



**RICHARD TUVACEK**

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE CONFIABILIDADE PARA  
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA ESTUFA DE UM  
SISTEMA DE PINTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Automotiva (Mestrado  
Profissionalizante).

**CONSULTA  
FMP-21**

São Paulo

2002

04

**RICHARD TUVACEK**

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE CONFIABILIDADE PARA  
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA ESTUFA DE UM  
SISTEMA DE PINTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Automotiva (Mestrado  
Profissionalizante).

Área de Concentração:  
Engenharia Automotiva (Mestrado  
Profissionalizante).

Orientador:  
Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de  
Souza

São Paulo

2002

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza pela orientação segura, competente e criteriosa prestada na elaboração deste trabalho.

Aos meus pais, Jacob e Eliza, sogros Gilberto e Neusa, irmãs Lala e Haidê, cunhados Fernando, Silvio e Giba, cunhada Gilne, concunhado Carlos, além dos amigos Alex e Sandra pelo apoio direto, na forma de material de estudo, e indireto, na forma de incentivo.

À General Motors do Brasil nas pessoas dos seus Diretores, Gerentes e funcionários do departamento de Treinamento que viabilizaram esta minha formação acadêmica.

Aos colegas de trabalho, supervisores, coordenadores de time, funcionários do departamento de manutenção e secretários pela amizade e valiosa ajuda em diversas etapas deste trabalho.

## RESUMO

O presente trabalho preocupa-se em estudar uma linha de pintura empregada em uma planta de montagem de veículos automotores, mais especificamente a linha de pintura de componentes plásticos. No texto é apresentada a descrição da linha, sendo detalhados a função e modos de falha de cada estágio deste sistema, determinando-se o estágio crítico - a estufa de secagem de tinta, responsável pelas maiores perdas de eficiência do sistema. Nos equipamentos desta estufa aplica-se a ferramenta de Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA), a fim de avaliar-se os modos de falha de cada componente da estufa e as consequências destas falhas sobre o funcionamento da mesma, e estima-se o tempo médio entre falhas (MTTF) destes componentes, a partir dos dados levantados com o departamento de manutenção. Com os resultados obtidos aprofunda-se o estudo nos moto-redutores das linhas de entrada e saída e nos sensores de presença e aplicam-se técnicas de Confiabilidade para determinar o tempo médio até a falha, a taxa de falha e da própria confiabilidade para avaliar o desempenho destes componentes. Além da análise dos resultados estatísticos, o texto propõe melhorias na estufa, através de uma ação *Default* de reprojeto nos moto-redutores e o emprego de uma redundância ativa nos sensores de presença, que aumentarão a disponibilidade de trabalho destes equipamentos e conseqüentemente de todo o sistema de pintura.

## ABSTRACT

This work focuses on the study of a painting line used in a plant of assembly of auto machine vehicles, more specifically the painting line of plastic components. In the text the description of the line is presented, being detailed the function and failure modes of each stage of this system, determining the critical stage - the heater of drying of ink, responsible for the biggest losses of efficiency of the system. In the equipment of this heater is applied the Failure Mode and Effects Analysis tool (FMEA), in order to evaluate the failure modes of each component of the heater and the consequence of these failures on the operation of the same one, and is estimated the mean time between failure (MTTF) of these components, from the data obtained with the maintenance department. With the results, an in-depth study of motor-gearboxes of the entrance and exit lines and in the presence sensors is performed, and reliability techniques are applied, such as mean time to failure, failure frequency and reliability itself to evaluate these equipments performance. Beyond the analysis of the statistical results, the text proposes improvements in the heater, through a Default action of redesign in the motor-gearboxes and the uses of an active redundancy in the presence sensors that will increase the operational availability of these equipments and from the overall system.

## SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>História do Plástico</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>Plástico na Indústria Automobilística</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3</b>	<b>Pára-choques</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4</b>	<b>Reciclagem de Pára-choques Plásticos</b> .....	<b>5</b>
<b>1.5</b>	<b>Linha de Pintura de Pára-choques da empresa em estudo</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PINTURA DE PÁRA-CHOQUES</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Linha de carga</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Elevador da linha de lavagem</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>Mesa giratória de transferência (3)</b> .....	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Linha da cabine de lavagem e soprador</b> .....	<b>17</b>
<b>2.5</b>	<b>Linha de entrada da estufa de secagem de água</b> .....	<b>19</b>
<b>2.6</b>	<b>Mesa elevatória de transferência (6)</b> .....	<b>20</b>
<b>2.7</b>	<b>Linha de transferência (7)</b> .....	<b>21</b>
<b>2.8</b>	<b>Mesa elevatória de transferência (8)</b> .....	<b>22</b>
<b>2.9</b>	<b>Linha de saída da estufa de secagem de água</b> .....	<b>23</b>
<b>2.10</b>	<b>Linha do túnel de resfriamento (10)</b> .....	<b>24</b>

## ERRATA

PÁGINA	LINHA	ONDE SE LÊ	LEIA-SE
108	Eq. (4.1)	$\hat{\lambda}_{(t)} = (n_i - n_{i+1}) / (t_{i+1} - t_i) * n_i$	$\hat{\lambda}_{(t)} = (n_i - n_{i+1}) / [(t_{i+1} - t_i) * n_i]$
108	Eq. (4.2)	$\hat{f}_{(t)} = (n_i - n_{i+1}) / N * (t_{i+1} - t_i)$	$\hat{f}_{(t)} = (n_i - n_{i+1}) / [N * (t_{i+1} - t_i)]$



2.11	Linha da cabine de flamagem	25
2.12	Linha de transferência (12)	26
2.13	Mesa elevatória de transferência (13)	27
2.14	Linha de transferência (14)	28
2.15	Mesa elevatória de transferência (15)	29
2.16	Elevador de acesso às cabines de pintura	30
2.17	Linha de transferência (17)	31
2.18	Linha da cabine de <i>primer</i>	32
2.19	Mesa elevatória de transferência (19)	33
2.20	Linha de transferência (20)	34
2.21	Mesa elevatória de transferência (21)	35
2.22	Linha de transferência (22)	36
2.23	Mesa elevatória de transferência (23)	37
2.24	Linha de transferência (24)	38
2.25	Mesa elevatória de transferência (25)	39
2.26	Linha da cabine de base	40
2.27	Mesa elevatória de transferência (27)	41
2.28	Linha de transferência (28)	42
2.29	Mesa elevatória de transferência (29)	43
2.30	Linha de transferência (30)	44
2.31	Mesa elevatória de transferência (31)	45
2.32	Linha de transferência (32)	46
2.33	Mesa elevatória de transferência (33)	47
2.34	Linha da cabine de verniz	48

2.35	Elevador de saída das cabines .....	49
2.36	Linha de transferência (36) .....	51
2.37	Mesa elevatória de transferência (37) .....	51
2.38	Linha de transferência (38) .....	52
2.39	Elevador de acesso à estufa de secagem de tinta .....	53
2.40	Linha de entrada da estufa de secagem de tinta .....	55
2.41	Mesa elevatória de transferência (41) .....	56
2.42	Linha de transferência (42) .....	57
2.43	Mesa elevatória de transferência (43) .....	58
2.44	Linha de saída da estufa de secagem de tinta .....	59
2.45	Elevador de saída da estufa de secagem de tinta .....	60
2.46	Linha de transferência (46) .....	62
2.47	Mesa elevatória de transferência (47) .....	63
2.48	Linha de transferência (48) .....	64
2.49	Mesa elevatória de transferência (49) .....	65
2.50	Linha do túnel de resfriamento (50) .....	66
2.51	Linha da cabine do <i>finesse</i> .....	67
2.52	Linha de transferência (52) .....	68
2.53	Linha de descarga .....	69
2.54	Mesa giratória de transferência (54) .....	70
3	DETERMINAÇÃO DO ESTÁGIO CRÍTICO .....	72
4	ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DA ESTUFA DE SECAGEM DE TINTA .....	74
4.1	Considerações iniciais .....	74
4.2	Conceitos básicos de Confiabilidade .....	77

4.3	Estimativa do tempo médio até a falha (MTTF) dos componentes da estufa .....	82
4.4	Aplicação do FMEA .....	95
4.5	Caracterização estatística da Confiabilidade .....	107
4.5.1	Estimativa da taxa de falha .....	108
4.5.2	Estimativa da função densidade de probabilidade .....	108
4.5.3	Estimativa da Confiabilidade.....	109
4.5.4	Análise de Confiabilidade do moto-redutor da linha de entrada .	109
4.5.5	Análise de Confiabilidade do moto-redutor da linha de saída .	114
4.5.6	Análise de Confiabilidade dos sensores de presença .....	119
5	AÇÃO DEFAULT .....	124
6	REDUNDÂNCIA .....	126
7	PROPOSTA PARA ESTUDOS FUTUROS .....	131
8	CONCLUSÕES .....	132
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	134

