem final realizada na filial brasileira. Devido à crescente dificuldade imposta pelo governo aos importadores, surgiu a necessidade de fabricação interna de alguns componentes.

Até a década de 1990, um dos componentes principais e de maior custo dos produtos – o cilindro de alumínio – era fornecido para toda a organização por três grandes fornecedores. Com a falência de um dos fornecedores, a empresa decidiu assumir a fabricação dos cilindros de alumínio cromados. Essa decisão demonstra uma tendência da empresa em produzir, internamente, cada vez mais os componentes utilizados nas suas linhas de montagem.

Em especial nos Estados Unidos e na União Européia, no decorrer da última década, tem se tornado fator de alta competitividade entre os fabricantes, a preocupação com os índices de emissão de poluentes dos motores à combustão. Nesses locais, as leis de regulamentam os níveis de emissão de gases nocivos ao meio ambiente estão desafiando os fabricantes a modernizarem seus produtos. Por esse motivo, a empresa objeto do estudo de caso desenvolveu uma linha de

cilindros com baixa emissão de gases nocivos, representando 80% de todo o volume produzido.

A evolução da quantidade de cilindros produzidos desde a decisão de fabricação no Brasil é apresentada na Figura 7. Também é possível verificar o crescente volume de peças produzidas para exportação, uma vez que toda a produção de ferramentas motorizadas do grupo depende dos cilindros fabricados na filial brasileira.



**Figura 7: Evolução da Produção de Cilindros de Alumínio (em mil peças)**

Fonte: Adaptado pelo autor

O setor industrial da filial brasileira é dividido em duas unidades de manufatura: motores e cilindro. Cada uma das unidades é comandada por um vice-presidente. Além disso, há um vice-presidente de *marketing* e um financeiro. Os quatro vice-presidentes estão subordinados ao presidente que responde diretamente ao conselho administrativo da matriz. A unidade de manufatura motores é responsável pela fabricação do produto fim da empresa, principalmente os produtos vendidos no mercado nacional. Conforme apresentado anteriormente, a unidade de manufatura cilindro é responsável por suprir a demanda de cilindros de todo o grupo.

## 4.2 ESTADO ATUAL DA FUNÇÃO MANUTENÇÃO NA EMPRESA

O processo de manutenção na empresa objeto do estudo é coordenada por um gerente de manutenção que se reporta diretamente ao diretor industrial. Cada unidade de negócio é atendida por uma equipe de manutenção, composta por um supervisor, dois engenheiros, vinte técnicos mecânicos, quinze técnicos eletrônicos e um planejador de manutenção. As oficinas de manutenção estão equipadas com o ferramental necessário para utilização em todos os equipamentos, *notebooks*, ferramentas especiais e bancadas de testes para componentes eletrônicos e hidráulicos. As duas oficinas são responsáveis pela manutenção dos, aproximadamente, 950 equipamentos produtivos instalados no parque fabril.

A empresa conta com um *software* específico para gerenciamento e controle das atividades de manutenção, o SAP/R3 módulo PM (*Plant Maintenance*). Esse *software* permite a integração de vários módulos, dentre os quais um específico para gerenciamento de estoques de material auxiliar e outro para planejamento de produção. Os dados referentes às interrupções de produção são apontados pelos operadores de cada centro de trabalho e armazenados no *software* de manutenção. Com isso, é possível obter os dados de TTR, TTF e TBF de cada equipamento.

O registro das interrupções de produção e a limpeza e lubrificação dos equipamentos produtivos são as formas de interação existentes na empresa entre a manutenção e os operadores de máquina. Há cerca de três anos ocorreu a tentativa de implementação da TPM em alguns setores da fábrica, porém não houve sucesso. Alguns dos motivos para o fracasso do projeto podem ser apontados: falta de comprometimento da alta administração, que não integrou a iniciativa à estratégia de produção da empresa; substituição do pessoal da coordenação do programa; e algumas falhas no planejamento da implantação.

Nos equipamentos considerados mais importantes, são realizadas manutenções preventivas, e o critério utilizado para definição de frequências e atividades baseia-se nas especificações dos fabricantes dos equipamentos. Não há nenhuma regra objetiva que defina em quais equipamentos deve ser realizada a manutenção preventiva, nem mesmo critérios definidos para identificação dos equipamentos críticos. A relação entre Manutenção Preventiva e custos não é conhecida.

A maior parte dos equipamentos que compõe o parque fabril está sujeita apenas à manutenção emergencial. Novamente, nesse ponto, verifica-se a necessidade de definição de critérios para seleção do tipo de manutenção a ser utilizado em cada caso. A maioria dos equipamentos submetidos à manutenção emergencial não representa risco ao processo produtivo em caso de falha. Porém, em alguns casos, as falhas podem ocasionar perda de entrega ao cliente e problemas de qualidade do produto. O impacto da não utilização de outros tipos de manutenção em tais equipamentos não é conhecido pela empresa.

Mesmo sendo considerada de grande importância para o aumento da disponibilidade dos equipamentos, a empresa não adota nenhuma política claramente definida para utilização da Manutenção Preditiva. Em alguns equipamentos acionados hidráulicamente, é realizada a análise periódica do óleo; em alguns componentes elétricos, são realizadas análises termográficas; e a análise de vibrações é realizada em certos equipamentos rotativos. O verdadeiro potencial de utilização da Manutenção Preditiva na planta não é conhecido; até hoje não foi realizado nenhum estudo para levantar os potenciais ganhos da utilização desse tipo de manutenção nos demais equipamentos.

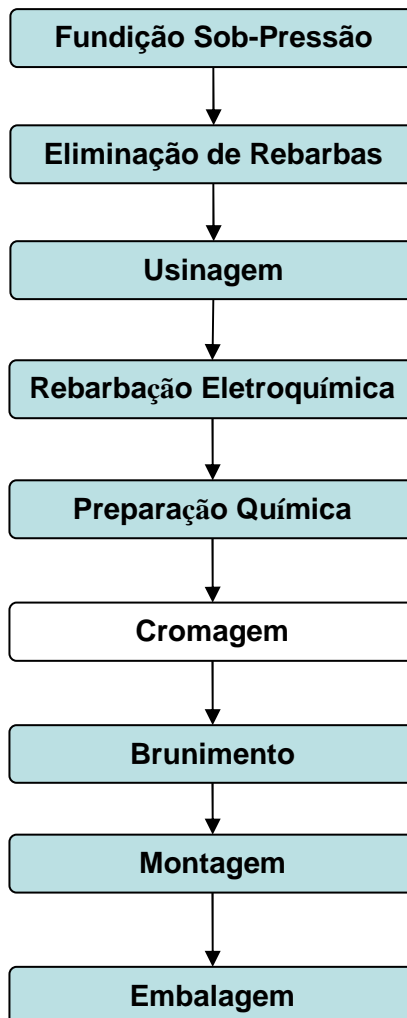
Devido à utilização de alguns equipamentos com mais de trinta anos, verifica-se um número considerável de reformas e melhorias nas máquinas. A partir do início dos anos 2000, houve um crescimento considerável nesse tipo de manutenção: foram reformadas, em média, 17 máquinas por ano. A Engenharia de Manutenção atua na definição das melhorias a serem realizadas a partir de dados provenientes da Engenharia de Processos e do decorrer da vida útil do equipamento.

#### **4.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO OBJETO DO ESTUDO**

Para a realização do estudo proposto, foi selecionado o setor de galvanoplastia da empresa, responsável pela aplicação de cromo nos cilindros de alumínio. Atualmente, há uma linha operando, com capacidade de produção de 18.000 peças por dia. Uma nova linha está em fase de construção, com início de produção previsto para 2013 e capacidade para 12.000 peças por dia.

O ciclo de produção dos cilindros de alumínio (Figura 8) inicia-se com um processo de fundição sob alta pressão, seguida da eliminação de todas as rebarbas

geradas no processo. No processo seguinte, os cilindros são usinados conforme a especificação final do produto e encaminhados para o processo de preparação, que antecede a aplicação de uma camada de cromo na parte interna. A seguir, ocorre o brunimento da superfície interna, montagem de componentes e embalagem do cilindro para entrega.



**Figura 8: Etapas da Fabricação de Cilindro de Alumínio**  
Fonte: Elaborado pelo autor

#### **4.3.1 A Linha de Cromagem**

A linha de cromagem objeto do estudo está instalada em três andares. No andar inferior, funcionam os tanques auxiliares; no intermediário, acontece o processamento das peças de alumínio; e, no andar superior, estão instalados os equipamentos elétricos que suportam o processo. Na Figura 9 são apresentados os principais equipamentos que compõem o andar intermediário da linha de cromagem.



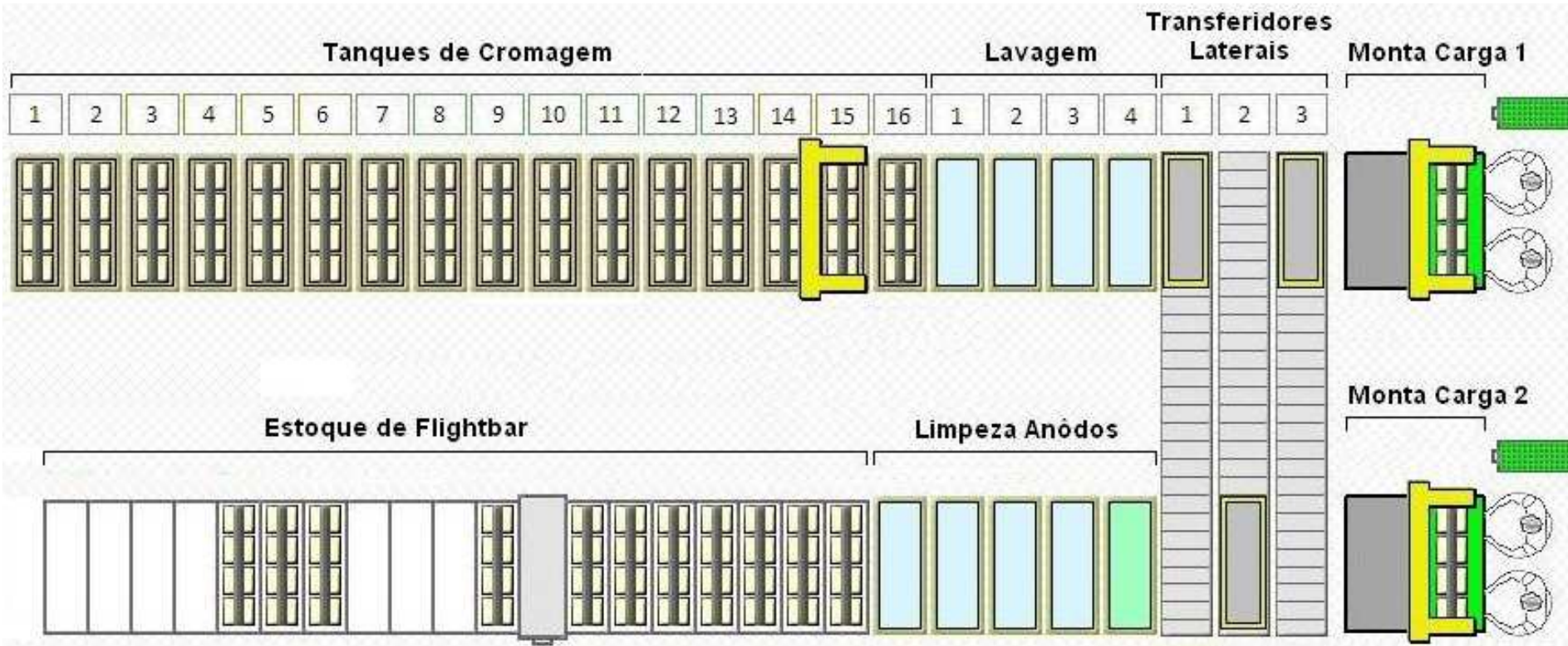


Figura 9: Desenho Esquemático da Linha de Preparação e Cromagem  
 Fonte: Adaptado pelo autor

Estes equipamentos são:

- a) tanques de cromagem: dezesseis tanques de polipropileno com cromo (cada um com capacidade para 1000 litros de cromo líquido);
- b) tanques de lavagem: quatro tanques de polipropileno com água deionizada (cada um com capacidade para 1000 litros de água);
- c) dois equipamentos monta-cargas;
- d) três transferidores laterais;
- e) três carros de transporte;
- f) uma linha de estoque de gancheiras (*Flightbar*); e
- g) cinco tanques para limpeza de anodos.

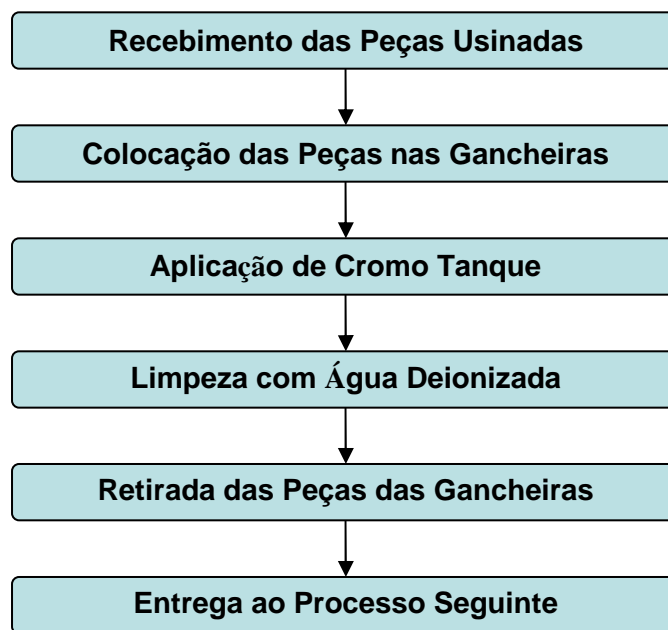
Além disso, a linha de cromagem é composta por 64 retificadores de corrente (4 para cada tanque de cromo instalados no andar superior), 1 tanque principal com 16.000 litros de cromo líquido, 1 unidade de aquecimento do banho de cromo, 1 unidade de bombeamento para cromo líquido composta por três bombas pneumáticas, 1 deionizador e uma unidade de bombeamento de água deionizada, composta por duas bombas pneumáticas. Também existem equipamentos para exaustão de gases e tanques auxiliares que contribuem para a operacionalização da linha.

#### **4.3.2 O Processo de Cromagem**

O processo de cromagem é considerado o gargalo na produção de cilindros de alumínio, uma vez que qualquer interrupção no processo acarreta perda de entrega ao cliente final. A linha de cromagem opera durante as 24 horas do dia, dividido em três turnos de trabalho, e o índice de eficiência global programado é de 85%. A manutenção programada na linha é realizada mensalmente, com duração de 16 horas.

No que se refere ao processo de cromagem, após passarem por uma linha de preparação que consiste em banhos ácidos e básicos, as peças são encaminhadas para a linha de aplicação de cromo. A etapa inicial do processo consiste no posicionamento das peças em estruturas de fixação, denominadas gancheiras. A montagem das cargas é realizada simultaneamente em dois equipamentos, sendo cada gancheira carregada com 48 peças.

Em seguida, cada carga é levada a um dos 16 tanques de cromo, os quais são abastecidos por cromo líquido proveniente do tanque pulmão (principal). Este tanque fornece cromo líquido aquecido a 70° Celsius para o conjunto de tanques de processo. Cada uma das cargas é mergulhada no banho de cromo nos tanques de processo por, em média, 55 minutos. Finalizada a aplicação de cromo nos tanques de processo, as peças recebem um banho com água deionizada, a fim de eliminar excessos de cromo que podem prejudicar o manuseio das peças por parte dos operadores. O fluxograma do processo de cromagem é apresentado na Figura 10.

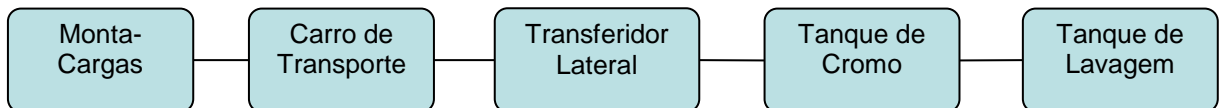


**Figura 10: Etapas do Processo de Preparação e Cromagem**  
Fonte: Elaborado pelo autor

Os dois equipamentos monta-cargas são os responsáveis por posicionar as gancheiras para carregar e descarregar as peças. Já os três transferidores laterais movimentam as gancheiras entre os equipamentos monta-cargas e ajudam na substituição das gancheiras usadas ao longo do processo. A função dos carros é posicionar as gancheiras nos tanques de processo, tanques de lavagem e equipamentos monta-cargas.

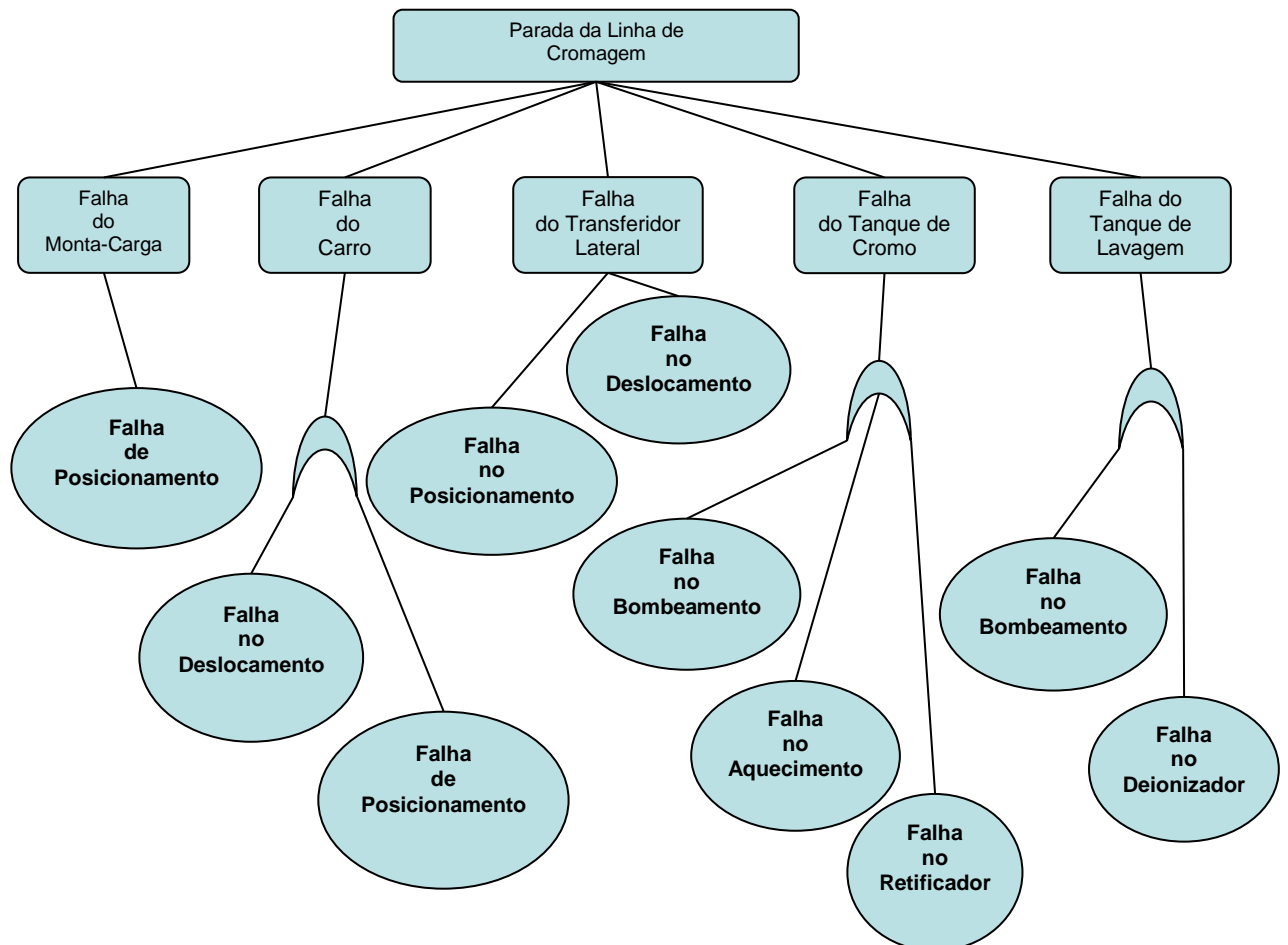
## 5 ANÁLISE DOS SISTEMAS

Para a análise da linha de cromagem, definiu-se que, por similaridade física e operacional, os dezesseis tanques de cromagem serão tratados como sendo um, bem como os dois equipamentos monta-cargas, os quatro tanques de lavagem, os três transferidores laterais e os três carros de transporte também são considerados um. Segue um diagrama preliminar do sistema completo da linha de cromagem:



**Figura 11: Diagrama de Confiabilidade do Sistema**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

Para a verificação dos subsistemas que compõem a linha de cromagem e suas interações foi utilizado um diagrama de árvores de falha (FTA – *Fault Tree Analysis*). A Figura 12 apresenta o FTA da linha de cromagem.



**Figura 12: Árvore de Falhas do Sistema Objeto do Estudo**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

O ponto de partida para elaboração do FTA foi a definição da linha de cromagem para quando ocorre a falha do monta-cargas, do tanque de cromagem, do tanque de lavagem, do carro de transporte e do transferidor lateral. É através do FTA que se chega aos modos de falha básicos de cada um dos componentes do sistema.

## 5.1 MODELAGEM DE FALHAS DA LINHA DE CROMAGEM

A seguir, é apresentada a modelagem de tempos até a falha para os equipamentos do sistema de produção estudado. A distribuição de Weibull foi aceita sempre que foi ajustada, devido à vantagem intrínseca que apresenta – pela faixa em que se encontra o fator de forma, é possível apontar a faixa mais provável do ciclo de vida em que o equipamento se encontra. Também é possível apontar o tipo de estratégia de manutenção mais adequado ao equipamento naquele momento, com base no mesmo fator de forma.

### 5.1.1 Modelagem de Falha do Monta-Cargas

A Tabela 8 apresenta os valores de tempo até a falha (TTF), em horas, obtidos através do *software* de gerenciamento da manutenção para falha do monta-cargas.

**Tabela 8**  
**Tempos até a Falha (TTF) para Falha do Monta-Cargas**

202	284	296	410	652	674	1021	1299	2010	2115
2614	2772	4032	4293	4553	4813	6073	6334	6594	6854
8114	8255	8299	8301	8582	8797	10605	12118	12093	12404
12714	14025	14335	14646	14957	16267				

Fonte: Relatórios de Quebra (adaptado pelo autor)

Nas Figuras 13 e 14, seguem os resultados das análises realizadas com o *software* ProConf 98, utilizando limite de confiança de 95%.

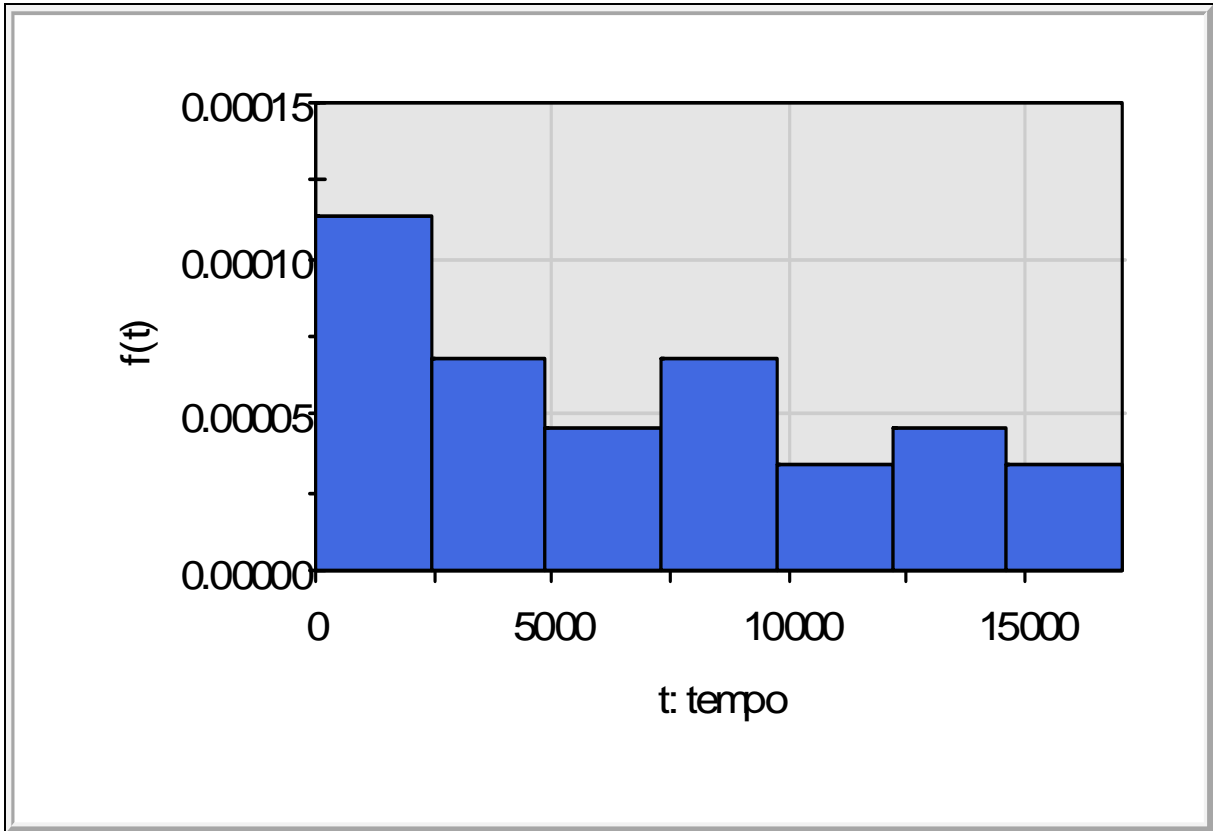


Figura 13: Histograma para a amostra  
 Fonte: Software ProConf 98

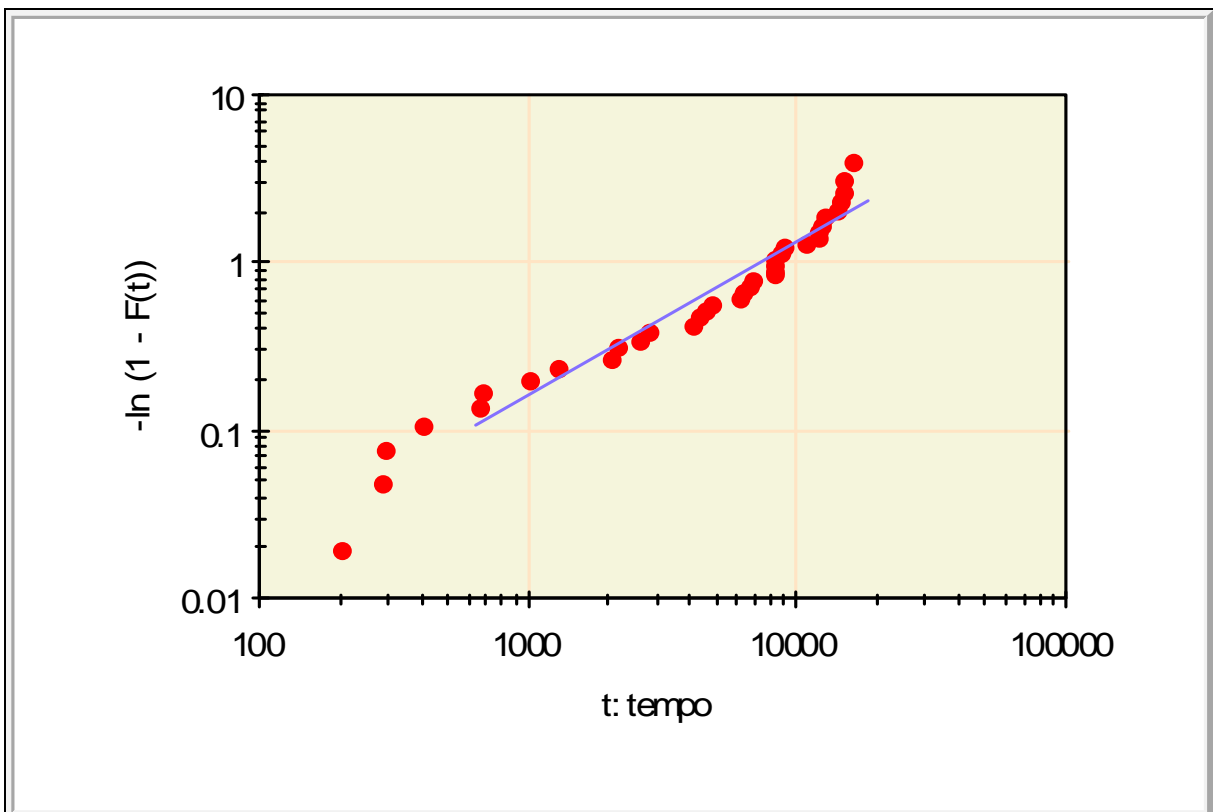


Figura 7: Papel de Probabilidade de Weibull  
 Fonte: Software ProConf 98

Na Tabela 9, são apresentados os resultados dos testes analíticos para cada um dos modelos de distribuição.

**Tabela 2**  
**Ajuste a Distribuições da Amostra**

Distribuição	Lognormal	Normal	Exponencial	Gamma	Weibull
Teste Qui-quadrado	0,0166	0,0242	0,3817	0,2925	0,3476
Teste KS	0,0033	0,0013	0,04	0,0836	0,0731
Decisão	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada	Não Rejeitada	Não Rejeitada

Fonte: *Software ProConf 98* (adaptado pelo autor)

Definido o modelo de Weibull como aceitável, são apresentadas, nas Figuras 15 a 17, as análises referentes à amostra.

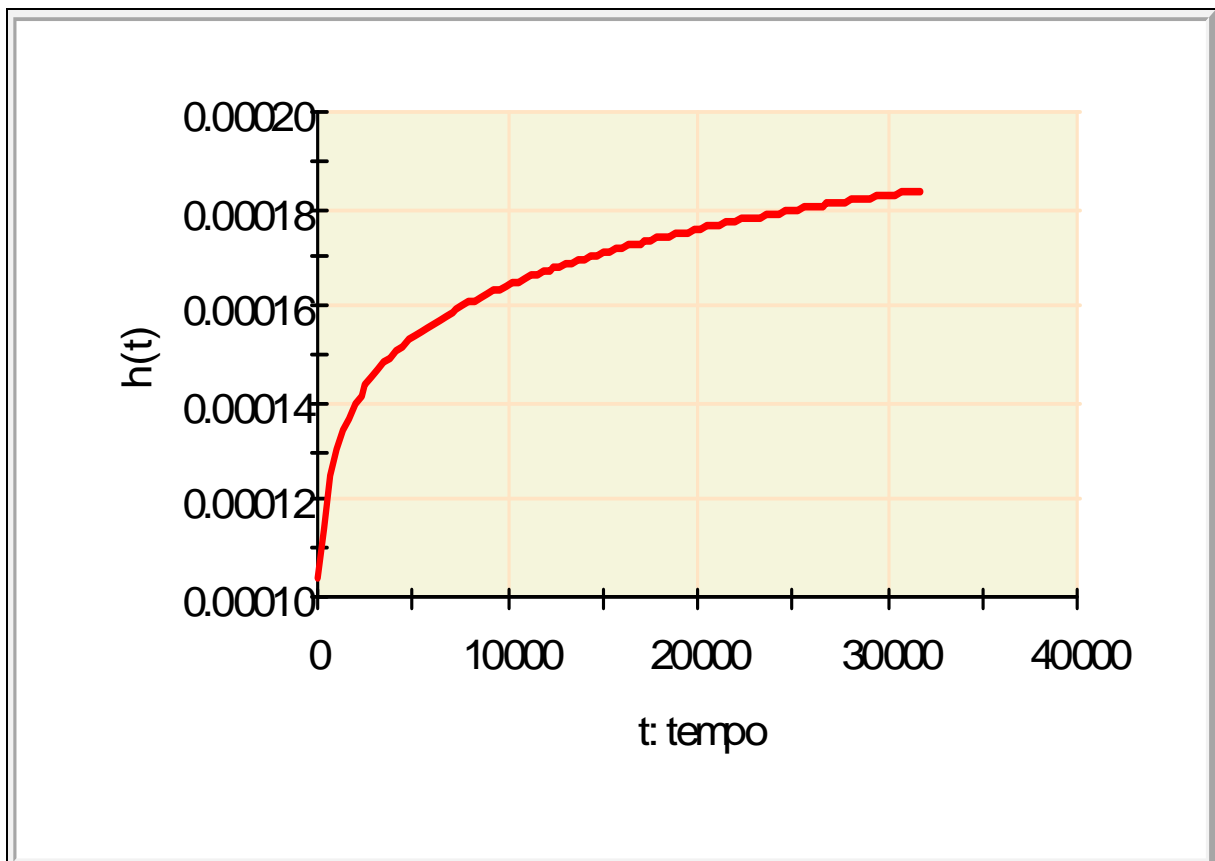


Figura 8: Taxa de Falhas

Fonte: *Software ProConf 98*

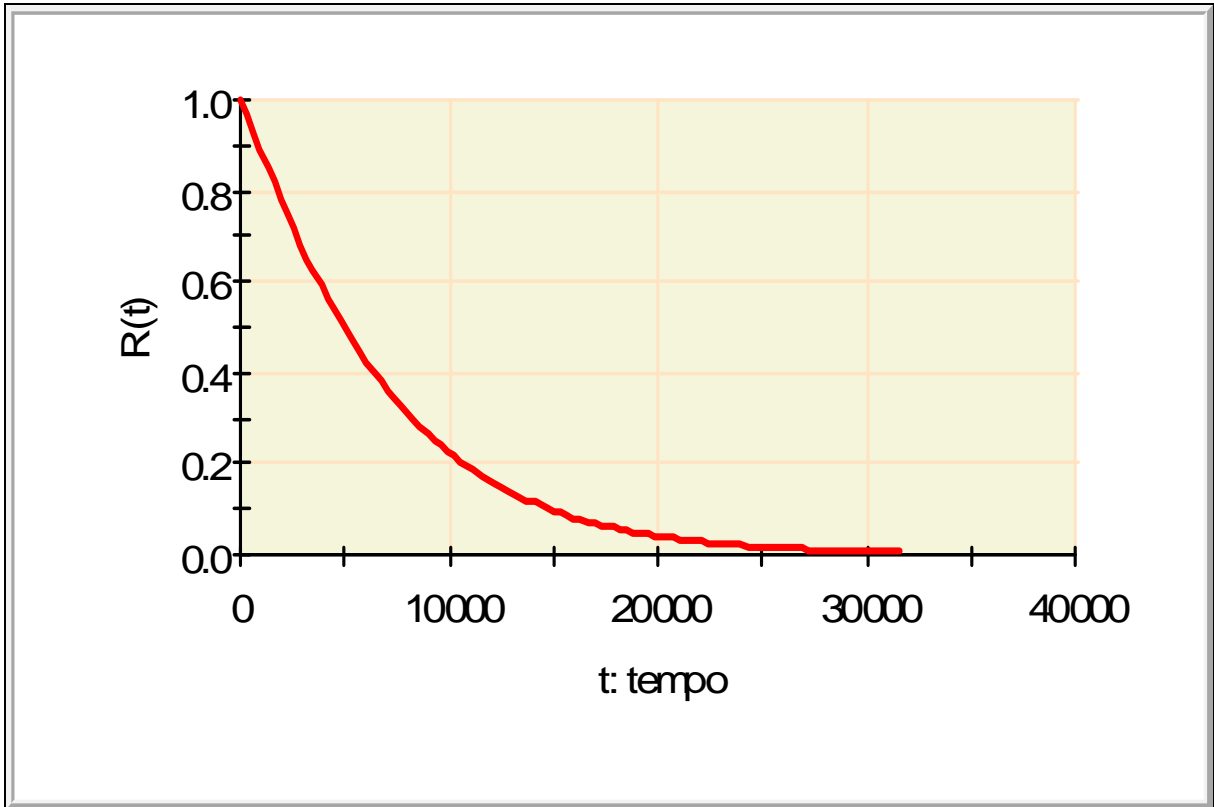


Figura 9: Função de Confiabilidade  
Fonte: Software ProConf 98

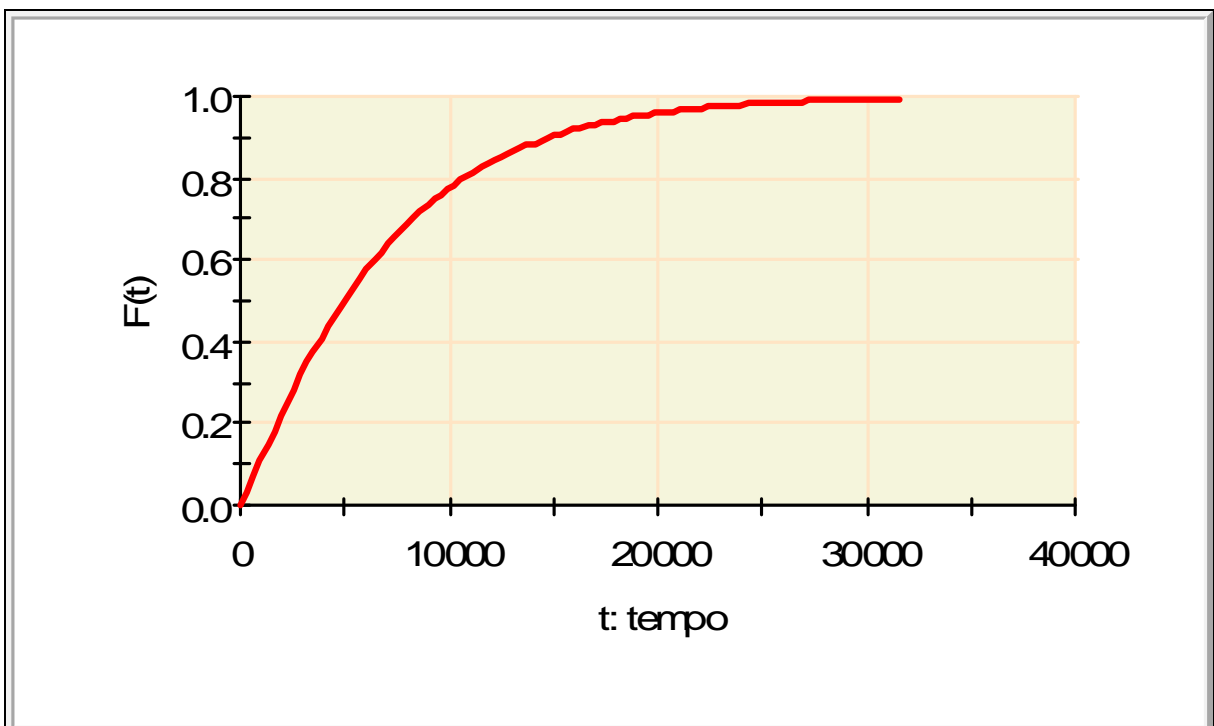


Figura 10: Função Densidade Acumulada de Falha  
Fonte: Software ProConf 98



Alguns pontos da função  $R(t)$  para o monta-cargas são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 3**  
**Análise do Tempo (horas) X Confiabilidade**

Tempo	R(t)
24	0,998
720	0,9202
1440	0,8369
4320	0,5517
8640	0,2799

Fonte: *Software ProConf 98* (adaptado pelo autor)

### 5.1.2 Modelagem de Falha do Carro Transferidor

A Tabela 11 apresenta os valores de tempo até a falha (TTF), em horas, obtidos através do *software* de gerenciamento da manutenção para falha do carro de transporte.

**Tabela 4**  
**Tempos até a falha (TTF) para Falha do Carro de Transporte**

184	308	384	454	478	583	687	687	1009	1258
1403	1403	1468	1606	1811	2016	2032	2221	2248	2453
2603	2632	2677	2693	2826	2827	2874	3032	3237	3255
3440	3642	3695	3889	4007	4082	4175	4268	4272	4662
4737	4855	5002	5048	5267	5632	5898	6263	7028	7443
7858	8427	8760	8877	9427	9877	10427	10682	10877	11427
11877	12309	12427	12860	12877	13427	13877	14427	14752	14877
15427	15877	16347	16427	16955					

Fonte: Relatórios de Quebra (adaptado pelo autor)

Nas Figuras 18 e 19, seguem os resultados das análises realizadas com o *software* ProConf 98, utilizando limite de confiança de 95%.