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> – Exemplo dos primeiros pára-choques empregados na indústria automobilística .....	3
<b>Figura 1.2</b> – Exemplo de pára-choque injetado .....	4
<b>Figura 1.3</b> – Transportador (skid) de pára-choques da linha de pintura .....	6
<b>Figura 2.1</b> – Esquema do sistema de pintura de pára-choques .....	12
<b>Figura 2.2</b> – Vista geral da linha de carga .....	14
<b>Figura 2.3</b> – Sistema de travamento mecânico .....	14
<b>Figura 2.4</b> – Elevador da linha de lavagem .....	15
<b>Figura 2.5</b> – Trava de segurança .....	15
<b>Figura 2.6</b> – Mesa giratória de transferência (3) .....	17
<b>Figura 2.7</b> – Vistas gerais da linha de lavagem .....	18
<b>Figura 2.8</b> – Vista da entrada da estufa de secagem de água .....	19
<b>Figura 2.9</b> – Mesa elevatória de transferência (6) .....	20
<b>Figura 2.10</b> – Linha de transferência (7) .....	21
<b>Figura 2.11</b> – Mesa elevatória de transferência (8) .....	22
<b>Figura 2.12</b> – Linha de saída da estufa .....	23
<b>Figura 2.13</b> – <i>Skids</i> acumulados na linha do túnel de resfriamento .....	24
<b>Figura 2.14</b> – Linha da cabine do robô de flamagem .....	25
<b>Figura 2.15</b> – Linha de transferência (12) .....	26
<b>Figura 2.16</b> – Mesa elevatória de transferência (13) .....	27
<b>Figura 2.17</b> – Linha de transferência (14) .....	28
<b>Figura 2.18</b> – Mesa elevatória de transferência (15) .....	29
<b>Figura 2.19</b> – Elevador de entrada das cabines .....	30

<b>Figura 2.20 – Linha de transferência (17)</b> .....	32
<b>Figura 2.21 – Linha da cabine de <i>primer</i></b> .....	33
<b>Figura 2.22 – Mesa elevatória de transferência (19)</b> .....	34
<b>Figura 2.23 – Linha de transferência (20)</b> .....	35
<b>Figura 2.24 – Mesa elevatória de transferência (21)</b> .....	36
<b>Figura 2.25 – Linha de transferência (22)</b> .....	37
<b>Figura 2.26 – Mesa elevatória de transferência (23)</b> .....	38
<b>Figura 2.27 – Linha de transferência (24)</b> .....	39
<b>Figura 2.28 – Mesa elevatória de transferência (25)</b> .....	40
<b>Figura 2.29 – Linha da cabine de base</b> .....	41
<b>Figura 2.30 – Mesa elevatória de transferência (27)</b> .....	42
<b>Figura 2.31 – Linha de transferência (28)</b> .....	43
<b>Figura 2.32 – Mesa elevatória de transferência (29)</b> .....	44
<b>Figura 2.33 – Linha de transferência (30)</b> .....	45
<b>Figura 2.34 – Mesa elevatória de transferência (31)</b> .....	46
<b>Figura 2.35 – Linha de transferência (32)</b> .....	47
<b>Figura 2.36 – Mesa elevatória de transferência (33)</b> .....	48
<b>Figura 2.37 – Linha da cabine de verniz</b> .....	49
<b>Figura 2.38 – Elevador de saída das cabines</b> .....	50
<b>Figura 2.39 – Linha de transferência (36)</b> .....	51
<b>Figura 2.40 – Mesa elevatória de transferência (37)</b> .....	52
<b>Figura 2.41 – Vista da linha de transferência (38)</b> .....	53
<b>Figura 2.42 – Sistema de travamento mecânico</b> .....	53
<b>Figura 2.43 – Elevador de entrada da estufa</b> .....	54