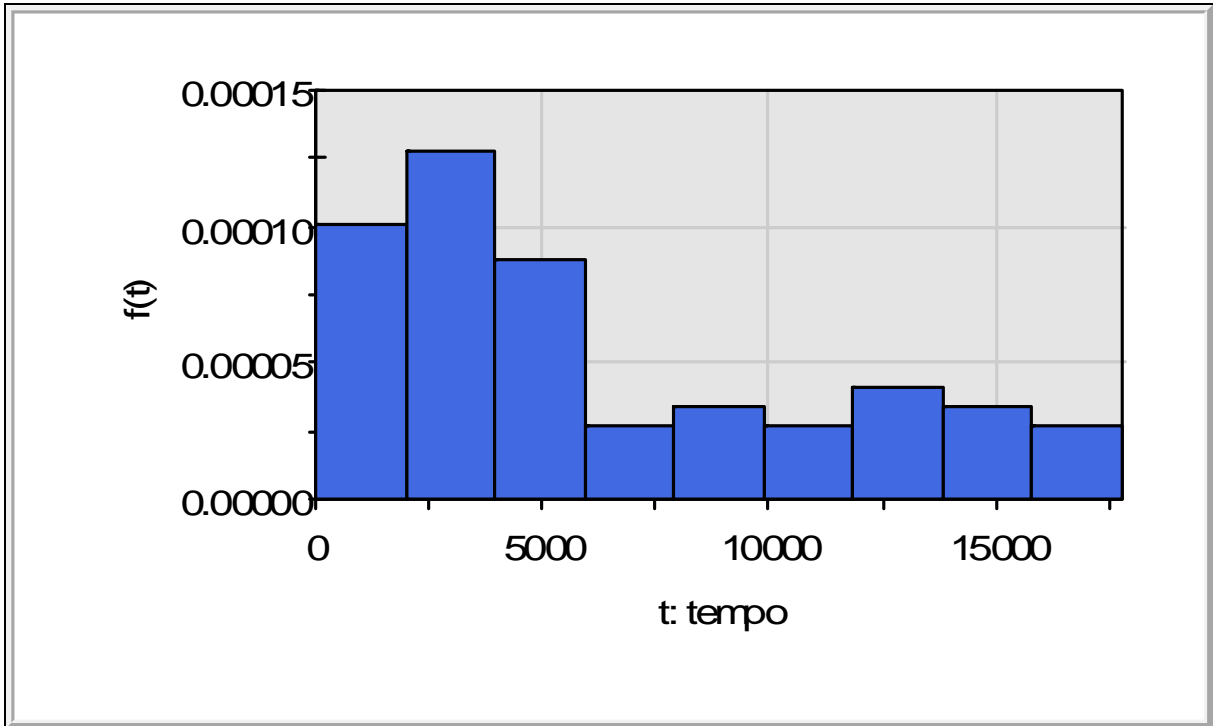


Figura 11: Histograma para a amostra  
 Fonte: Software ProConf 98

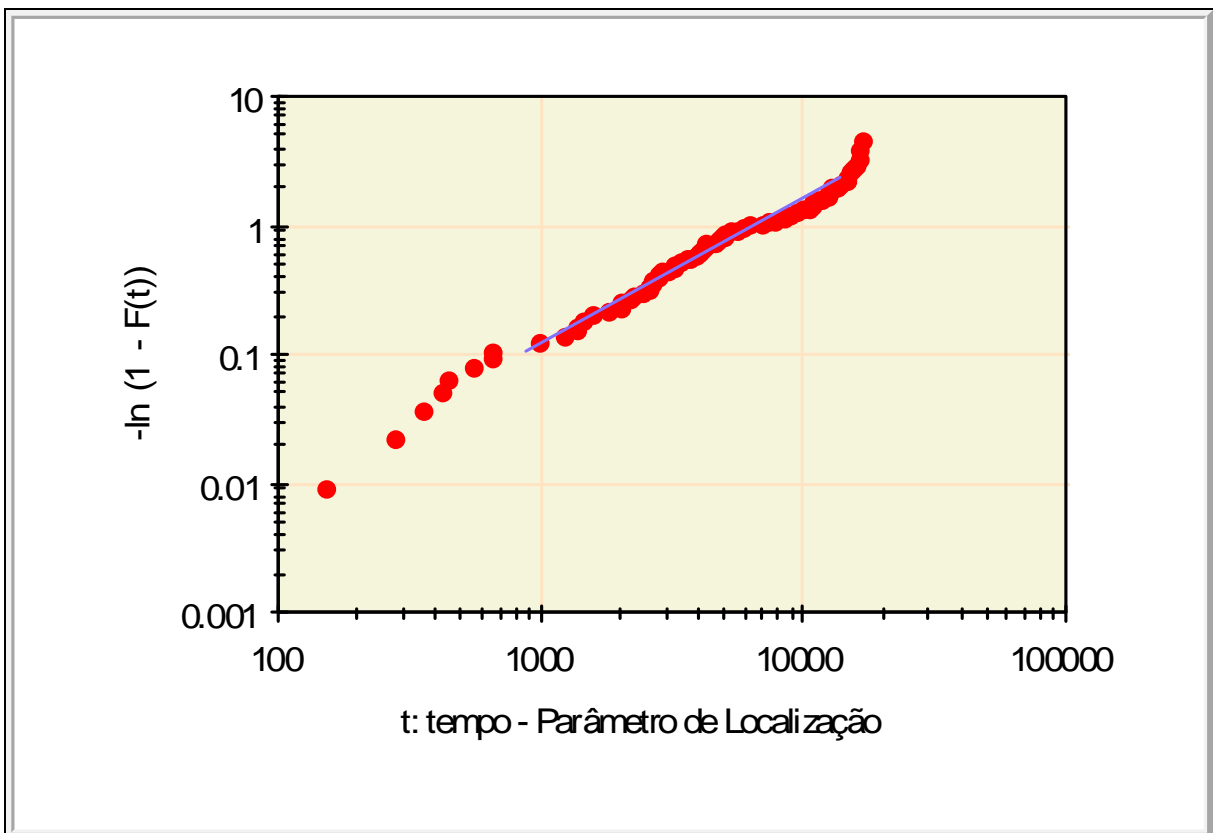


Figura 12: Papel de Probabilidade de Weibull  
 Fonte: Software ProConf 98

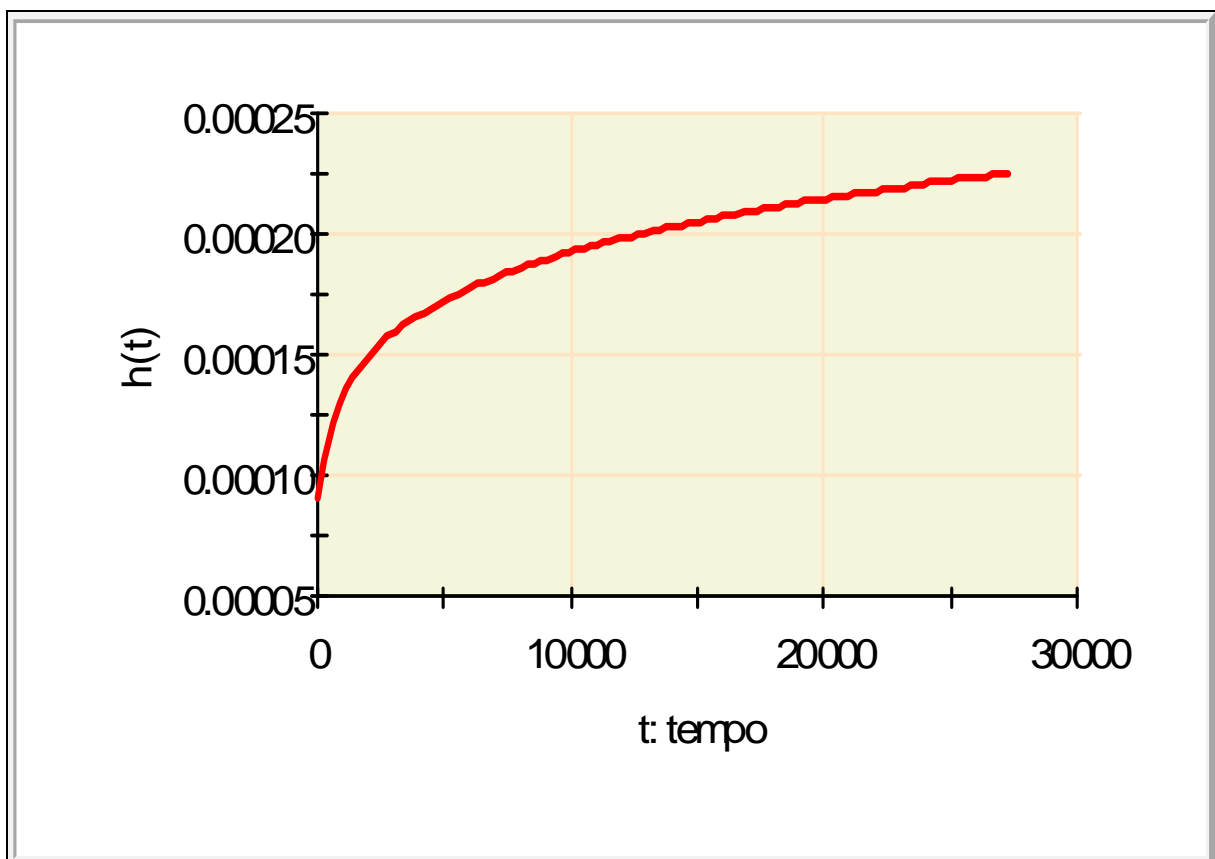
Na Tabela 12, são apresentados os resultados dos testes analíticos para cada um dos modelos de distribuição.

**Tabela 5**  
**Ajuste a Distribuições da Amostra**

Distribuição	Lognormal	Normal	Exponencial	Gamma	Weibull
Teste Qui-quadrado	0,015	0,0001	0,0915	0,115	0,1155
Teste KS	0,1586	0,0001	0,2093	0,2201	0,2012
Decisão	Rejeitada	Rejeitada	Não Rejeitada	Não Rejeitada	Não Rejeitada

Fonte: *Software ProConf 98* (adaptado pelo autor)

Definido o modelo de Weibull como aceitável, são apresentadas, nas Figuras 20 a 22, as análises referentes à amostra.



**Figura 20: Taxa de Falhas**  
Fonte: *Software ProConf 98*

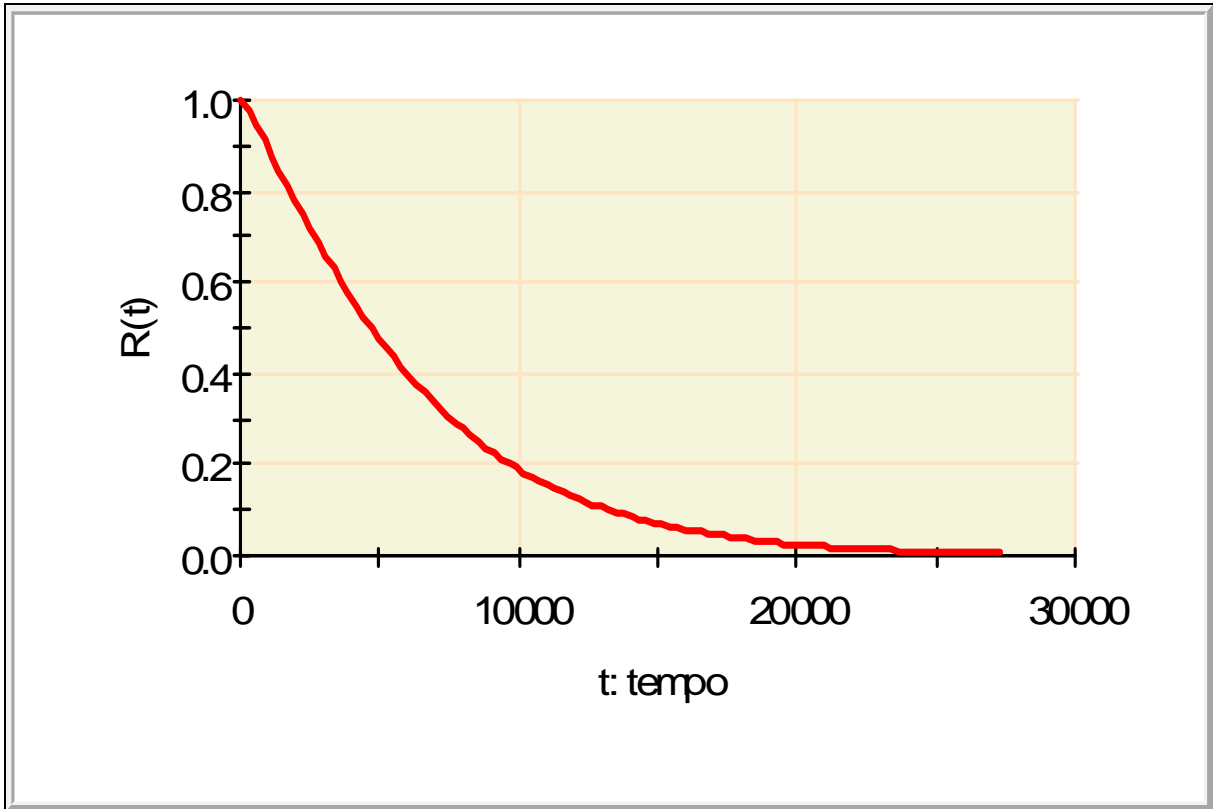


Figura 21: Função de Confiabilidade  
Fonte: Software ProConf 98

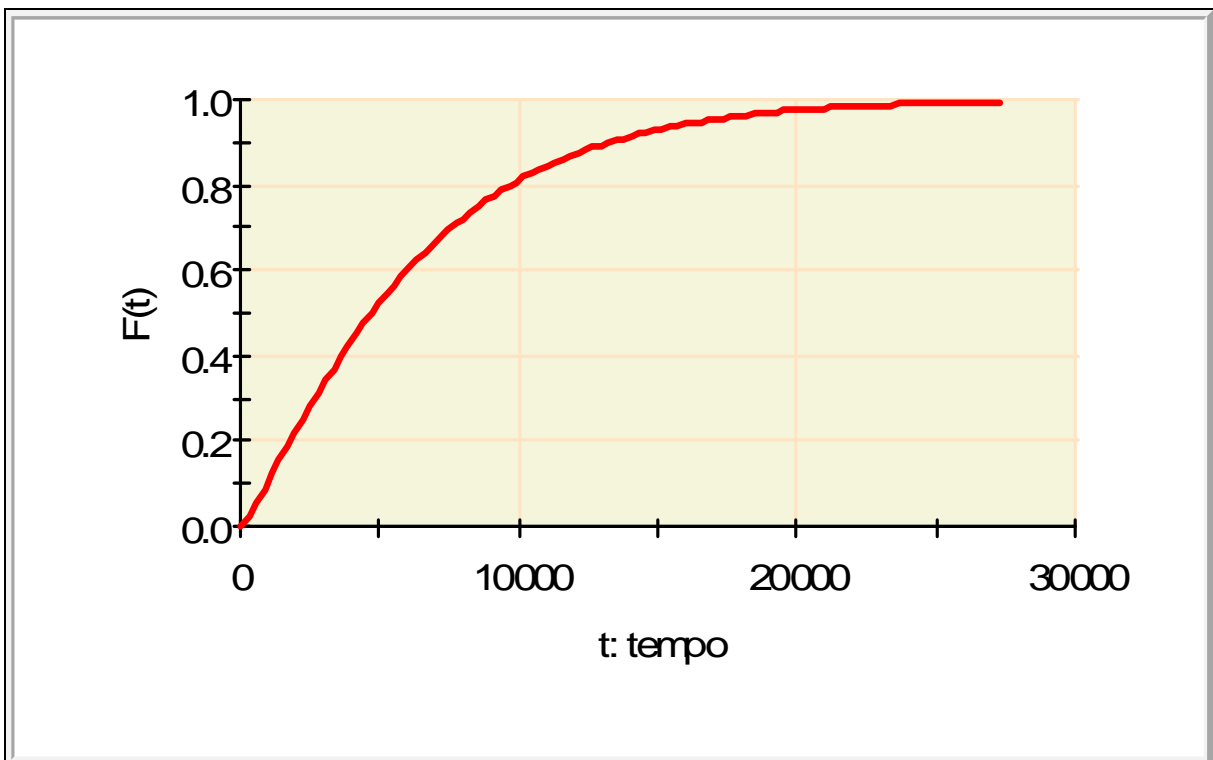


Figura 22: Função Densidade Acumulada de Falha  
Fonte: Software ProConf 98

As análises de confiabilidade são apresentadas na Tabela 13.

**Tabela 6**  
**Análise do Tempo (horas) X Confiabilidade**

Tempo	R(t)
24	1,0000
720	0,9275
1440	0,8416
4320	0,5351
8640	0,2466

Fonte: *Software ProConf 98* (adaptado pelo autor)

### 5.1.3 Modelagem de Falha do Transferidor Lateral

A Tabela 14 apresenta os valores de tempo até a falha (TTF), em horas, obtidos através do *software* de gerenciamento da manutenção para falha do transferidor lateral.

**Tabela 7**  
**Tempos até a falha (TTF) para Falha do Transferidor Lateral**

142	187	245	362	475	615	631	673	807	819
883	889	893	907	1020	1262	1308	1408	1415	1420
1694	1705	1750	1756	1774	1810	1819	1860	2331	2393
2403	2426	2462	2671	2737	2835	2861	2911	3584	3589
3623	3702	3774	3801	3930	4010	4096	4625	4733	5272
5291	5820	5872	5875	6222	6234	6405	6486	6892	7029
7209	7617	7681	7773	8255	8443	8685	8876	9065	9155
9499	9677	9839	10247	10558	10769	10861	11446	11656	12245
13021	13495	13978	14287	14460	14702	15425	15665	16177	16843
17632									

Fonte: *Relatórios de Quebra* (adaptado pelo autor)

Nas Figuras 23 e 24, seguem os resultados das análises realizadas com o *software* ProConf 98, utilizando limite de confiança de 95%.

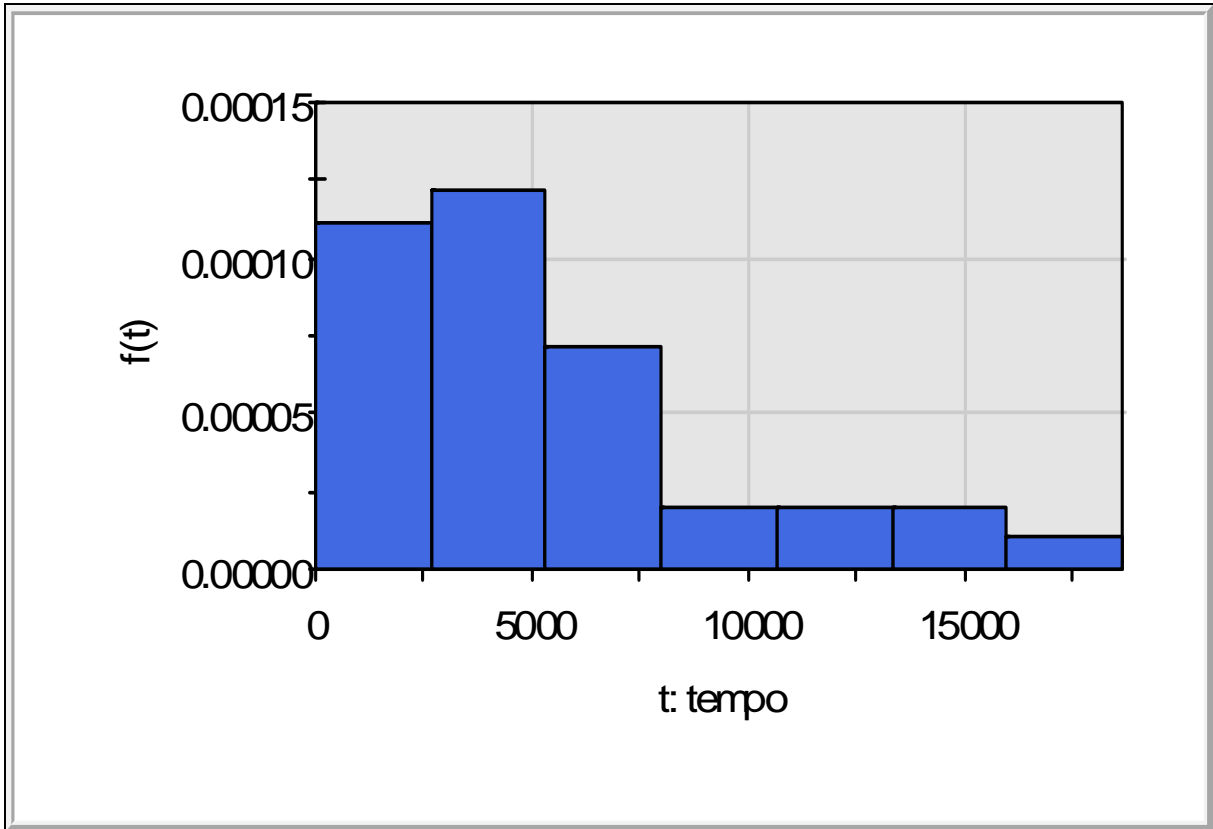


Figura 23: Histograma para a amostra

Fonte: Software ProConf 98

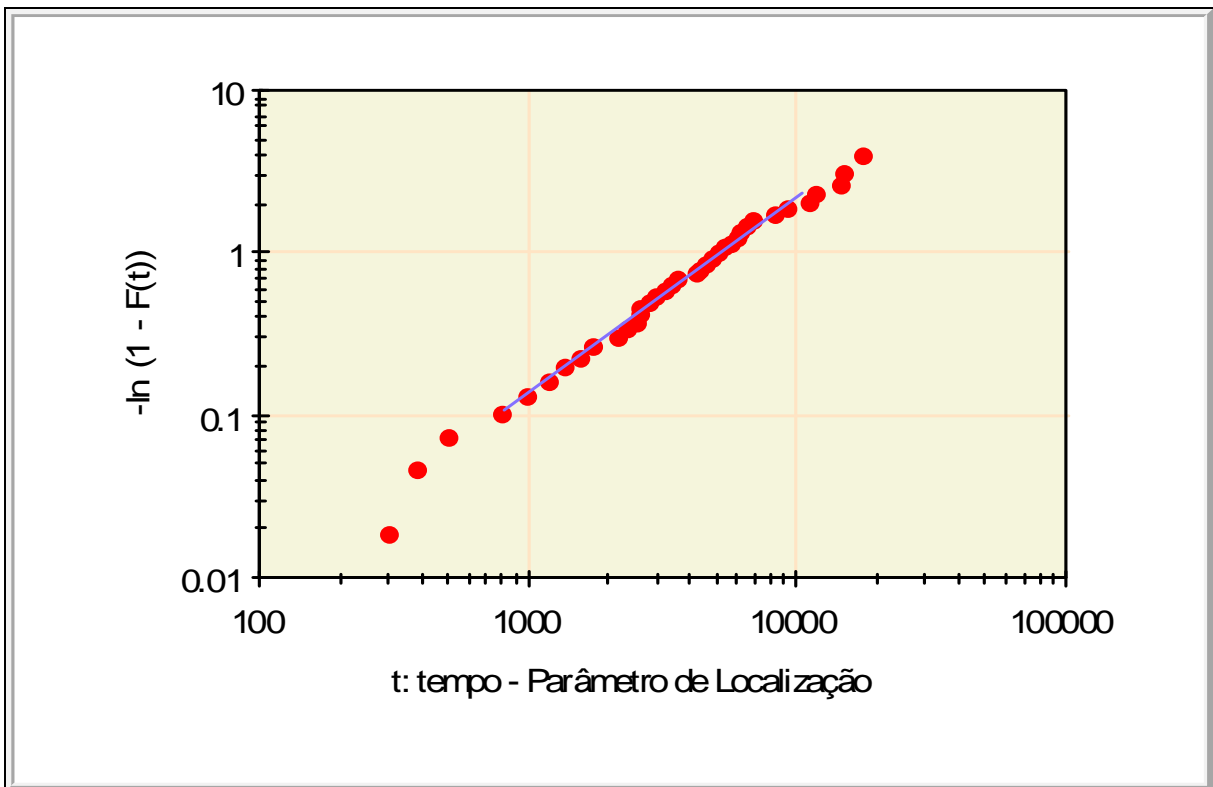


Figura 24: Papel de Probabilidade de Weibull

Fonte: Software ProConf 98

Na Tabela 15, são apresentados os resultados dos testes analíticos para cada um dos modelos de distribuição.

**Tabela 8**  
**Ajuste a Distribuições da Amostra**

Distribuição	Lognormal	Normal	Exponencial	Gamma	Weibull
Teste Qui-quadrado	0,0638	0,0289	0,8867	0,8089	0,7892
Teste KS	0,3828	0,0001	0,2121	0,3518	0,3668
Decisão	Não Rejeitada	Rejeitada	Não Rejeitada	Não Rejeitada	Não Rejeitada

Fonte: *Software ProConf 98* (adaptado pelo autor)

Definido o modelo de Weibull como aceitável, nas Figuras 25 a 27 são apresentadas as análises referentes à amostra:

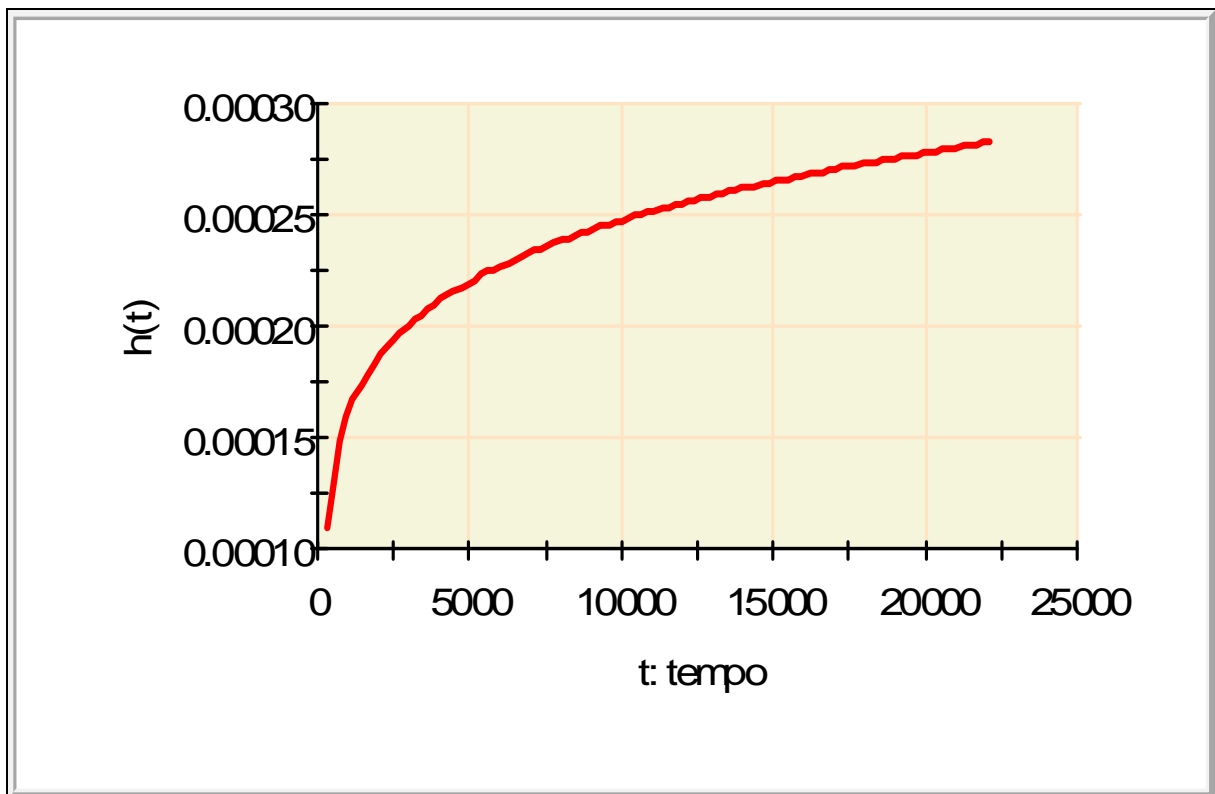


Figura 25: Taxa de Falhas  
Fonte: *Software ProConf 98*

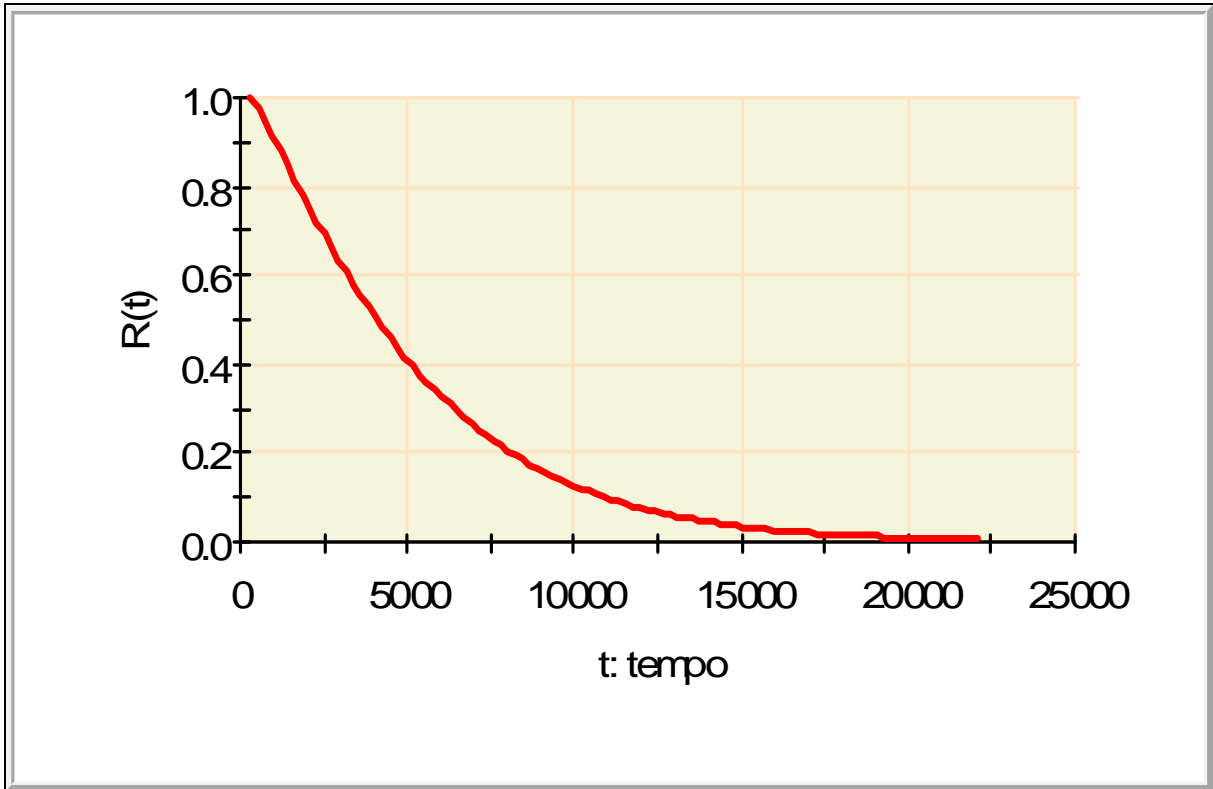


Figura 13: Função de Confiabilidade  
Fonte: Software ProConf 98

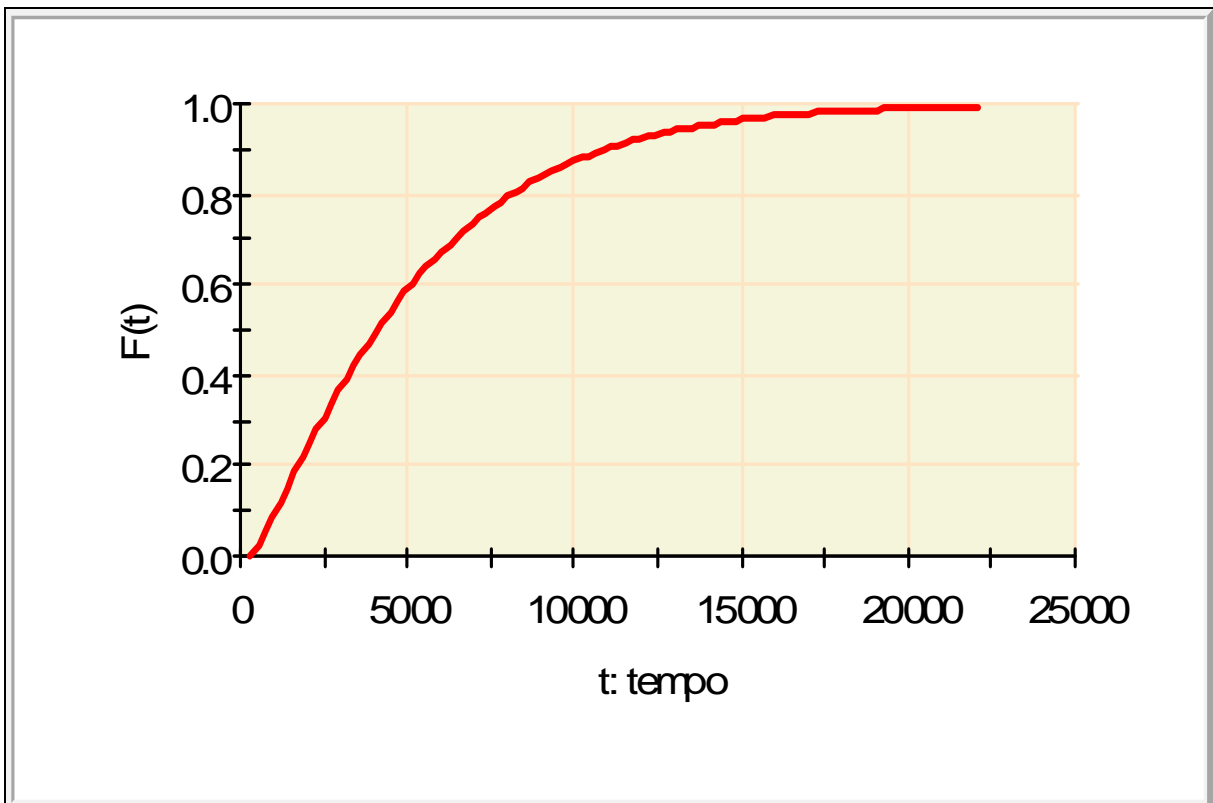


Figura 14: Função Densidade Acumulada de Falha  
Fonte: Software ProConf 98



As análises de confiabilidade são apresentadas na Tabela 16.

**Tabela 9**  
**Análise do Tempo (horas) X Confiabilidade**

Tempo	R(t)
24	1,0000
720	0,9478
1440	0,8427
4320	0,4766
8640	0,177

Fonte: *Software ProConf 98* (adaptado pelo autor)

#### 5.1.4 Modelagem de Falha no Tanque de Lavagem

A Tabela 17 apresenta os valores de tempo até a falha (TTF), em horas, obtidos através do *software* de gerenciamento da manutenção para falha do tanque de lavagem.

**Tabela 10**  
**Tempos até a falha (TTF) para Falha no Tanque de Lavagem**

39	66	182	370	396	490	734	801	1047	1185
1206	1315	1463	1540	1792	1872	1894	1943	1955	2105
2167	2203	2926	3618	3632	3837	3904	4110	4744	4961
5352	5527	5664	5973	6907	7495	7649	7836	8953	9138
9836	10552	10670	10942	11268	11896	12283	12493	13679	13915
14978	15011	15873	16738	17073					

Fonte: *Relatórios de Quebra* (adaptado pelo autor)

Nas Figuras 28 e 29, seguem os resultados das análises realizadas com o *software ProConf 98*, utilizando limite de confiança de 95%.

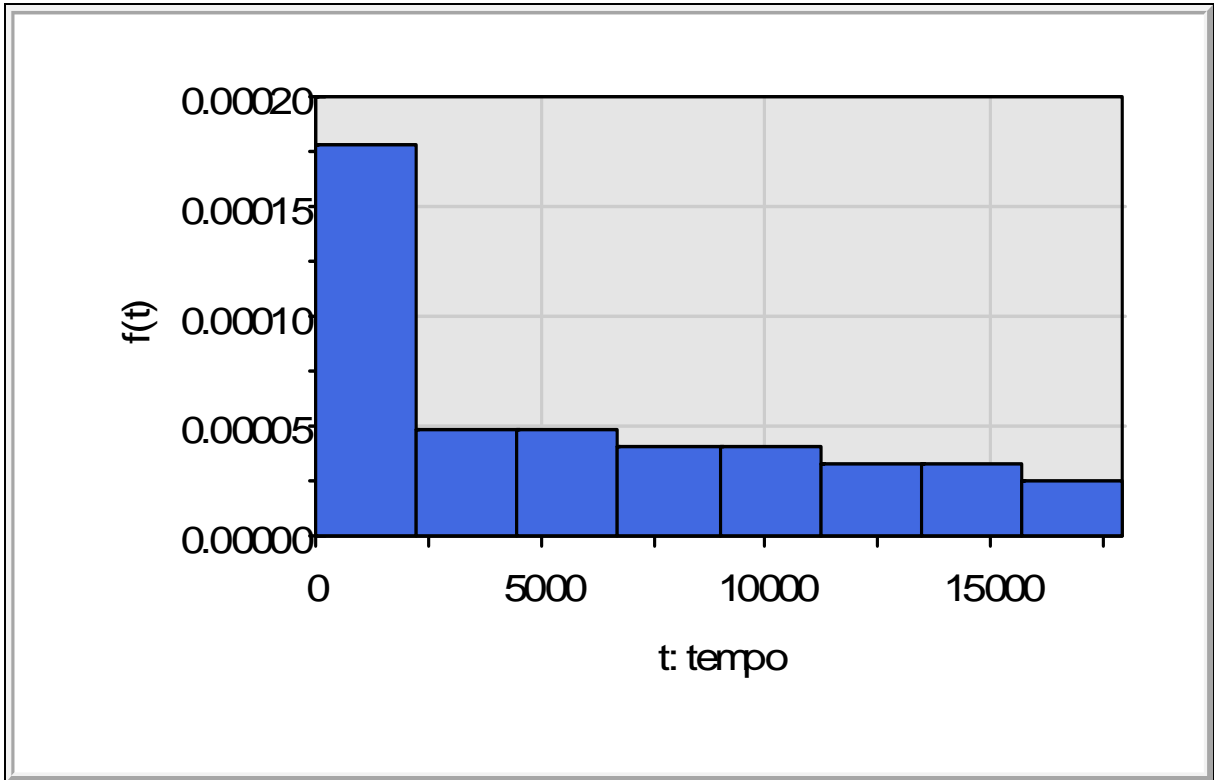


Figura 15: Histograma para a amostra  
Fonte: Software ProConf 98

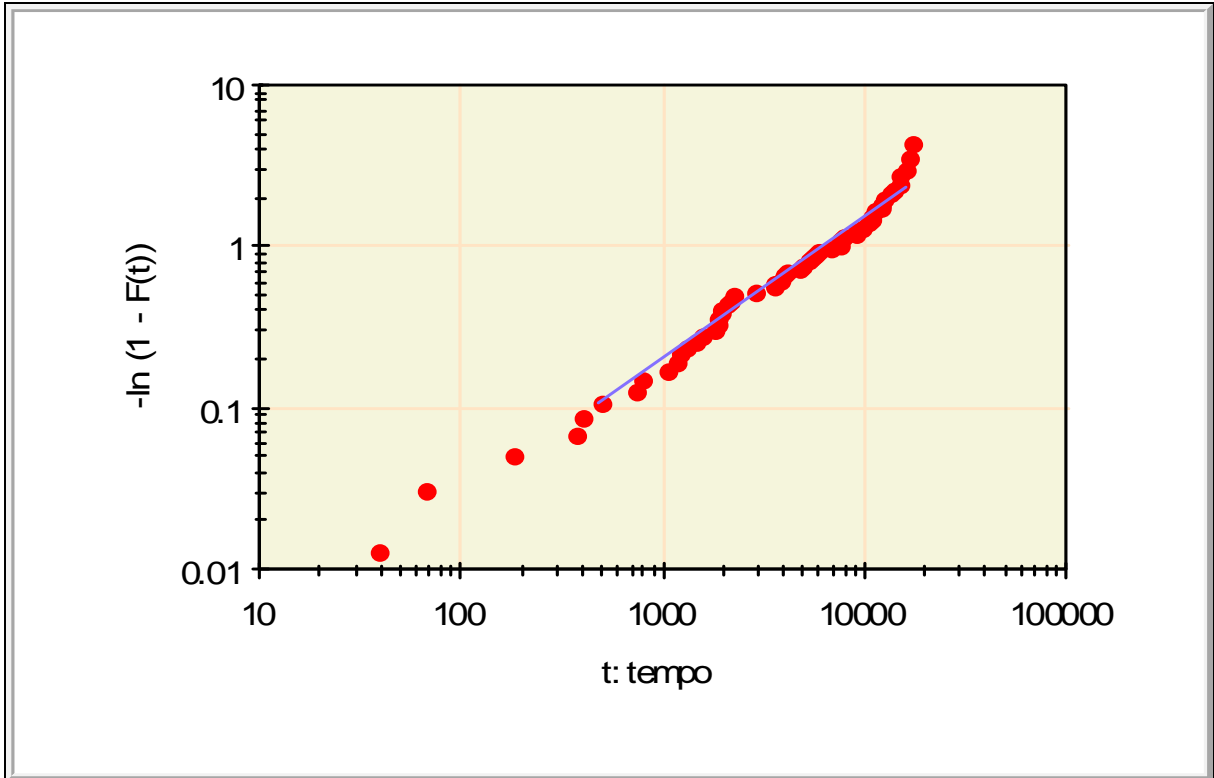


Figura 16: Papel de Probabilidade de Weibull  
Fonte: Software ProConf 98

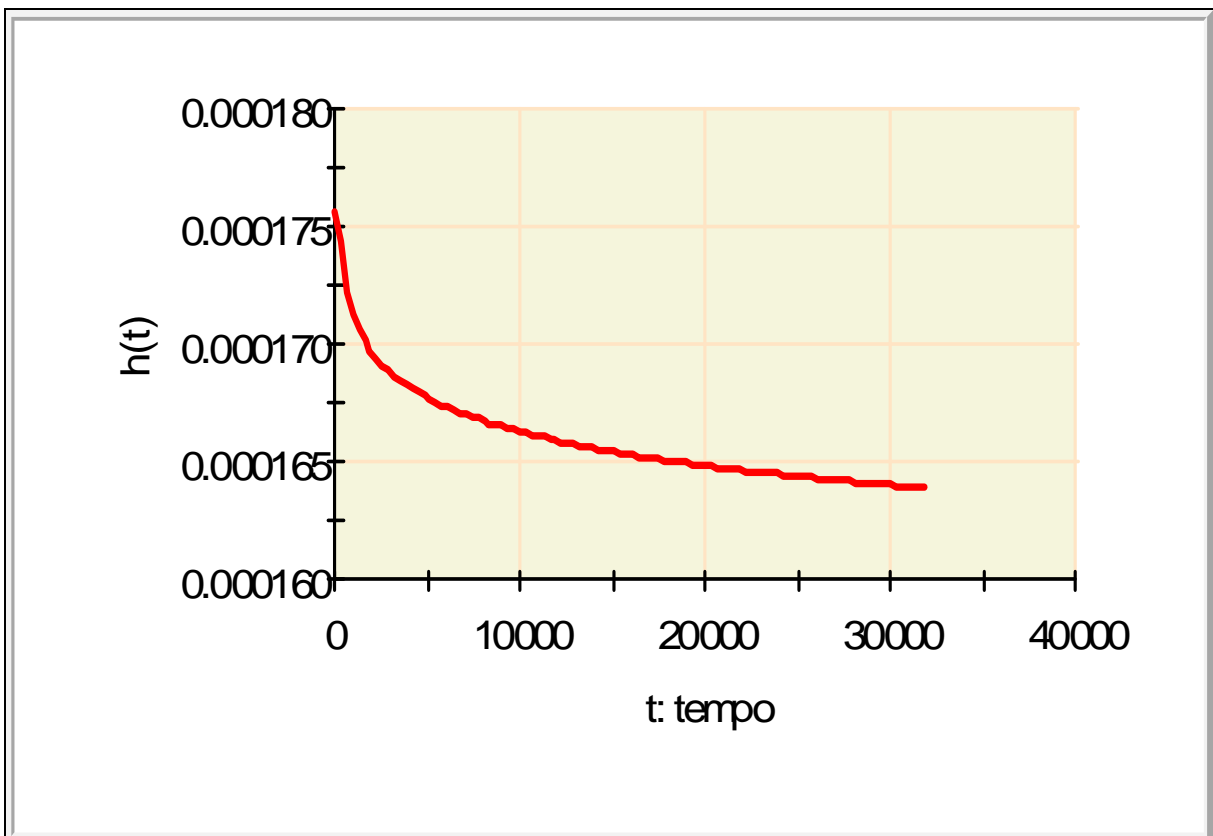
Na Tabela 18, são apresentados os resultados dos testes analíticos para cada um dos modelos de distribuição.

**Tabela 11**  
**Ajuste a Distribuições da Amostra**

Distribuição	Lognormal	Normal	Exponencial	Gamma	Weibull
Teste Qui-quadrado	0,0106	0,0001	0,1847	0,1514	0,1234
Teste KS	0,774	0,0001	0,203	0,2476	0,211
Decisão	Rejeitada	Rejeitada	Não Rejeitada	Não Rejeitada	Não Rejeitada

Fonte: *Software ProConf 98* (adaptado pelo autor)

Definido o modelo de Weibull como aceitável, são apresentadas, nas Figuras, 30 a 32 as análises referentes à amostra.



**Figura 30: Taxa de Falhas**  
Fonte: *Software ProConf 98*

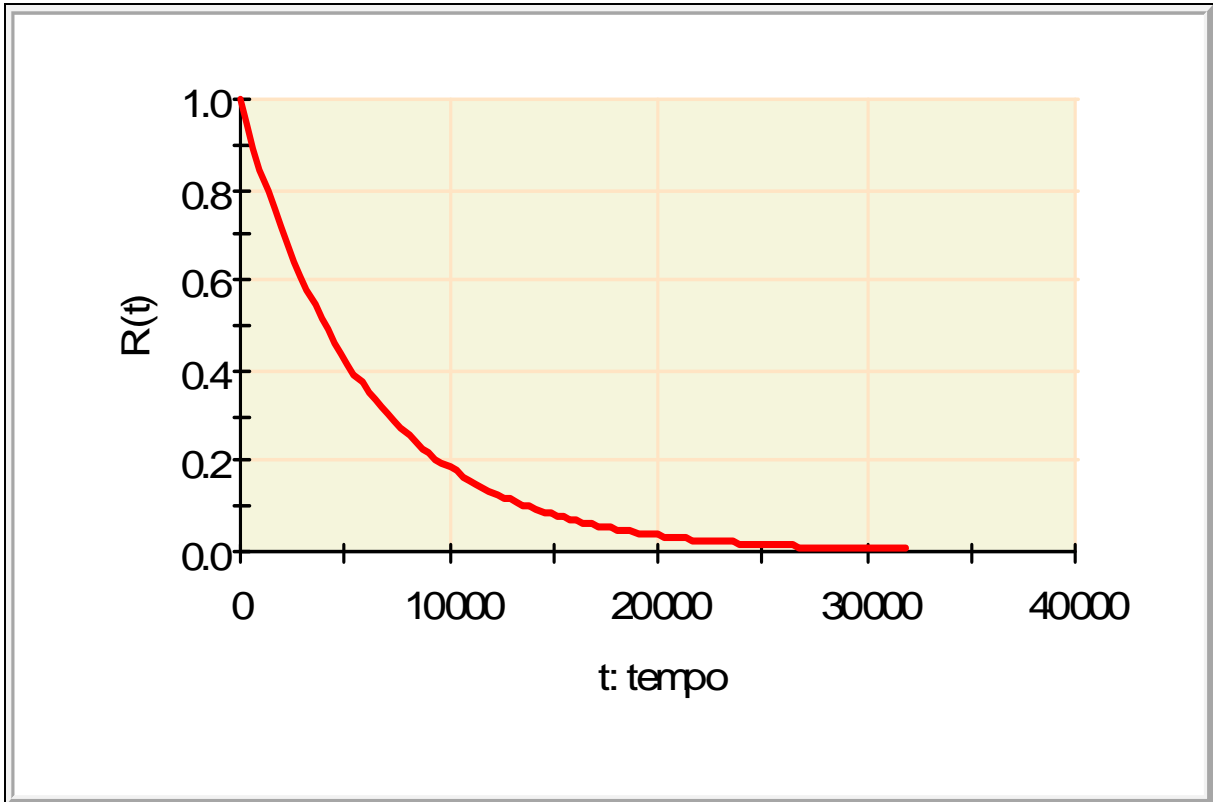


Figura 31: Função de Confiabilidade  
Fonte: Software ProConf 98

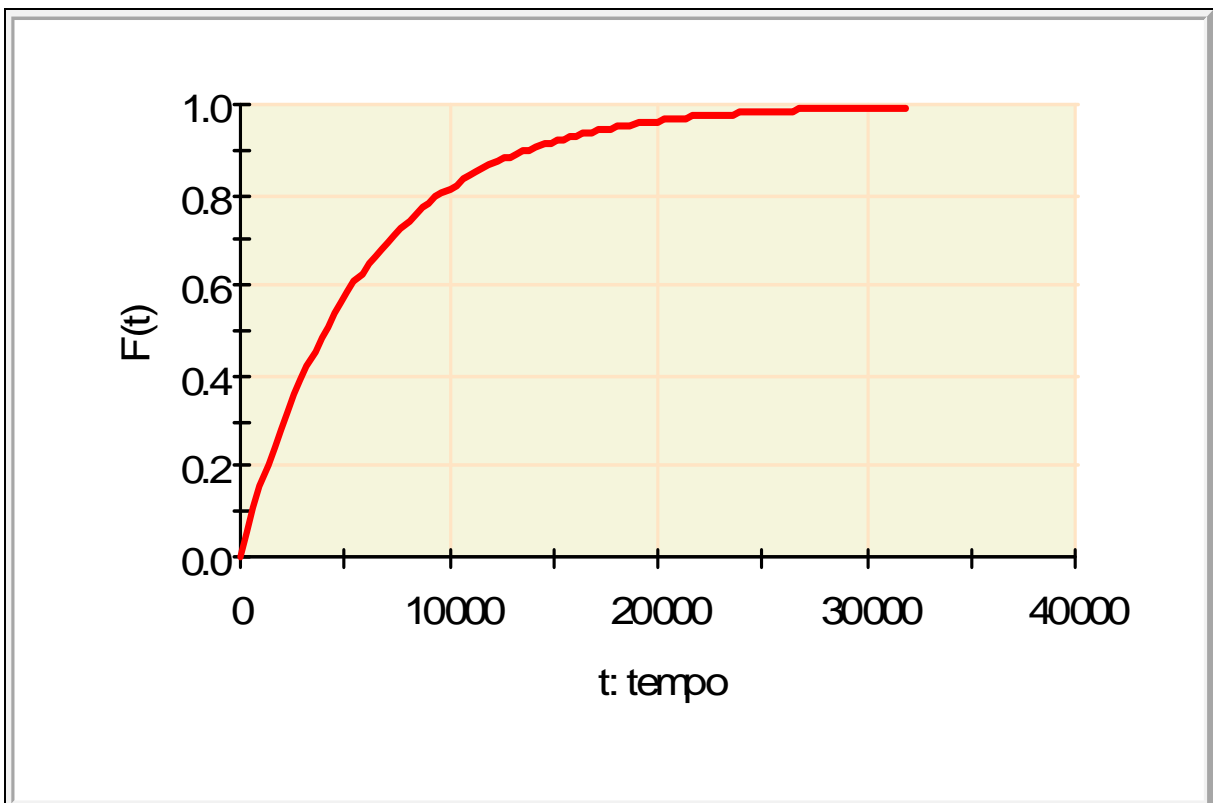


Figura 32: Função Densidade Acumulada de Falha  
Fonte: Software ProConf 98

As análises de confiabilidade são apresentadas na Tabela 19.