<b>Figura 2.44</b> – Linha de entrada da estufa .....	55
<b>Figura 2.45</b> – <i>Stop</i> da linha de entrada da estufa .....	55
<b>Figura 2.46</b> – Mesa elevatória de transferência (41) .....	57
<b>Figura 2.47</b> – Linha de transferência (42) .....	58
<b>Figura 2.48</b> – Mesa elevatória de transferência (43) .....	59
<b>Figura 2.49</b> – Linha de saída da estufa .....	60
<b>Figura 2.50</b> – <i>Stop</i> da linha de saída da estufa .....	60
<b>Figura 2.51</b> – Elevador de saída da estufa .....	61
<b>Figura 2.52</b> – Linha de transferência (46) .....	62
<b>Figura 2.53</b> – Sistema de travamento mecânico .....	62
<b>Figura 2.54</b> – Mesa elevatória de transferência (47) .....	63
<b>Figura 2.55</b> – Linha de transferência (48) .....	64
<b>Figura 2.56</b> – Mesa elevatória de transferência (49) .....	65
<b>Figura 2.57</b> – Linha do túnel de resfriamento (50) .....	66
<b>Figura 2.58</b> – Linha do <i>finesse</i> .....	67
<b>Figura 2.59</b> – Linha de transferência (52) .....	68
<b>Figura 2.60</b> – Sistema de travamento mecânico .....	68
<b>Figura 2.61</b> – Linha de descarga .....	69
<b>Figura 2.62</b> – Sistema de travamento mecânico .....	69
<b>Figura 2.63</b> – Mesa giratória de transferência (54) .....	70
<b>Figura 4.1</b> – Diagrama representativo do <i>lay-out</i> da estufa de secagem de tinta .....	75
<b>Figura 4.2</b> – Função de Confiabilidade $R_{(t)}$ , Leitch .....	78
<b>Figura 4.3</b> – Representação da Curva da Banheira, Leitch .....	80
<b>Figura 4.4</b> – Moto-redutor linha de entrada .....	90

<b>Figura 4.5</b> – Moto-reductor linha de saída .....	90
<b>Figura 4.6</b> – Sensor de presença utilizado nas linhas de entrada e saída .	91
<b>Figura 4.7</b> – Sensor de presença utilizado nas mesas de transferência e <i>stops</i> .....	91
<b>Figura 4.8</b> – Variação temporal da Confiabilidade do moto-reductor da linha de entrada .....	112
<b>Figura 4.9</b> – Variação temporal da Confiabilidade do moto-reductor da linha de saída .....	117
<b>Figura 4.10</b> – Variação temporal da Confiabilidade dos sensores de presença .....	121
<b>Figura 5.1</b> – Moto-reductor da linha de entrada .....	124
<b>Figura 5.2</b> – Moto-reductor da linha de saída .....	124
<b>Figura 5.3</b> – Extensão do eixo pela parede da estufa (linha de entrada) .	125
<b>Figura 5.4</b> – Plataforma onde será posicionado o moto-reductor .....	125
<b>Figura 5.5</b> – Extensão do eixo pela parede da estufa (linha de saída) .	125
<b>Figura 5.6</b> – Local onde será posicionado o moto-reductor .....	125
<b>Figura 6.1</b> – Representação do sensor isolado .....	126
<b>Figura 6.2</b> – Representação dos sensores em paralelo .....	127
<b>Figura 6.3</b> – Comparativo da variação temporal da Confiabilidade dos sensores de presença .....	129
<b>Figura 6.4</b> – Instalação em paralelo de sensor na linha de entrada da estufa .....	130
<b>Figura 6.5</b> – Instalação em paralelo de sensor no <i>stop</i> mecânico .....	130
<b>Figura 7.1</b> – Confiabilidade de sistemas em série em função do número de componentes que o compõem ( <i>n</i> ) .....	131