**Tabela 12**  
**Análise do Tempo (horas) X Confiabilidade**

Tempo	R(t)
24	0,9957
720	0,8823
1440	0,7801
4320	0,4796
8640	0,233

Fonte: *Software ProConf 98* (adaptado pelo autor)

### 5.1.5 Modelagem de Falha no Tanque de Cromagem

A Tabela 20 apresenta os valores de tempo até a falha (TTF), em horas, obtidos através do *software* de gerenciamento da manutenção para falha no tanque de cromagem.

**Tabela 13**  
**Tempos até a falha (TTF) para Falha no Tanque de Cromagem**

39	66	182	370	396	490	734	801	1047	1185
1206	1315	1463	1540	1792	1872	1894	1943	1955	2105
2167	2203	2926	3618	3632	3837	3904	4110	4744	4961
5352	5527	5664	5973	6907	7495	7649	7836	8953	9138
9836	10552	10670	10942	11268	11896	12283	12493	13679	13915
14978	15011	15873	16738	17073					

Fonte: *Relatórios de Quebra* (adaptado pelo autor)

Nas Figuras 33 e 34, seguem os resultados das análises realizadas com o *software* ProConf 98, utilizando limite de confiança de 95%.

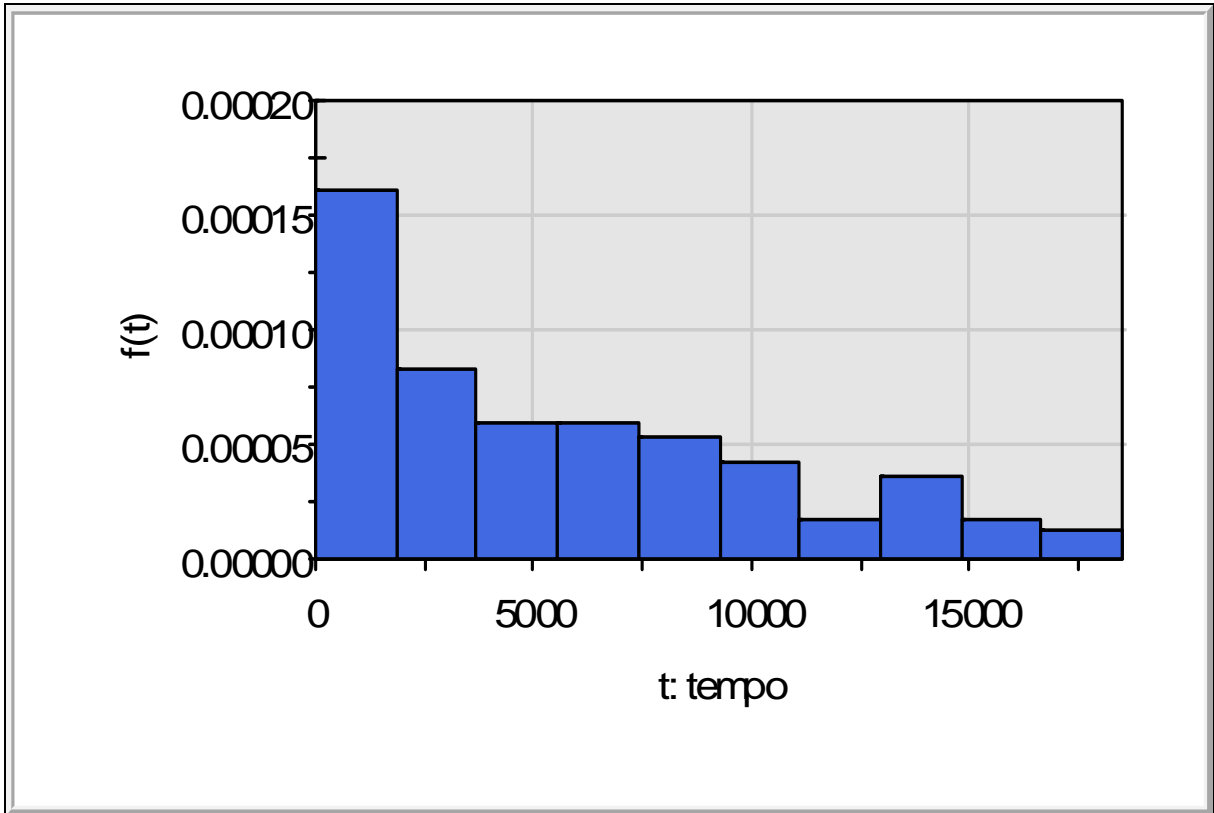


Figura 33: Histograma para a amostra  
 Fonte: Software ProConf 98

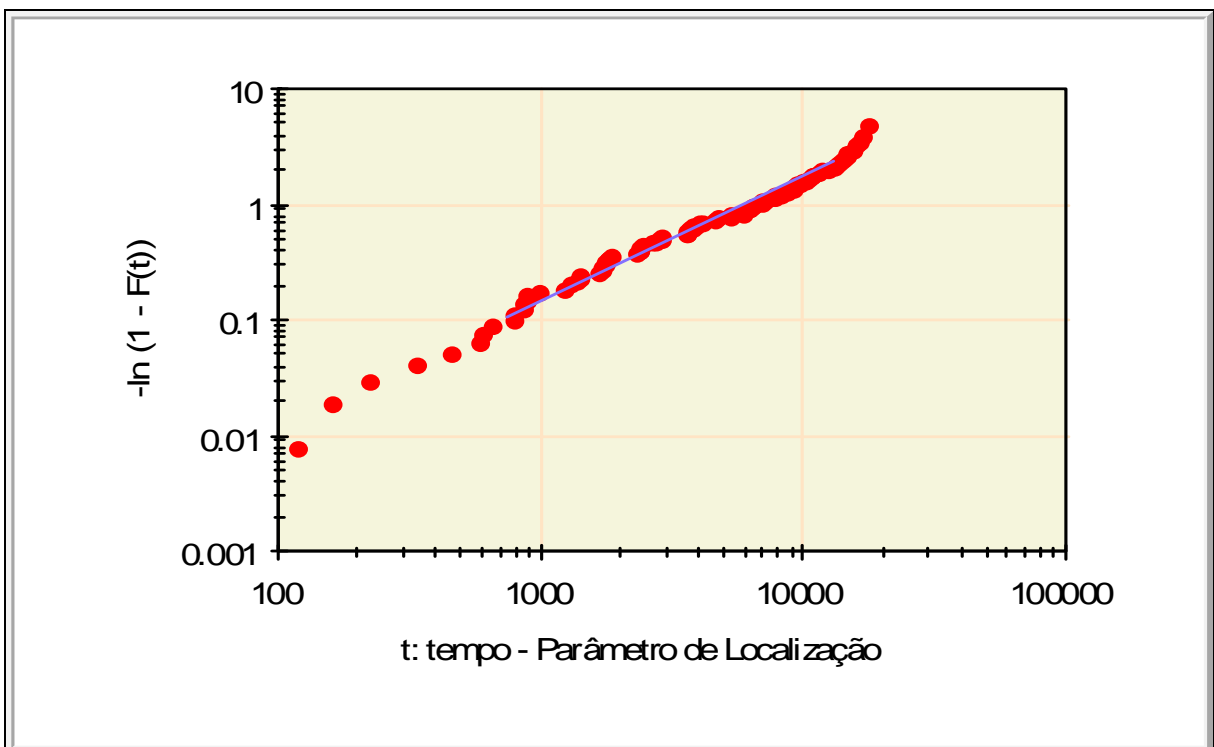


Figura 34: Papel de Confiabilidade de Weibull  
 Fonte: Software ProConf 98

Na Tabela 21, são apresentados os resultados dos testes analíticos para cada um dos modelos de distribuição.

**Tabela 14**  
**Ajuste a Distribuições da Amostra**

Distribuição	Lognormal	Normal	Exponencial	Gamma	Weibull
Teste Qui-quadrado	0,0033	0,0001	0,203	0,109	0,1092
Teste KS	0,011	0,0001	0,1949	0,2374	0,2074
Decisão	Rejeitada	Rejeitada	Não Rejeitada	Não Rejeitada	Não Rejeitada

Fonte: *Software ProConf 98* (adaptado pelo autor)

Definido o modelo de Weibull como aceitável, são apresentadas nas Figuras 35 a 37, as análises referentes à amostra.

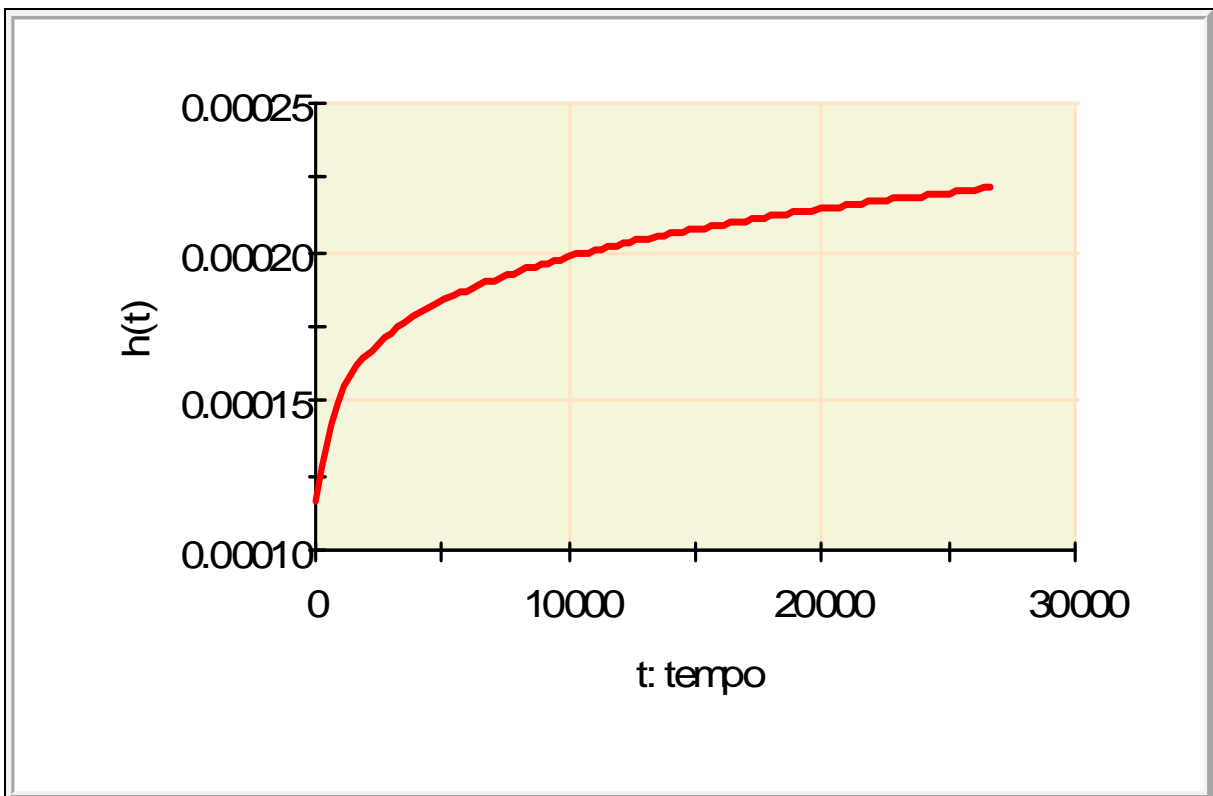


Figura 35: Taxa de Falhas  
Fonte: *Software ProConf 98*

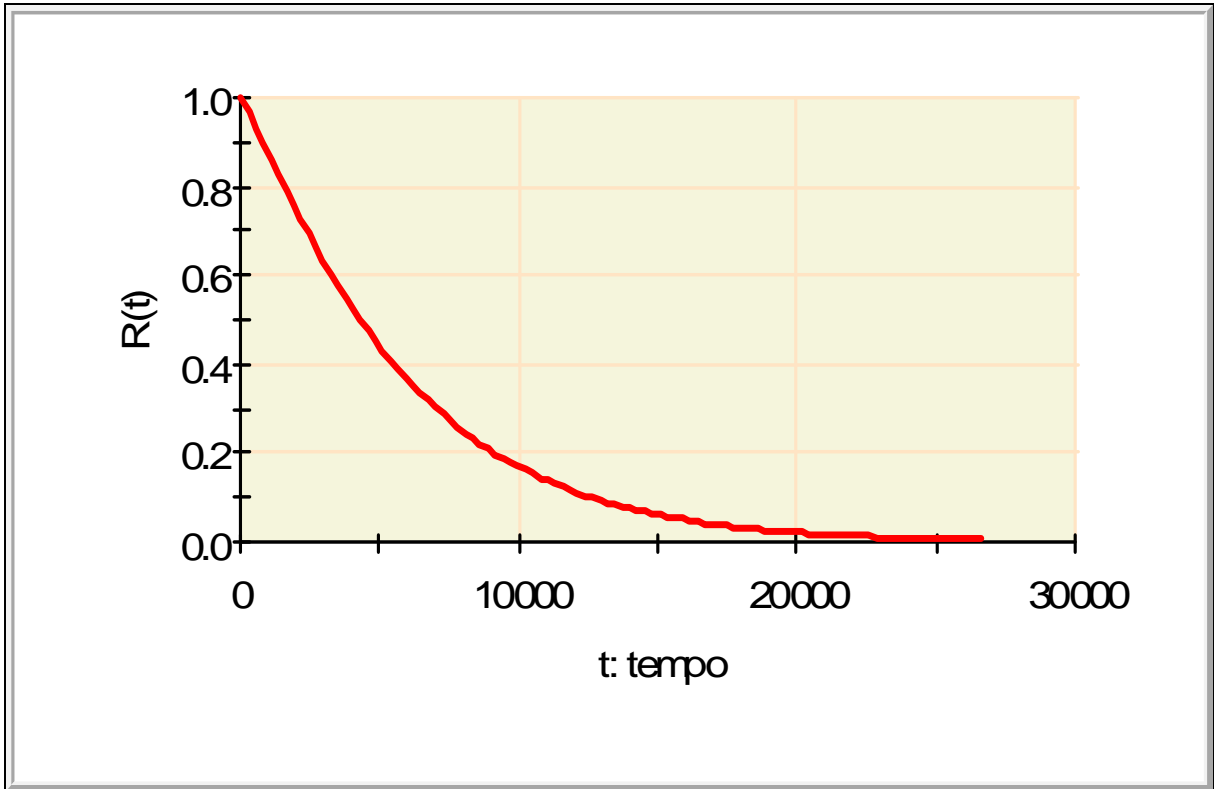


Figura 36: Função de Confiabilidade  
Fonte: Software ProConf 98

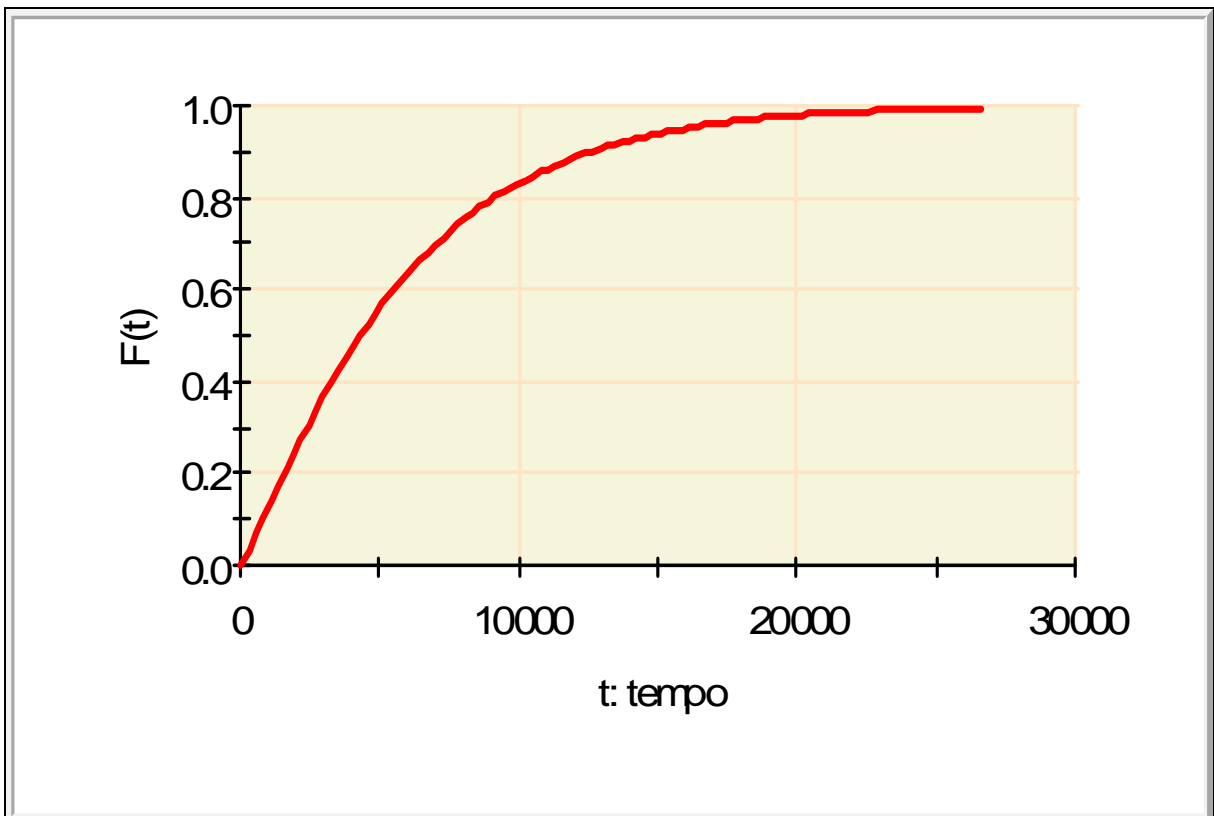


Figura 37: Função Densidade Acumulada de Falha  
Fonte: Software ProConf 98



As análises de confiabilidade são apresentadas na Tabela 22.

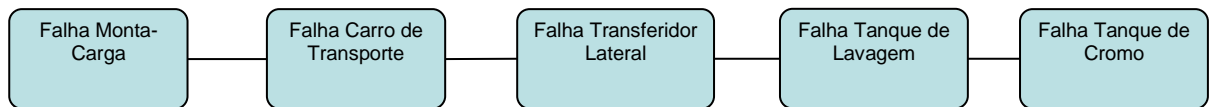
**Tabela 15**  
**Análise do Tempo (horas) X Confiabilidade**

Tempo	R(t)
24	1,0000
720	0,912
1440	0,8162
4320	0,4977
8640	0,2203

Fonte: *Software ProConf 98* (adaptado pelo autor)

## 5.2 CONFIABILIDADE TOTAL DA LINHA DE CROMAGEM

A partir dos dados de confiabilidade dos sistemas integrantes da linha de cromagem, parte-se para o cálculo da confiabilidade de todo o sistema integrado. A Figura 38 retoma o diagrama de blocos do sistema.



**Figura 38 Diagrama de Blocos dos Modos de Falha**

Fonte: o autor

De posse dos modelos probabilísticos e através da metodologia de cálculo da confiabilidade de sistema em série são calculadas as confiabilidades para os tempos de 720h, 1440h e 4340h, conforme a Tabela 23.

**Tabela 16**  
**Análise de Confiabilidade do Sistema**

<i>Tempo de Operação</i>	<i>720 h</i>	<i>1440 h</i>	<i>4320 h</i>
R(t) Monta-Carga	0,9202	0,8369	0,5517
R(t) Carro	0,9275	0,8416	0,5351
R(t) Transferidor Lateral	0,9478	0,8427	0,4766
R(t) Tanque de Cromo	0,9120	0,8162	0,4977
R(t) Tanque de Lavagem	0,8823	0,7801	0,4796
<b>R(t) Conjunto da Linha de Cromagem</b>	<b>0,6509</b>	<b>0,3779</b>	<b>0,0336</b>

Fonte: *Software ProConf 98* (adaptado pelo autor)

A partir da análise dos dados de confiabilidade apresentados, pode-se concluir que o equipamento tanque de lavagem apresenta a menor confiabilidade de todos os componentes do sistema a 1440 horas, e o equipamento transferidor lateral apresenta a maior confiabilidade no mesmo período.

Para o cálculo da função confiabilidade  $R(t)$  do sistema foi usado o *software* Prosis. O resultado é apresentado na Figura 39. O software não ofereceu uma expressão analítica para a função.

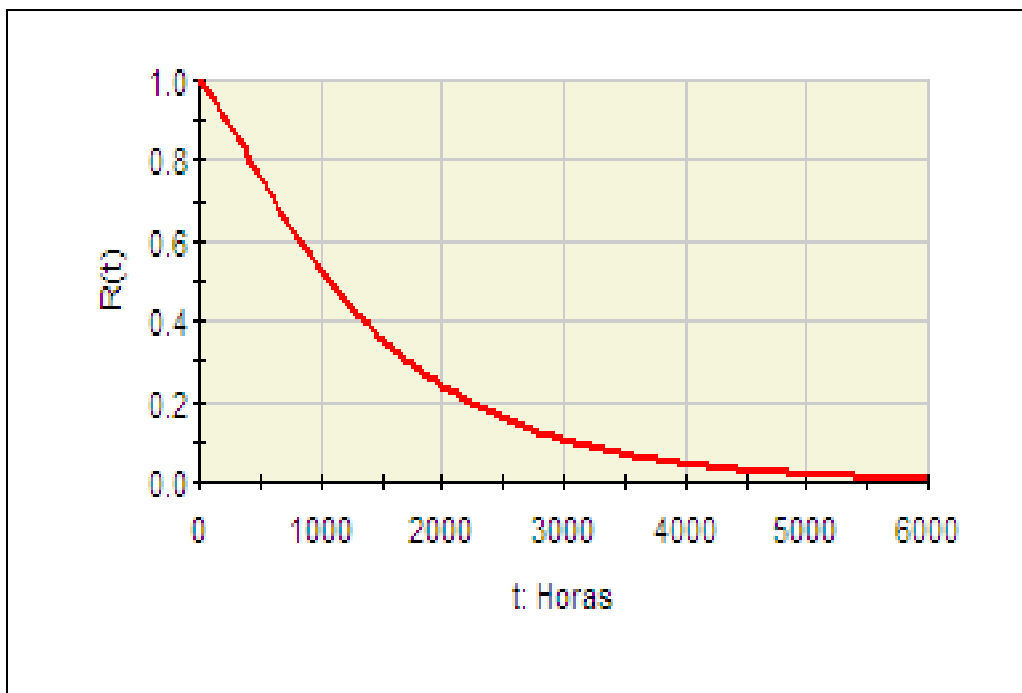


Figura 39: Função de Confiabilidade do Sistema  
Fonte: *Software ProConf 98*

Os dados de parâmetro de forma e parâmetro de escala que foram utilizados na análise do Prosis são apresentados na Tabela 24. Apenas o monta-cargas não se ajustou à distribuição Exponencial. Portanto, sua posição na curva da banheira é definitivamente na faixa de mortalidade senil. Os demais se ajustaram tanto à distribuição de Weibull como à Exponencial e podem ser considerados na faixa de maturidade. O tempo calculado para 85% de confiabilidade de sistema é de 330,3 horas.

**Tabela 17**  
**Parâmetros Utilizados no Prosis**

<b>Equipamento</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Parâmetro de localização</b>	<b>Parâmetro de Forma</b>	<b>Parâmetro de Escala</b>	<b>Posição na curva da banheira</b>
Monta-Carga	Weibull	0	1,0981	6933,742	Mort. senil
Carro de Transporte	Weibull	33,1164	1,1562	6433,594	Maturidade
Transferidor Lateral	Weibull	300,0214	1,1628	5201,008	Maturidade
Tanque de Lavagem	Weibull	0	0,9874	5902,431	Maturidade
Tanque de Cromo	Weibull	25,1594	1,1117	5936,243	Maturidade

**Fonte: Adaptado pelo autor**

## **6 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

O objetivo nesse capítulo é a discussão dos resultados obtidos no estudo de caso, sendo que os resultados são analisados de acordo com as premissas do estudo.

### **6.1 EQUIPAMENTO MONTA-CARGAS**

O equipamento monta-cargas é responsável por posicionar as gancheiras em frente ao operador da linha, a fim de que sejam carregadas e descarregadas com cilindros de alumínio. A fixação das gancheiras ocorre com o auxílio de dois cilindros pneumáticos. Essa etapa do processo de cromagem não possui influência direta na qualidade do produto final, mas o equipamento deve estar totalmente disponível para produção.

O início da operação do monta-cargas ocorre com o posicionamento das peças nas gancheiras, seguida do carregamento de cilindro e de sua remoção pelo carro transportador, até a próxima etapa do processo, que consiste no deslocamento automático de uma nova gancheira, que se encontrava na posição 2 do monta-cargas. Esse equipamento está exposto à contaminação por água de processo e ácidos presentes nos cilindros. A Figura 40 apresenta uma visão geral do equipamento.



**Figura 40: Equipamento Monta-Cargas**  
**Fonte: o autor**

O equipamento é composto, basicamente, de uma estrutura em aço, sensores que identificam o posicionamento das gancheiras, correias de tracionamento, moto-redutor para o posicionamento das gancheiras, cilindros pneumáticos para fixação das gancheiras, mancais e eixos.

No monta-cargas, o principal modo de falha consiste no erro de seu posicionamento. As principais causas dessas falhas estão descritas na Tabela 25.

**Tabela 25**  
**Modos e Causas das Falhas**

<b>Modo de Falha</b>	<b>Causas da Falha</b>
Falha de Posicionamento	Erro de leitura dos sensores Erro no comando eletrônico Correia desgastada Quebra acoplamento do moto-reductor Vazamento de ar-comprimido Falta de ar-comprimido Vazamento interno nos cilindros pneumáticos

A atuação da manutenção nesse equipamento ocorre, atualmente, por Manutenção Corretiva e Manutenção Emergencial, pois não se utiliza a Manutenção Preventiva. A substituição de sensores, correias e peças dos moto-redutores ocorre apenas no caso de ocorrência de quebra. Devido ao ataque de substâncias ácidas, as correias de tracionamento desgastam com facilidade, e os sensores ópticos se deterioram pela contaminação por água. As vedações dos cilindros pneumáticos também são deterioradas pelo ambiente agressivo.

Os dados de falha para o equipamento monta-cargas são modelados a partir de uma distribuição de Weibull, com fator de forma maior do que 1; portanto, o equipamento já pode ser considerado em mortalidade senil. A Tabela 26 explicita os parâmetros referentes aos resultados obtidos com a amostra:

**Tabela 26**  
**Parâmetros da Amostra**

$t_0$	$\gamma$	$\Delta$ Confiança	$\theta$
0	1,0981	0,8492 a 1,3165	6933

A estratégia de manutenção recomendada para evitar a falha desse equipamento é a inspeção preventiva sistemática dos itens críticos, que, caso estejam apresentando sinais de deterioração, deverão ser substituídos. Trata-se de uma estratégia de Manutenção Preventiva, devendo ocorrer a cada 1.325 horas de operação do equipamento. Este é o momento em que a função Confiabilidade atinge 85%.

A Engenharia de Manutenção pode ser utilizada nesse equipamento, objetivando a redução de algumas fragilidades que podem gerar atividades preventivas mais frequentes como, por exemplo, melhorar o posicionamento e o isolamento das mangueiras de ar-comprimido que alimentam os cilindros de fixação das gancheiras; e substituir os sensores ópticos instalados, por modelos mais resistentes ao ambiente.

Os dados referentes ao TTR foram analisados, conforme o Apêndice A. O MTBF calculado para o equipamento monta-cargas é de 459 horas e o MTTR de 3,73 horas. De posse dos dados de MTBF e MTTR, pode-se calcular a disponibilidade do equipamento, a qual é apresentada na equação abaixo:

$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = 0,9898 \quad (18)$$

A disponibilidade do equipamento é considerada alta para esse tipo de sistema, e, em relação ao MTTR, o valor do MTBF é bastante grande. Sendo assim, conclui-se que qualquer trabalho para reduzir o MTTR é menos importante do que as tentativas de aumentar o MTBF, principalmente devido ao fato de o equipamento ser padronizado, os fornecedores serem todos de classe mundial, e não serem permitidas adaptações de componentes.

## 6.2 EQUIPAMENTO CARRO DE TRANSPORTE

O equipamento carro de transporte é formado por uma estrutura de aço, e seu deslocamento ocorre através de trilhos suspensos. Fazem parte da composição do carro, quatro rodas de *nylon*, com 135mm de diâmetro cada, painel de comando eletrônico, dois moto-redutores utilizados na translação, dois sensores de posicionamento a *laser* (um de cada lado), correias de tracionamento, sensores ópticos, cilindros pneumáticos e garras pneumáticas para fixação das gancheiras.

Este equipamento é responsável por movimentar as gancheiras entre os tanques a partir do monta-cargas. Primeiramente, as gancheiras são descarregas do monta-cargas e são depositadas nos tanques de lavagem. Em seguida, são transportadas até os tanques de cromagem. O movimento horizontal é realizado por moto-redutores, e seu comando é realizado a partir de medições dos sensores a

*laser*. Os movimentos verticais são realizados por cilindros pneumáticos monitorados por sensores ópticos. Esse equipamento está submetido a uma atmosfera altamente agressiva, composta por resíduos ácidos e de cromo, que ficam impregnados nas peças, formando uma camada viscosa. A Figura 41 apresenta uma visão frontal do equipamento.



**Figura 41: Equipamento Carro de Transporte**

**Fonte: o autor**

O equipamento apresenta, basicamente, duas possibilidades de modos de falha, representadas na Tabela 27. Uma delas é a falha de deslocamento, ou seja, o equipamento não movimentado. A outra é a falha de posicionamento, caracterizada pelo posicionamento do carro em local indevido.



**Tabela 27**  
**Modos e Causas das Falhas**

<b>Modos de Falha</b>	<b>Causas da Falha</b>
Falha de Deslocamento	Quebra das rodas de <i>nylon</i> Quebra acoplamento dos moto-redutores Desgaste das correias de tracionamento Rompimento das correias de tracionamento Falta de ar-comprimido Vazamento interno nos cilindros pneumáticos
Falha de Posicionamento	Erro de leitura dos sensores <i>laser</i> Erro de leitura dos sensores ópticos Defeito no comando eletrônico

Atualmente, a Manutenção realizada nesse equipamento é predominantemente Corretiva e Emergencial. Porém, ao contrário do monta-cargas, esse equipamento é submetido a procedimentos de Manutenção Preditiva e Preventiva. As atividades realizadas fazem parte de uma revisão geral realizada a cada três meses, com inspeção visual mensal e substituição incondicional anual das correias de tracionamento. A quebra das rodas de *nylon* é freqüente, mas não há nenhuma intervenção programada para esse componente. A falha do equipamento carro de transporte é definida a partir de uma distribuição de Weibull (Tabela 28). Como a distribuição exponencial não foi rejeitada, o equipamento pode se encontrar na fase de maturidade.

**Tabela 28**  
**Parâmetros da Amostra**

$t_0$	$\gamma$	$\Delta$ Confiança	$\theta$
33,1164	1,1562	0,9409 a 1,3491	6433

A estratégia de manutenção indicada é a Preditiva, devido à maturidade, com alguma possibilidade de ser Preventiva, pois, apesar de poder ser considerada a fase de maturidade, o fator de forma mais provável já ultrapassou 1 e o intervalo de confiança é assimétrico, em direção crescente. O intervalo de realização é de 1.370

horas. O cálculo do intervalo entre intervenções foi calculado tomando-se por base um índice de confiabilidade de 85%.

O equipamento carro de transporte não tem influência direta na qualidade do produto processado na linha de cromagem, uma vez que é apenas responsável pelo correto deslocamento das peças no processo. Porém, esse equipamento, quando em falha, prejudica o funcionamento do processo como um todo, ocasionando a parada da linha produtiva. Sendo assim, é importante a Manutenção Preventiva adequada, a fim de garantir o funcionamento de todo o processo de cromagem. Também se recomenda a utilização da Engenharia de Manutenção, a fim de impedir algumas quebras frequentes. Um exemplo de melhoria proposta é a alteração do material das vedações dos cilindros pneumáticos, a fim de diminuir as consequências do ataque ácido.

Os dados referentes à análise dos TTRs estão descritos no Apêndice B. Calculou-se a disponibilidade a partir dos dados de MTBF (351,22 horas) e MTTR (5,59 horas), conforme abaixo:

$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = 0,9843 \quad (19)$$

O valor do MTTR é muito menor do que o valor do MTBF. A partir dessa afirmação, conclui-se que esforços devem ser concentrados no aumento do MTBF.

### 6.3 EQUIPAMENTO TRANSFERIDOR LATERAL

O transferidor lateral é responsável pelo deslocamento das gancheiras entre os monta-cargas. Esse equipamento é formado por dois moto-redutores, sensores de posicionamento ópticos, correias de tracionamento, cilindros e garras pneumáticos e um painel de comando eletrônico. O único contaminante a que está exposto é a água dos tanques de lavagem.

Os modos de falha a que está submetido são as falhas de posicionamento e de deslocamento, ou seja, o equipamento não se movimenta. As causas de falha do transferidor são semelhantes às do carro transportador, conforme a Tabela 29.

**Tabela 29**  
**Modos e Causas das Falhas**

<b>Modos de Falha</b>	<b>Causas da Falha</b>
Falha de Deslocamento	Quebra acoplamento dos moto-redutores Desgaste das correias de tracionamento Rompimento das correias de tracionamento Falta de ar-comprimido Vazamento interno nos cilindros pneumáticos Vazamento interno nas garras Quebra das polias de tracionamento
Falha de Posicionamento	Erro de leitura dos sensores ópticos Defeito no comando eletrônico

As atividades de manutenção atualmente utilizadas são predominantemente Corretivas e Emergenciais. Outras intervenções são restritas a revisões realizadas a cada três meses, lubrificação dos mancais a cada dois meses, inspeção das correias e polias de tracionamento a cada ano e revisão dos sistemas eletrônicos a cada seis meses.

Os dados de falha para o equipamento transferidor lateral são modelados a partir de uma distribuição de Weibull. A taxa de falha é crescente; porém, como a distribuição exponencial não é rejeitada, conclui-se que o equipamento também pode se encontrar na fase de maturidade. Na Tabela 30, são apresentados os parâmetros referentes aos resultados obtidos com a amostra:

**Tabela 30**  
**Parâmetros da Amostra**

$t_0$	$\gamma$	$\Delta$ <b>Confiança</b>	$\theta$
300,02	1,1628	0,9067 a 1,3946	5201

Essa etapa do processo de cromagem não possui influência direta na qualidade do produto final, mas o equipamento deve estar totalmente disponível para produção. A estratégia de manutenção recomendada é a Manutenção Preditiva, com aspectos de Preventiva, pois o intervalo de confiança do fator de

forma é assimétrico e em direção crescente. O intervalo entre intervenções é de 1.390 horas de operação do equipamento.

Nesse caso, também se recomenda que a Engenharia de Manutenção melhore os sistemas do equipamento, a fim de eliminar algumas causas de falha e, conseqüentemente, evitar a necessidade de Manutenção Corretiva e paradas para intervenções Preventivas.

Estão descritos, no Apêndice C, os dados referentes à análise dos TTRs. Calculou-se a disponibilidade a partir dos dados de MTBF (489,06 horas) e MTTR (6,50 horas), apresentada na equação abaixo:

$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = 0,9869 \quad (20)$$

O valor do MTTR é muito menor do que o valor do MTBF. A partir dessa afirmação, conclui-se que esforços devem ser concentrados no aumento do MTBF.

#### **6.4 EQUIPAMENTO TANQUE DE LAVAGEM**

O tanque de lavagem (Figura 42) é utilizado para limpeza dos cilindros com água deionizada, a fim de neutralizar ácidos e básicos presentes nas peças. Essa etapa é anterior ao tanque de cromagem, e qualquer contaminação afeta diretamente a qualidade da deposição de cromo.



**Figura 42: Equipamento Tanque de Lavagem**  
**Fonte: o autor**

A estrutura desse equipamento é fabricada em material polimérico (polietileno de alta densidade) e pode ocorrer a quebra desse polímero por impacto de peças e dispositivos. O tanque é composto por duas bombas para abastecimento de água e um deionizador. Os principais componentes do deionizador são as colunas de troca iônica e catiônica, preenchidas por resinas eletrostáticas.

Esse equipamento apresenta dois modos de falha: falha de bombeamento e falha de deionização. As causas das falhas são apresentadas Tabela 31.

**Tabela 31**  
**Modos e Causas das Falhas**

<b>Modos de Falha</b>	<b>Causas da Falha</b>
Falha de Bombeamento	Quebra da tubulação Rompimento da membrana da bomba Falta de ar-comprimido
Falha de Deionização	Saturação das resinas

As atividades de manutenção, atualmente, são resumidas a intervenções Corretivas, Emergenciais e Planejadas, ocorrendo semestralmente a regeneração das resinas do deionizador.

A falha do tanque de lavagem é representada pela distribuição de Weibull. A taxa de falha é a mais próxima de 1, entre todos os equipamentos, e a distribuição exponencial não é rejeitada. Assume-se que o equipamento encontra-se na fase de maturidade. Os parâmetros referentes aos resultados obtidos com a amostra são apresentados na Tabela 32.

**Tabela 32**  
**Parâmetros da Amostra**

$t_0$	$\gamma$	$\Delta$ Confiança	$\theta$
0	0,9874	0,7648 a 1,1718	5902

De acordo com a análise realizada, a manutenção puramente preditiva é a mais adequada para esse tipo de equipamento, e recomenda-se a sua realização a cada 937 horas. Por ser crítico quanto à qualidade final do produto, a qualidade da água deionizada deve ser monitorada continuamente.

Os dados referentes à análise dos TTRs estão descritos no Apêndice D. Calculou-se a disponibilidade a partir dos dados de MTBF (325,66 horas) e MTTR (5,06 horas), apresentada na equação abaixo:

$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = 0,9847 \quad (21)$$

O valor do MTTR é muito menor do que o valor do MTBF. A partir dessa afirmação, conclui-se que, da mesma forma que nos demais equipamentos, os esforços devem ser concentrados no aumento do MTBF.

## 6.5 EQUIPAMENTO TANQUE DE CROMAGEM

O tanque de cromagem (Figura 43) é o equipamento de maior complexidade presente no processo produtivo. É nessa etapa que ocorre a deposição do cromo nas peças de alumínio. A deposição do cromo ocorre através da transferência eletrolítica do cromo presente no tanque em estado líquido, o qual se deposita nas paredes de alumínio que estão alimentados por uma corrente elétrica. A cromagem

de peças de alumínio é um processo tecnicamente sensível a quaisquer variações nas condições de processo e, por isso, é bastante controlado.



**Figura 43: Equipamento Tanque de Cromagem**  
Fonte: o autor

O abastecimento dos tanques de cromagem com cromo líquido acontece a partir de um tanque maior, chamado de pulmão de cromo. O material parte desse tanque através de três bombas pneumáticas. Dentro do tanque de cromagem há quatro resistências elétricas tubulares de 1500W cada, que são responsáveis por manter a temperatura do banho em 60°C. O retificador de corrente é responsável por suprir de corrente elétrica as peças de alumínio. Esse equipamento opera durante todo o processo de cromagem.

Três diferentes modos de falha ocorrem no tanque de cromagem: falha de aquecimento, falha de bombeamento e falha de retificação. As causas das falhas são apresentadas na Tabela 33.

**Tabela 33**  
**Modos e Causas das Falhas**

<b>Modos de Falha</b>	<b>Causas da Falha</b>
Falha de Aquecimento	Resistência queimada Erro na leitura do termopar Erro no comando eletrônico
Falha de Bombeamento	Entupimento da tubulação Rompimento da membrana da bomba Falta de ar-comprimido
Falha de Retificação	Eletrodo sujo Cabo de cobre rompido Erro no comando eletrônico

As atividades de manutenção atualmente realizadas nesses tanques de cromagem são de natureza Corretiva e Preventiva, não ocorrendo a Manutenção Preditiva. Fazem parte do plano de manutenção: revisão do retificador de corrente, a cada ano; a inspeção das bombas pneumáticas; a limpeza dos tanques para remoção de incrustações, a cada três meses; e a revisão das resistências, a cada seis meses. A taxa de falha é crescente, mas a distribuição exponencial não é rejeitada, caracterizando que o equipamento pode se encontrar na fase de maturidade.

Os parâmetros de falha do equipamento tanque de cromo são apresentados abaixo:

**Tabela 34**  
**Parâmetros da Amostra**

$t_0$	$\gamma$	$\Delta$ <b>Confiança</b>	$\theta$
25,16	1,1117	0,9235 a 1,2798	5936

A estratégia de manutenção indicada combina ações de Preditiva e de Preventiva, a serem realizadas a cada 1183 horas de operação. Como o intervalo de confiança é assimétrico para cima, a probabilidade de o equipamento já estar em mortalidade senil não é negligenciável, o que justifica trocas sistemáticas.

Por se tratar de um equipamento crítico à qualidade do produto final, recomenda-se o monitoramento preditivo, principalmente nas resistências elétricas e



no retificador. A troca das resistências elétricas será definida de acordo com a Manutenção Preditiva. Já o acompanhamento da corrente do retificador é crítico, uma vez que é responsável pela espessura da camada de cromo depositada.

Estão descritos no Apêndice E os dados referentes à análise dos TTRs. Calculou-se a disponibilidade a partir dos dados de MTBF (427,66 horas) e MTTR (5,18 horas), pela equação abaixo:

$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = 0,988 \quad (22)$$

O valor do MTTR é muito menor do que o valor do MTBF. A partir dessa afirmação, conclui-se que, da mesma forma como os demais equipamentos, deve-se concentrar os esforços no aumento do MTBF, podendo negligenciar, no momento, o MTTR.

## 6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo foram apresentados em detalhes os equipamentos estudados, bem como os modos e causas das falhas de cada um. Também são apresentados os parâmetros das amostras obtidos com auxílio do *software* Proconf. Com base nos resultados da análise dos dados de falha foram definidas as estratégias de manutenção e as atividades recomendadas. Os cálculos de MTBF e MTTR de cada um dos equipamentos, juntamente com a disponibilidade fazem parte dos resultados apresentados.