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 4.1</b>	– Levantamento de ocorrência de falhas nos componentes da estufa .....	83
<b>Tabela 4.2</b>	– Número de ocorrência de falhas nos equipamentos da estufa de secagem de tinta .....	89
<b>Tabela 4.3</b>	– Análise de Modos e Efeitos de Falha da estufa .....	96
<b>Tabela 4.4</b>	– Número de falhas do moto-redutor da linha de entrada classificados em intervalo de tempo .....	110
<b>Tabela 4.5</b>	– Análise não-paramétrica com dados agrupados da Confiabilidade do moto-redutor da linha de entrada.....	111
<b>Tabela 4.6</b>	– Número de falhas do moto-redutor da linha de saída classificados em intervalo de tempo .....	115
<b>Tabela 4.7</b>	– Análise não-paramétrica com dados agrupados da Confiabilidade do moto-redutor da linha de saída .....	116
<b>Tabela 4.8</b>	– Número de falhas dos sensores de presença classificados em intervalo de tempo .....	119
<b>Tabela 4.9</b>	– Análise não-paramétrica com dados agrupados da Confiabilidade dos sensores de presença da estufa .....	120
<b>Tabela 6.1</b>	– Análise não-paramétrica com dados agrupados comparativa da Confiabilidade dos sensores de presença de forma isolada e em paralelo .....	128



## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 História do Plástico**

A história do plástico, segundo Cagliani (I), iniciou-se em 1860 quando Phelan Collander, um fabricante de bolas de bilhar norte-americano, ofereceu uma recompensa de 10 mil dólares a quem conseguisse produzir um substituto aceitável ao marfim natural. O cientista Wesley Hyatt, também norte-americano, não foi o ganhador do prêmio, mas seu produto, patenteado sob o nome de Celulóide, teve grande sucesso comercial sendo utilizado para fabricar desde placas dentárias até botões de camisa, apesar de ser inflamável e se deteriorar na exposição à luz.

Nas décadas seguintes apareceram de forma gradual mais tipos de plásticos, entre eles o PVC (policloreto de vinila), o poliestireno, o Teflon (politetrafluoretileno) e o Nylon ®, o primeiro plástico de engenharia de alto rendimento. Durante a Segunda Guerra Mundial, com a redução dos estoques de matérias-primas naturais, a indústria do plástico demonstrou ser uma fonte inesgotável de substitutos aceitáveis, tanto para produtos como o látex como para chapas metálicas.

Nos anos do pós-guerra o ritmo de descobrimentos na indústria do plástico se manteve elevado, com principal interesse nos plásticos técnicos como os policarbonatos, os acetatos e as poliamidas. Em 1953, o químico alemão Karl Ziegler inventou o polietileno e em 1954 o italiano Giulio Natta descobriu o polipropileno, que são os plásticos mais utilizados atualmente na indústria, principalmente na automobilística. Em 1963, estes dois cientistas compartilharam o Prêmio Nobel de Química por seus estudos a respeito dos polímeros.

### **1.2 Plástico na Indústria Automobilística**

Segundo o Instituto Nacional do Plástico - INP (II), a introdução do plástico na indústria automobilística, na década de 70, foi decorrente da crise do petróleo e da necessidade de se produzir veículos mais leves, a fim de reduzir o consumo de combustível, mas mantendo a qualidade final do produto. Hoje em dia, no entanto, além da questão econômica, o plástico passou a desempenhar papel imprescindível

na composição dos automóveis por outras razões. Ele possibilita *designs*<sup>(\*)</sup> modernos, redução de peso, aumento da segurança, redução de custos e do tempo de produção, além de ser imune à corrosão.

Estudo publicado pela Associação dos Fabricantes de Plásticos da Europa, divulgado na revista *British Plastics* (III), aponta que a média de aplicação do material por veículo chega a 110 kg. Em média, cada 100 kg de plástico, segundo o estudo em referência substituem de 200 a 300 kg de peso antes provenientes de outros materiais, reduzindo o consumo anual de combustível em 12 milhões de toneladas e a emissão de CO<sub>2</sub> em 30 milhões de toneladas, um grande benefício para toda população mundial. No Brasil, atualmente, cada veículo utiliza entre 60 e 90 kg de plástico, sendo 63% em equipamentos internos, 15% no corpo externo, 9% no motor, 8% no sistema elétrico e 5% no chassi. No final da década de 80, a média da aplicação de plástico nos carros nacionais era de apenas 30 kg.

Segundo o Instituto Nacional do Plástico (II) a aplicação de plásticos nos automóveis aumenta na mesma proporção do índice de satisfação de clientes e fabricantes com os resultados alcançados e vem conquistando novos mercados. Tanques de combustível e diversos componentes de motores de alguns veículos já estão sendo fabricados em plástico.

De pára-choques a painéis de porta, plásticos dão aos proprietários dos automóveis redução no consumo de combustível e permitem aos projetistas e engenheiros a liberdade de criar conceitos inovadores que nunca seriam possíveis com uso de outros materiais. Tradicionalmente ligas metálicas eram utilizadas na manufatura das partes externas dos automóveis. Entretanto, estas ligas eram, e ainda o são, facilmente suscetíveis a depressões ou ovalamentos, lascas e corrosão. Elas também são mais pesadas e têm maior custo do que os plásticos. Usando plásticos, as indústrias tiveram a possibilidade de adotar montagens modulares, diminuindo custos de produção, melhorando o gerenciamento de energia, alcançando melhor resistência a impactos e melhorando a aerodinâmica dos veículos. Dentre os componentes que

---

<sup>(\*)</sup> Neste texto o termo *design* significa o desenho (estilo) do veículo.

estão sendo fabricados com o emprego de materiais plásticos, pode-se citar as capas de espelhos retrovisores, maçanetas de portas, grades de ventilação, pára-lamas, molduras, caixas de bateria entre outros.

Engenheiros da indústria automobilística enfrentam muitas restrições quando projetam componentes metálicos. Baixo custo, produção em um único estágio de grandes partes do automóvel, como por exemplo os pára-choques, são quase impossíveis usando metais. Plásticos oferecem a estes engenheiros uma variedade de métodos com custos efetivos, e outras enormes vantagens, tais como a não necessidade de tratamentos superficiais para receber pintura e a capacidade de reciclagem, em relação aos materiais tradicionalmente utilizados na produção de automóveis, permitindo combinar vários e complexos componentes em uma peça única e integrada.

### 1.3 Pára-choques

Em 1925, os pára-choques dianteiros e traseiros passaram a ser um equipamento obrigatório em todos os veículos segundo, o *American Plastics Council* (IV). Estas simples vigas de metal presas à frente e traseira do veículo, tal como indicado na Figura 1.1, passaram a ser, ao longo do tempo, um complexo componente que integra a proteção do veículo em colisões a baixa velocidade, absorvendo impactos.



**Figura 1.1 – Exemplo dos primeiros pára-choques empregados na indústria automobilística.**

A concepção de pára-choques empregando materiais metálicos permaneceu em utilização até a década de 70, quando a indústria automobilística passou a empregar materiais plásticos na fabricação destes componentes. No Brasil o primeiro automóvel a utilizar pára-choques de plástico foi o Monza, lançado no mercado em 1982.

A maioria dos modernos pára-choques plásticos são feitos de olefinas termoplásticas, como polipropileno, poliestireno, policarbonatos, poliuretanos, poliamidas, ou uma mistura destes com, por exemplo, fibra de vidro, para aumentar a resistência e prover maior rigidez estrutural.

O uso de plásticos em pára-choques dá aos engenheiros uma grande liberdade de criação, tanto no projeto de novos veículos quanto na melhoria estética de veículos existentes (*face lift*). Plásticos podem ser usados de várias maneiras, por razões estéticas ou funcionais, sem afetar significativamente os custos de produção. Pára-choques plásticos contém reforços estruturais de materiais como o poliestireno expandido (isopor ®) que permitem a eles serem tão resistentes a impactos quanto os equivalentes metálicos, tendo ainda menor custo de reposição.

Os pára-choques plásticos são usualmente fabricados com emprego do processo de injeção, sendo obtidas peças únicas, reduzindo o tempo de fabricação da própria peça, além de facilitar a montagem da mesma no veículo. Um exemplo deste tipo de pára-choque é apresentado na Figura 1.2.



**Figura 1.2 – Exemplo de pára-choque injetado.**

#### 1.4 Reciclagem de Pára-choques Plásticos

Uma das grandes vantagens do uso de plástico em relação a outros materiais é a sua capacidade de reciclagem, permitindo as empresas a reutilização de materiais provenientes de peças rejeitadas (*scraps*) e com isto reduzindo os custos de fabricação. Os termoplásticos são resinas passíveis de reaproveitamento, que se fundem com o aquecimento e se solidificam com o resfriamento. Este processo ocorre normalmente nas próprias empresas, que reutilizam sobras e peças não conformes na chamada reciclagem primária, dosando certa quantidade pré-determinada deste material recuperado com a matéria-prima virgem, sem afetar as propriedades físicas do produto final.