Em todos os casos constatou-se que os valores de MTBF são muito maiores do que o MTTR. Sendo assim, obtêm-se melhores resultados aumentando o MTBF ao invés de focar no aumento do MTTR. A média dos índices de disponibilidade dos equipamentos ficou em 98%.

## **7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

Neste capítulo são apresentadas as conclusões do estudo e as principais recomendações.

### **7.1 CONCLUSÃO**

A proposta principal desse trabalho foi a modelagem dos tempos até a falha de um sistema completo (linha de cromagem de cilindros de alumínio), e fundamentar as estratégias de manutenção utilizadas nesse sistema foi a motivação que impulsionou a pesquisa.

A manutenção centrada em confiabilidade (MCC) ainda não faz parte das atividades de manutenção em grande parte das empresas. Conforme apresentado anteriormente, grande parte das atividades de manutenção envolve pouco planejamento e muitas ações corretivas. O objetivo desse estudo foi apresentar uma proposta de método direto e objetivo para determinação da melhor estratégia de manutenção a ser utilizada. Com o estudo de caso, consolidou-se a utilização da confiabilidade como meio para determinação das estratégias de manutenção.

O ponto de partida no processo de pesquisa foi a coleta dos dados estatísticos referentes ao sistema objeto de estudo. A próxima etapa consistiu na realização de uma pesquisa bibliográfica, com o intuito de considerar a visão de diferentes autores a respeito do tema. As principais disciplinas estudadas durante a revisão da bibliografia foram: conceitos de manutenção, histórico do processo de manutenção, estatística, conceitos de confiabilidade e confiabilidade de sistemas.

Um fator de grande relevância identificado no andamento do processo de pesquisa refere-se aos bancos de dados de manutenção. A importância de armazenar dados e análises de falhas, principalmente dados confiáveis, faz toda a diferença quando se pretende realizar um estudo aprofundado da confiabilidade dos equipamentos. Apesar de ser uma técnica simples e eficiente, a manutenção centrada em confiabilidade não pode ser aplicada sem o envolvimento dos níveis relevantes da organização na gestão do sistema de informações de equipamentos.

A utilização da manutenção centrada em confiabilidade representa uma decisão estratégica, devendo fazer parte dos objetivos e metas que são

estabelecidos no planejamento da empresa. A partir dessa decisão ocorrem mudanças profundas na cultura e nos métodos utilizados na manutenção.

No que se refere às estratégias de manutenção propostas no estudo de caso, definidas a partir da metodologia proposta, definiu-se que os equipamentos monta-cargas e Tanque de Lavagem devem ser submetidos à Manutenção Preditiva. Os demais poderão ser submetidos a estratégias mistas, contendo elementos de Preventiva e de Preditiva. Como não há nenhum equipamento claramente em mortalidade infantil, a estratégia de Manutenção Corretiva ou de Engenharia de Manutenção pode ser usada apenas marginalmente, em poucos problemas de projeto identificados nos equipamentos.

Um resumo é apresentado na Tabela 35.

**Tabela 35**  
**Resumo das Estratégias de Manutenção**

<b><i>Equipamento</i></b>	<b><i>Tipo de Manutenção</i></b>	<b><i>Intervalo entre intervenções (horas)</i></b>
Monta-Cargas	Preditiva	1.325
Carro de Transporte	Preventiva e Preditiva	1.370
Transferidor Lateral	Preventiva e Preditiva	1.390
Tanque de Lavagem	Preditiva	1.183
Tanque de Cromo	Preventiva e Preditiva	937

O equipamento que apresentou os melhores resultados em termos da confiabilidade foi o transferidor lateral, e o que apresentou os piores resultados foi o tanque de lavagem. De uma maneira geral, todos os equipamentos apresentaram resultados de confiabilidade próximos, sendo que as intervenções Preventivas podem ser realizadas praticamente na mesma parada para manutenção em todos os equipamentos.

Em síntese, o método de intervenção utilizado foi:

- definir o objeto de estudo;
- obter dados de TBF e TTR;
- modelar os dados e julgar se é necessário melhorar MTBF, MTTR ou ambos;

- a partir do formato da taxa de falha, definir o tipo de estratégia de manutenção que tem mais probabilidade de ser efetiva;
- pela análise dos modos de falha mais expressivos, escolher aquelas ações que têm mais probabilidade de serem efetivas;
- aplicar essas ações segundo à estratégia escolhida; e
- monitorar MTBF, MTTR e disponibilidade ao longo do tempo para concluir se a formulação da estratégia de manutenção foi ou não efetiva e se o processo de formulação foi ou não bem sucedido.

## **7.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS**

A fim de se obter resultados mais consistentes nas operações da empresa objeto do estudo, recomenda-se a modelagem de confiabilidade para todos os equipamentos que compõem os processos tratamento das peças cromadas e de limpeza das gancheiras. Assim, torna-se possível ampliar o conhecimento a respeito de toda a linha e o possível comportamento da operação no decorrer do tempo.

Uma vez que o cálculo do intervalo ótimo de Manutenção Preventiva pode ser considerado econômico, ou seja, deve levar em conta o custo da falha emergencial e o custo da Manutenção Preventiva, pode-se estudar os fatores econômicos na escolha das estratégias de manutenção. Dessa forma, poder-se-ia realizar os cálculos de frequência de reparos ou substituições para se atingir os melhores resultados levando-se em consideração os custos das intervenções e a perda de confiabilidade dos equipamentos com o passar do tempo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-NAJJAR B. Total quality maintenance. An approach for continuous reduction in costs of quality products. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, vol. 2 n. 3, p. 4 – 20, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO – ABRAMAN. Documento Nacional 2009. In: **Anais CD-Rom do XXI Congresso Brasileiro de Manutenção**. Recife, PE, 2009.

BRANCO FILHO, G. **Dicionário de termos técnicos de manutenção e confiabilidade**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2000.

CATTINI, O. **Derrubando os mitos da manutenção**. São Paulo: STS Publicações e Serviços Ltda., 1992.

CECCONELLO, I. **Adequação de um sistema de administração da produção à estratégia organizacional**. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, 2002.

COOKE, F. L. Plant maintenance strategy: evidence from four British manufacturing firms. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, vol. 9, n. 3, p. 239 – 249, 2003.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de pesquisa em administração**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

FABRO, E. **Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

FOGLIATTO, F.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FUENTES, F.F.E., **Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Outubro 2006.

GABBAR, H. A. YAMASHITA, H., Computer-aided RCM-based plant maintenance management system, **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, Department of Systems Engineering, Okayama, Japan, vol. 19, n. 5, p. 449 – 458, 2003.

GIL, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

HIGGINS, L. R., MOBLEY, R. K. **Maintenance Engineering Handbook**. USA: McGraw-Hill, 2001.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LEWIS, E. E. **Intoduction to Reliability Engineering**. USA: John Wiley & Sons, 1996.

LUCATELLI, M. V. **Proposta de aplicação da manutenção centrada em confiabilidade em equipamentos médico-hospitalares**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MARTINS, G. A., FONSECA, J.S. **Curso de Estatística**. São Paulo: Atlas S.A., 1999.

MEYER, P. L. **Probabilidade: Aplicações a Estatística**. Rio de Janeiro: LTC, 1983.

MIRSHAWKA, V. **Manutenção: combate aos custos da não eficácia a vez do Brasil**. São Paulo: Makron Books, 1993.

MODAK, J. P. Application of RCM to a medium scale industry. **Reliability Engineering and System Safety**, vol. 77, p. 31 – 43, 2002.

MOTTA, S. B. Aspectos técnicos e gerenciais de manutenção em instalações elétricas – Indicadores de desempenho da Transmissão: metodologia de cálculo e utilização em modelos probabilísticos de análise e decisão. **XVI SNTPEE – Grupo XII**, Campinas, São Paulo, 2001.

MOUBRAY, J. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade**. São Paulo: Aladon, 1996.

MOUBRAY, J. **Maintenance Management: A New Paradigm**, SQL Systems Brasil, 1998.

MOUBRAY, J. **A Questão contra o RCM simplificado**. SQL Systems Brasil, 2000.

NAKAJIMA, S. **Introdução ao TPM; total productive maintenance**. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos, 1989.

OLIVEIRA, L.; SELLITTO, M.; VERDI, R. Gerenciando estrategicamente a manutenção de uma organização de transportes com base em um sistema de informações. **Revista Análise, FACE PUCRS**, Porto Alegre, v.13, n.1, 2002.

PINJALA, S.K. An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies. **International Journal of Production Economics**, vol. 104, n. 1, p. 214 – 229, 2006.

PINTO, A. K.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

POSSAMAI, O.; NUNES, E. L. Falhas ocultas e a Manutenção Centrada em Confiabilidade. **Anais do XXI ENEGEP**, Florianópolis, 2001.

SANTOS, W. B.; MOTTA, S. B.; COLOSIMO, E. A. Tempo ótimo entre manutenções preventivas para sistemas sujeitos a mais de um tipo de evento aleatório. **Gestão e Produção**, 2007.

SELLITTO, M. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. **Produção**. v.15. n.1, 2005.

SELLITTO, M. Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação metalmeccânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos, **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**. V.2, n.1, 2007.

SELLITTO, M.; BORCHADT, M.; ARAÚJO, D. Manutenção centrada em confiabilidade: uma abordagem quantitativa. **Anais do XXII ENEGEP**, Curitiba, 2002.

SILVA, L.; MENEZES, E. Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**, QualityMark, 2003.

SWANSON, L. Linking maintenance strategies to performance. **International Journal of Production Economics**. v.70, n. 3, p. 237 – 244, 2001.

TAVARES, L. A. **Excelência da Manutenção: Estratégias, otimização e gerenciamento**, Casa da Qualidade, Salvador, 1996.

TSANG, A. Condition-based maintenance: tools and decision making. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.1, n.3, p.3 – 17, 1995.

TSANG, A. Strategic dimensions of maintenance management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.8, n.1, p.7-39, 2002.

VIANA, H. **PCM: Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

WUTKE, R.; SELLITTO M. Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico, **Produção**. v.8. n.4, 2008.

XAVIER, J. N. **Manutenção: tipos e tendências**. Belo Horizonte: TECEM, 2000.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e método**. Porto Alegre: Bookmann, 2001.

## APÊNDICE A

A Tabela 36 apresenta a amostra de valores de tempo para o reparo (TTR), em horas, para falha do Monta-Cargas.

**Tabela 36**  
**Tempos para o reparo (TTR) para o Monta-Cargas**

9,7	2	1,5	3,3	3,2	0,5	1,9	1,8	0,1	4,4
4,5	4,9	3,5	3,8	1,2	4,1	4,1	1,5	4,7	5,0
3,9	2,1	0,6	4,3	3,9	4,5	4,8	3,1	8,8	6,9
4,8	1,1	4,4	8,2	7,7	2,5				

Fonte: Relatórios de Quebra (adaptado pelo autor)

Conforme análise com o *software* Proconf 98, os dados de tempo para o reparo podem ser explicados, estatisticamente, através da distribuição Normal. Abaixo, segue o papel de probabilidade Normal de tempo para o equipamento Monta-Cargas:

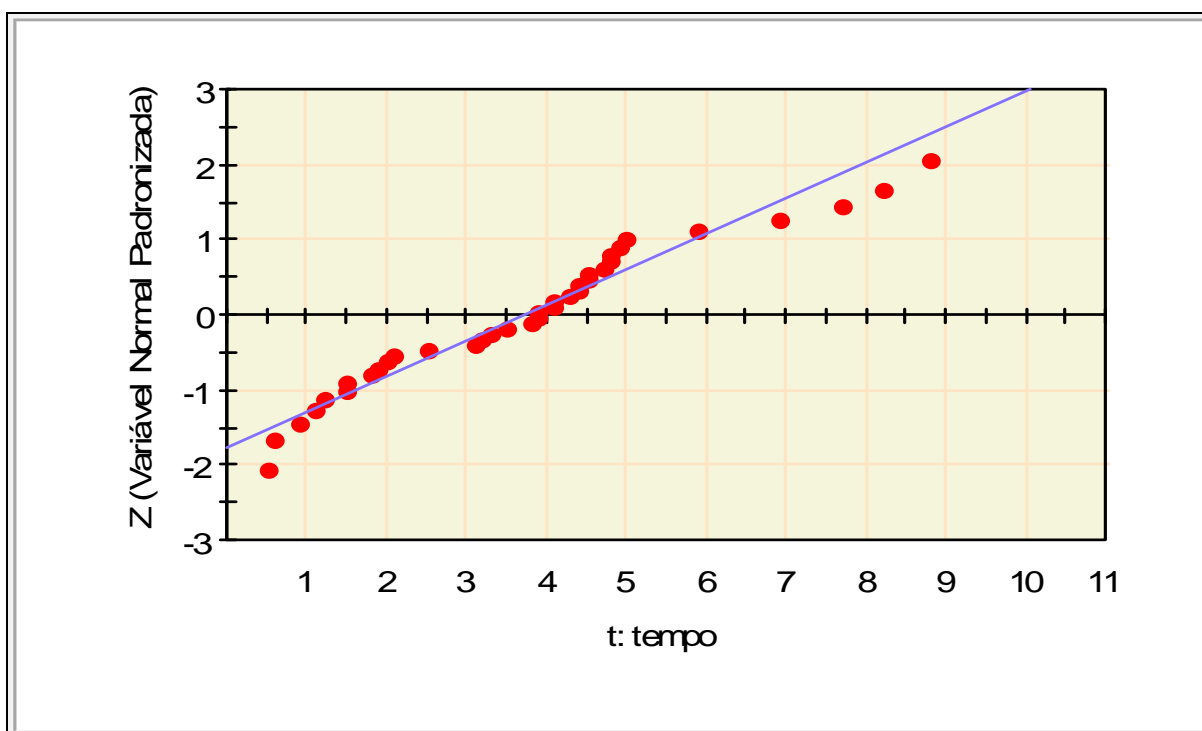


Figura 44: Papel de Probabilidade de Tempo para o Reparo

Fonte: *Software* ProConf 98



A partir da distribuição Normal, obteve-se o tempo médio de 3,7306 para reparo. O tempo médio para reparo assume o desvio padrão de 2,0827, com intervalo de confiança de 95%. A curva que representa a manutenibilidade é apresentada na Figura 45.

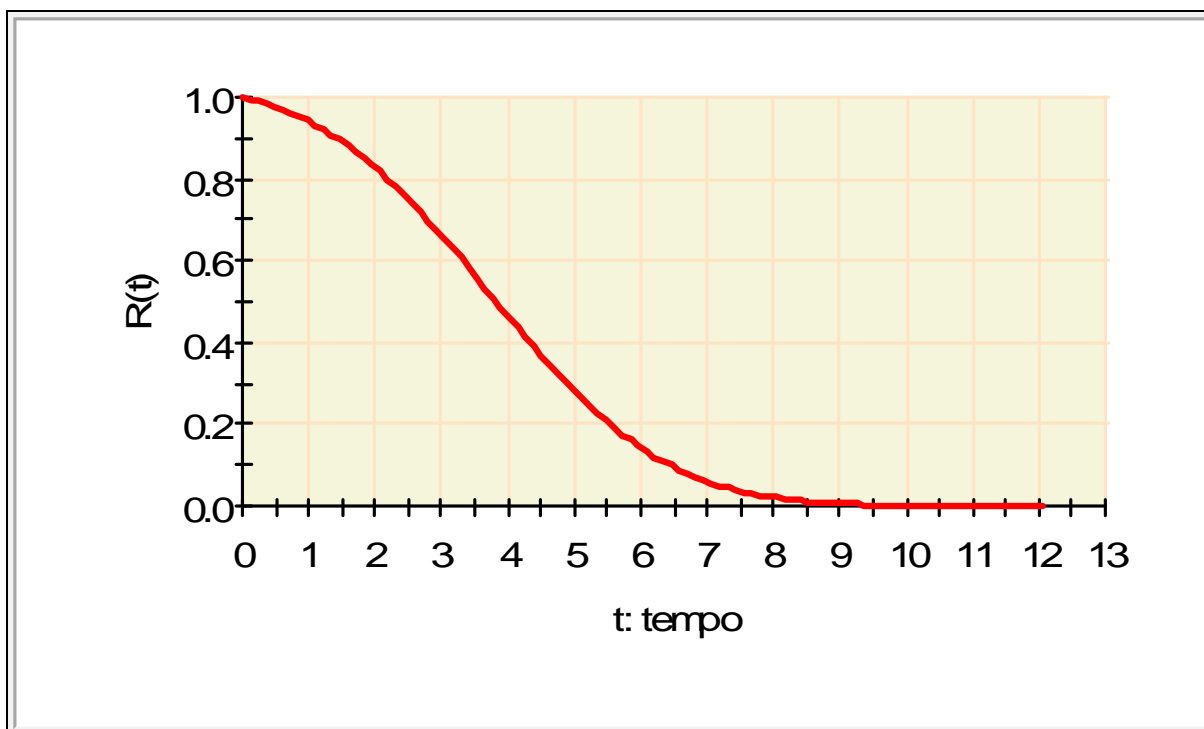


Figura 45: Função Manutenibilidade  
Fonte: *Software ProConf 98*

## APÊNDICE B

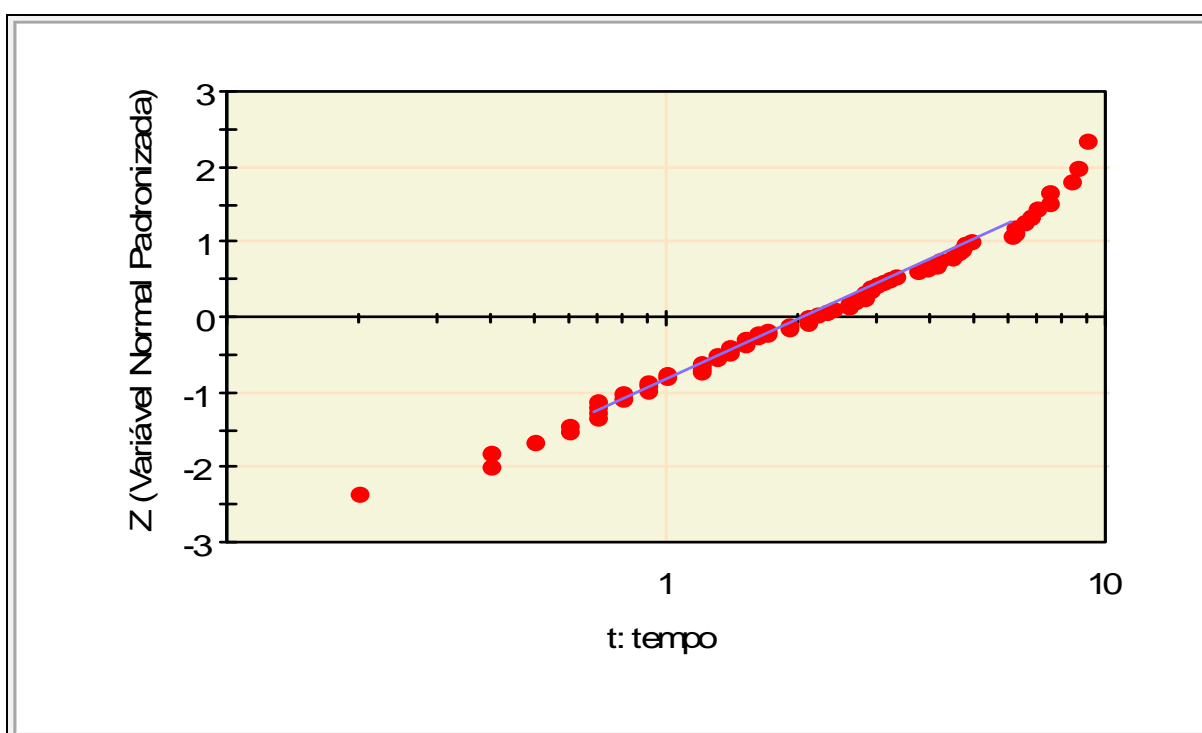
A Tabela 37 apresenta a amostra de valores de tempo para o reparo (TTR), em horas, para falha do Carro de Transporte.

**Tabela 37**  
**Tempos para o reparo (TTR) para o Carro de Transporte**

1,6	7,4	4,7	1,3	2,8	2,1	0,7	6,2	4,1	1,5
0,8	1,6	3,7	6,1	1,4	0,9	1,0	0,4	1,2	4,5
1,7	1,2	2,7	0,2	1,3	0,6	2,9	1,4	0,4	1,5
1,7	6,7	1,9	2,1	4,6	3,0	2,2	2,7	1,2	1,0
2,4	3,3	2,6	9,1	0,5	2,8	1,4	2,9	4,9	3,1
0,6	4,1	0,9	4,2	0,7	6,2	0,8	2,1	2,6	1,9
6,5	0,7	3,9	1,5	7,0	0,9	7,4	2,3	1,2	2,8
8,3	3,2	0,7	8,6	4,8					

Fonte: Relatórios de Quebra (adaptado pelo autor)

Abaixo, segue o papel de probabilidade Lognormal de tempo para o reparo para o equipamento Carro de Transporte:



**Figura 46: Papel de Probabilidade de Tempo para o Reparo**  
Fonte: *Software ProConf 98*

A partir da distribuição Lognormal, obteve-se o tempo médio de 2,9195 para reparo. A curva que representa a manutenibilidade é apresentada na Figura 47.