Entre o final dos anos 70 e início dos anos 80 o uso de pára-choques plásticos pintados (*body-color*) começou a ganhar aceitação junto aos fabricantes de veículos. Esta inovação prejudicou a reaproveitamento dos pára-choques plásticos, já que estes não podem ser reciclados diretamente após a pintura. Embora existam processos para remover a camada de tinta da superfície das peças, a sua implementação, equipamentos, matérias-primas e mão de obra tornam economicamente inviável e obrigam as áreas de pintura de componentes plásticos a ter baixa rejeição, além de alta produtividade.

#### 1.5 Linha de Pintura de Pára-choques da empresa em estudo

Seguindo as tendências mundiais de uso de pára-choques plásticos pintados na cor dos veículos, em 1996 a empresa em estudo instalou um sistema de pintura de componentes plásticos. Hoje esta instalação alimenta exclusivamente uma planta de uma montadora de veículos, fornecendo de forma seqüenciada os pára-choques, molduras da caixa de roda e molduras da grade do radiador para todas as plataformas dos veículos produzidos na planta. Tem uma capacidade produtiva nominal de 57 *skids* <sup>(\*)</sup> por hora, sendo que cada *skid* carrega dois berços de pára-choques, um para o dianteiro e outro para o traseiro, tal como indicado na Figura 1.3, ou dois berços de

---

<sup>(\*)</sup> O termo *skid* representa o transportador usado no sistema de pintura.

molduras da caixa de roda (6 peças por berço). As molduras da grade do radiador são pintadas junto aos pára-choques dos modelos que as utilizam.



**Figura 1.3 – Transportador (*skid*) de pára-choques da linha de pintura.**

O sistema de pintura completo tem a capacidade máxima de acomodar 129 *skids* e um ciclo de 2,25 horas, isto é, um *skid* que tenha acabado de ser carregado com pára-choques estará no mesmo ponto da área de carga após 2 horas e 15 minutos, isto caso não ocorram paradas. Conforme descrito anteriormente as peças são carregadas no sistema de forma seqüencial correspondente aos veículos estruturados na área de funilaria (*body-shop*) que seguem para as cabines de pintura de carroçarias. Portanto não há estoque dos componentes pintados, embora a pintura dos veículos seja um processo complexo e, portanto mais demorado, com cerca de 12 horas desde a estruturação até a entrada na linha de montagem final, este “pulmão” de cerca de 10 horas não pode ser considerado como estoque, pois todas as peças ali contidas já estão comprometidas com os respectivos veículos.

A área é um fornecedor de conjuntos montados à linha de montagem final MVA<sup>(\*)</sup> e, portanto, deve seguir os padrões de qualidade que são exigidos dos fornecedores (QS-9000), além de atender na seqüência (cor, quantidade e modelo) o MVA. Qualquer falha, tanto uma não-conformidade de pintura como no fornecimento, representam uma parada total do MVA, pois a qualidade final do

---

<sup>(\*)</sup> O termo MVA representa montagem de veículos automotores.

veículo poderá ser afetada caso a montagem do componente seja realizada fora da estação (ponto de uso) determinada. Os custos de uma parada de linha, mesmo por poucos minutos, são muito elevados. Como fornecedores em um mercado globalizado, de livre e alta concorrência, existe a obrigação de propiciar lucros à empresa e não gerar custos não programados.

O atendimento às normas da QS-9000, além de outras medidas como *quality-gates*<sup>(\*)</sup>, garantem que o produto chegue ao cliente conforme especificações de qualidade. Assim como o treinamento e acompanhamento constante dos funcionários responsáveis pela programação (seqüenciação) garantem a produção do modelo correto, na quantidade e cor correta. Assim sendo, há reduzida possibilidade de ocorrer paradas de linha por estes motivos. O desafio então é fazer com que o bem físico (o sistema de pintura como um todo) atenda às funções para ele determinadas, na hora em que são necessárias. Paradas não programadas por quebras ou defeitos acumulam atrasos que podem prejudicar o abastecimento de peças. É neste ponto que, usando técnicas de Confiabilidade, monitoramento de condições, Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM) e Manutenção Produtiva Total (TPM), pode-se chegar à mais correta política de manutenção e alcançar os objetivos de eficiência (*up-time*) necessários.