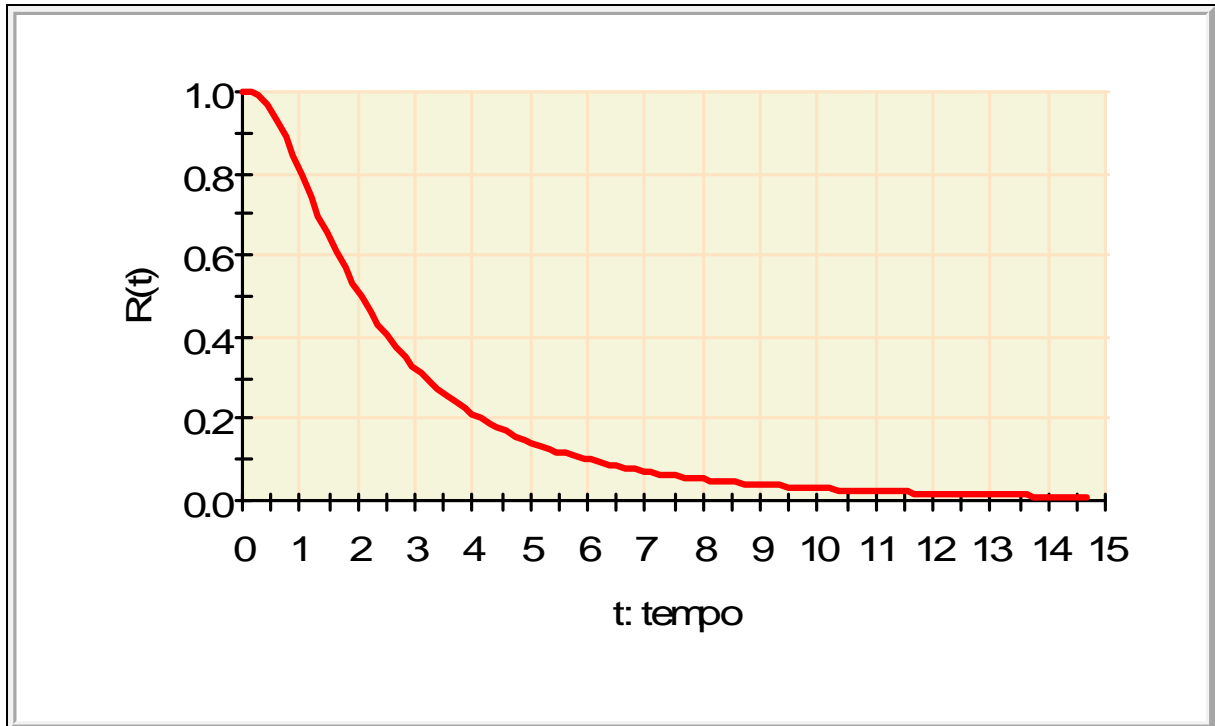


Figura 47: Função Manutenibilidade  
Fonte: *Software ProConf 98*

## APÊNDICE C

A Tabela 38 apresenta a amostra de valores de tempo para o reparo (TTR), em horas, para falha do Transferidor Lateral.

**Tabela 38**  
**Tempos para o reparo (TTR) para o Transferidor Lateral**

0,2	4,6	4,0	5,4	4,9	4,4	1,1	7,7	5,4	9,6
2,6	12,3	8,5	6,3	2,5	2,9	3,4	8,6	7,0	8,5
8,3	7,5	9,8	13,2	5,5	7,1	5,4	7,0	6,4	9,3
11,9	2,2	10,2	5,7	4,3	8,5	8,4			

Fonte: Relatórios de Quebra. Adaptado pelo autor

Abaixo, segue o papel de probabilidade Normal de tempo para o reparo para o equipamento Transferidor Lateral:

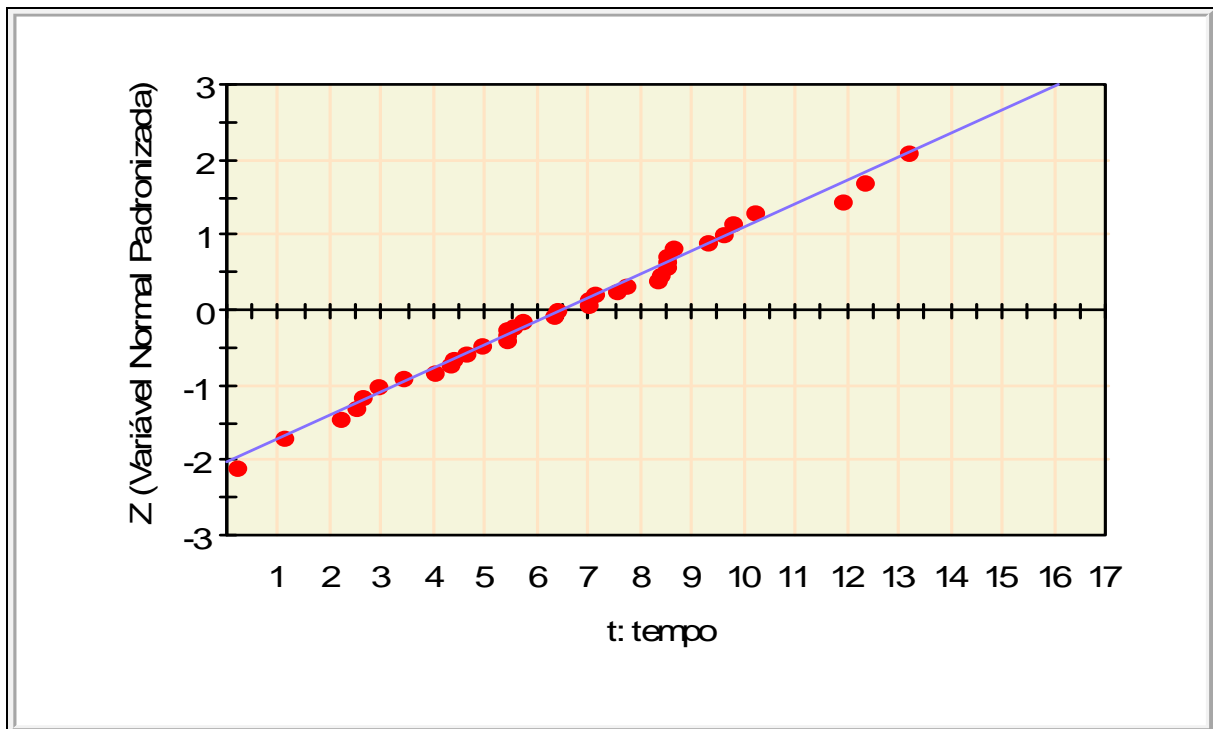


Figura 48: Papel de Probabilidade de Tempo para o Reparo

Fonte: Software ProConf 98

A partir da distribuição Normal obteve-se o tempo médio de 6,5027 para reparo, com desvio padrão de 3,093. A curva que representa a manutenibilidade é apresentada na Figura 49.

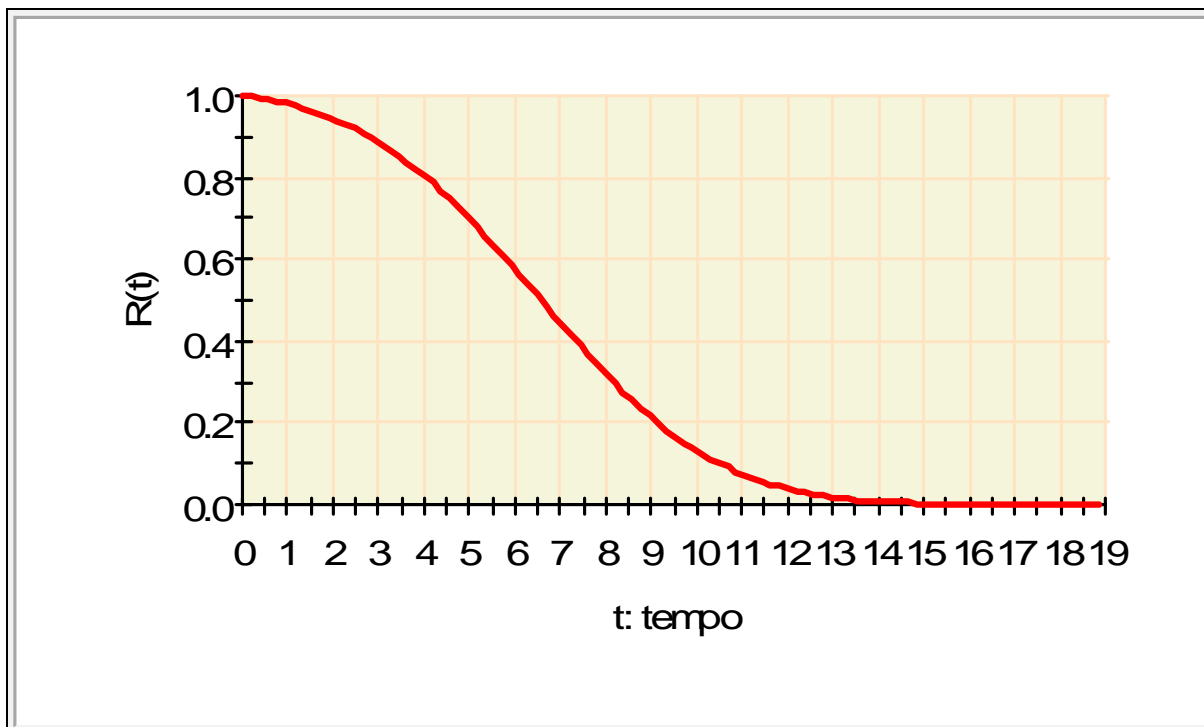


Figura 49: Função Manutenibilidade  
Fonte: Software ProConf 98

## APÊNDICE D

A Tabela 39 apresenta a amostra de valores de tempo para o reparo (TTR), em horas, para falha do Tanque de Lavagem.

**Tabela 39**  
**Tempos para o reparo (TTR) para o Tanque de Lavagem**

5,2	8,4	4,6	9,3	5,8	6,5	7,2	7,4	1,4	1,8
5,4	0,2	8,9	2,0	5,2	7,4	5,4	9,8	7,5	6,1
7,0	4,8	1,3	3,2	7,1	9,6	2,7	8,4	1,4	7,1
6,2	0,4	4,4	4,2	2,9	9,7	6,0	6,4	0,3	1,6
8,3	8,2	2,8	2,0	8,9	4,1	7,8	0,4	2,9	3,7
5,1	2,8	4,1	6,3	0,9					

Fonte: Relatórios de Quebra (adaptado pelo autor)

Abaixo segue o papel de probabilidade Normal para o tempo para reparo para o equipamento Tanque de Lavagem:

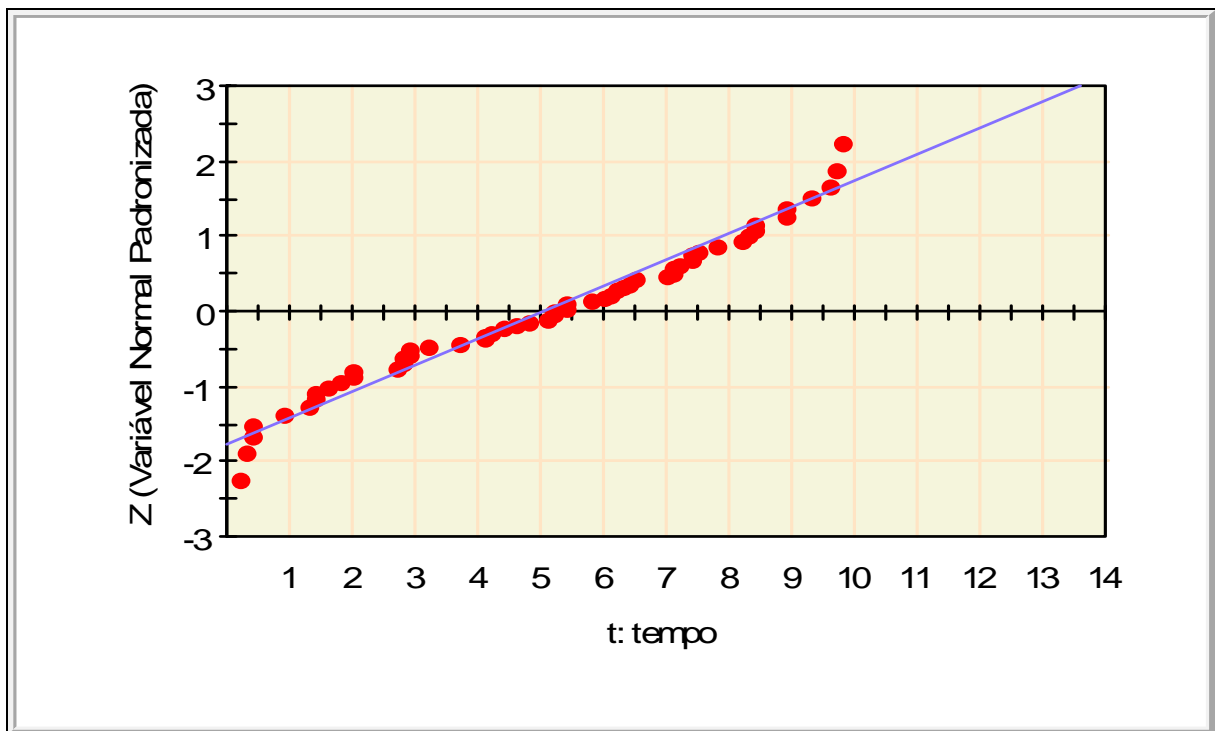


Figura 50: Papel de Probabilidade para Tempo para o Reparo  
Fonte: Software ProConf 98

A partir da distribuição Normal obteve-se o tempo médio de 5,0636 para reparo, com desvio padrão de 2,8163. A curva que representa a manutenibilidade é apresentada na Figura 51.

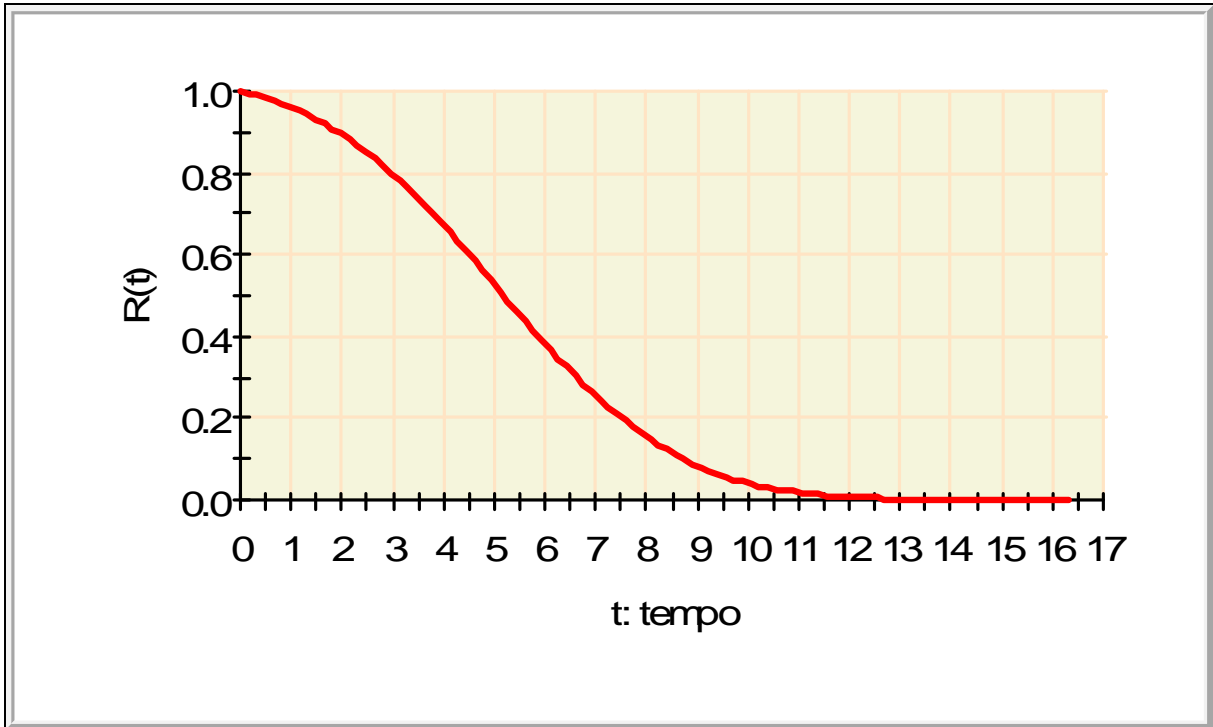


Figura 51: Função Manutenibilidade  
Fonte: Software ProConf 98

## APÊNDICE E

A Tabela 40 apresenta a amostra de valores de tempo para o reparo (TTR), em horas, para falha do Tanque de Cromagem.

**Tabela 40**  
**Tempos para o reparo (TTR) para o Tanque de Cromagem**

4,2	1,6	2,5	0,2	6,6	0,8	1,5	3,5	2,3	1,1
2,0	3,8	0,4	11,2	0,5	8,1	0,6	1,7	1,3	0,4
4,4	2,1	0,7	7,8	0,9	8,2	1,0	1,9	3,3	1,1
1,2	5,3	1,0	0,3	1,4	0,9	1,7	1,5	0,4	1,7
0,3	6,7	1,8	1,9	2,0	0,3	2,2	0,6	1,2	2,4
0,2	2,9	3,2	3,7	0,4	3,8	2,1	3,8	0,8	4,1
0,5	1,0	5,6	0,3	1,3	5,9	0,5	2,1	1,0	6,8
1,6	0,4	1,6	3,7	2,8					

Fonte: Relatórios de Quebra (adaptado pelo autor)

Abaixo segue o papel de probabilidade Lognormal para o tempo para reparo do equipamento Tanque de Cromagem:

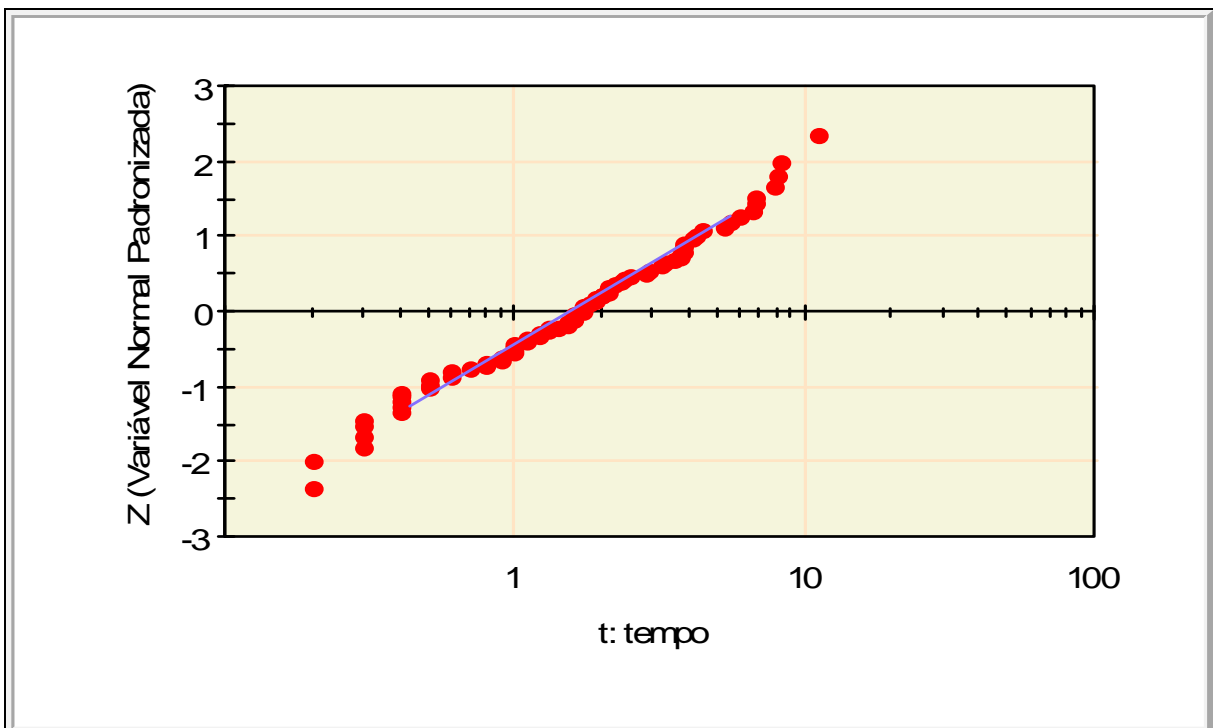


Figura 52: Papel de Probabilidade para Tempo para o Reparo

Fonte: Software ProConf 98



A partir da distribuição Lognormal, obteve-se o tempo médio de 2,5188 para reparo. A curva que representa a manutenibilidade é apresentada na Figura 53.

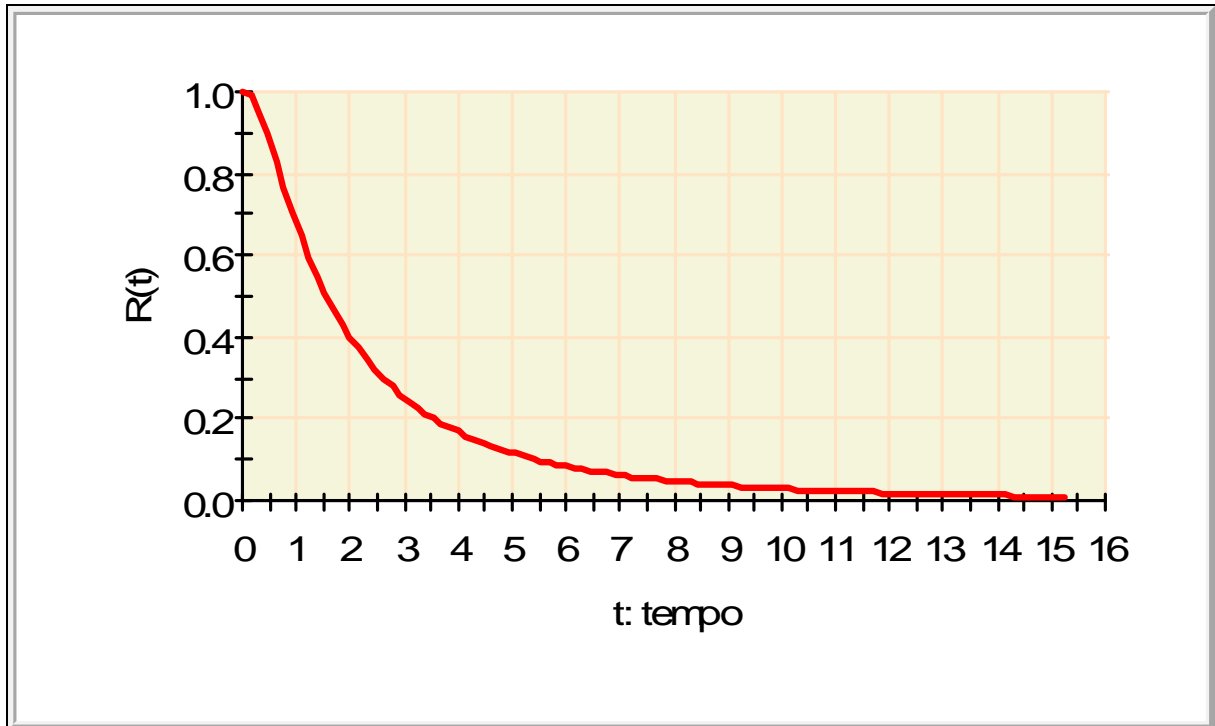


Figura 53: Função Manutenibilidade  
Fonte: *Software ProConf 98*