Este sistema de pintura em foco é constituído de vários estágios, listados a seguir em uma seqüência lógica, sendo que a descrição de cada um dos mesmos é detalhada no Capítulo 2 deste texto:

- Linha de carga: onde as peças a serem pintadas são abastecidas e seqüenciadas.
- Máquina de lavar: subdividida em 3 sub-estágios, onde ocorre a limpeza da superfície das peças a serem pintadas.

---

(\*) Neste texto *quality-gates* significa as inspeções de qualidade realizadas por funcionários treinados nas diversas estações de montagem.

- Soprador de ar (*blow-off*): retira o excesso de água da superfície das peças.
- Estufa de secagem de água: evapora resíduos de água das peças.
- Túnel de resfriamento 1: reduz temperatura das peças para próximo estágio.
- Cabine de flamagem: tratamento superficial da peça a fim de promover aderência entre a tinta e o plástico.
- Zona de transferência 1: linha que direciona *skids* às cabines.
- Zona de desionização: neutraliza energia estática das peças.
- Cabine de *primer*: aplicado produto químico para garantir a aderência da tinta sobre o plástico.
- Zona de evaporação 1 (*flash-off 1*): liberação de solventes usados na aplicação anterior.
- Cabine de base (*base coat*): aplicada a base (tinta) na cor pré-determinada.
- Zona de evaporação 2 (*flash-off 2*): liberação de solventes usados na aplicação da base.
- Cabine de verniz (*clear coat*): aplicada a cobertura de verniz.
- Zona de evaporação 3 (*flash-off 3*): liberação de solventes usados na aplicação de verniz.



- Estufa de cura de tinta: ocorre a final e completa liberação dos solventes, a cura da pintura propriamente dita.
- Zona de transferência 2: encaminha os *skids* ao próximo estágio.
- Túnel de resfriamento 2: reduz a temperatura das peças para próximo estágio.
- Cabine de acabamento final (*finesse*): onde é feita a verificação da qualidade das peças e polimento.
- Zona de transferência 3: encaminha os *skids* ao último estágio.
- Linha de descarga: onde é feita a retirada das peças da linha.

Existem ainda as utilidades agregadas ao sistema como o compressor de ar, casa de ar, tratamento de efluentes (separação da borra da tinta), sistema de recirculação de água, bombas de recalque de tinta, robôs de flamagem entre outros, que também afetam a Confiabilidade do sistema, mas que não serão tratados neste estudo.

Nos capítulos a seguir será feita a descrição completa do sistema de pintura, focalizando estágio a estágio os componentes elétricos e principalmente mecânicos que afetam a Confiabilidade <sup>(\*)</sup> do sistema como um todo, descrevendo os principais modos de falha <sup>(\*\*)</sup> e chegando ao estágio ou sub-sistema que provoca as maiores perdas na eficiência (*down-time*). Prosseguindo, será aprofundado o estudo neste estágio crítico, analisando as consequências das falhas utilizando a ferramenta

---

<sup>(\*)</sup> Confiabilidade é a medida da habilidade de um produto operar com sucesso, quando solicitado por um período de tempo pré-determinado, e sob condições ambientais específicas. É medida como uma probabilidade. (European Organization for Quality Control – 1965)

<sup>(\*\*)</sup> Conforme Souza (V) modos de falha são os mecanismos que levam o componente a atingir o fim de sua vida útil, associadas às solicitações previstas em projeto e, por esta razão, dependentes de sua natureza (mecânica, elétrica, eletrônica, etc).

FMEA <sup>(\*)</sup> , estimando a Confiabilidade e a Taxa de Falhas dos principais componentes deste estágio, e sugerindo melhorias à manutenção a fim de evitar ou minimizar as paradas do sistema de pintura devido a falhas.

---

<sup>(\*)</sup> *Failure Modes and Effects Analysis* ou Análise dos Modos e Efeitos das Falhas.

## 2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PINTURA DE PÁRA-CHOQUES

Como mencionado anteriormente, o sistema de pintura de pára-choques é constituído de vários estágios. Estes podem ser considerados sub-sistemas, pois tem funcionamento independente uns dos outros, isto é, qualquer parada de um dos estágios, programada ou provocada por defeito, não afeta os outros estágios que continuam a funcionar normalmente. A parada total da linha de pintura apenas ocorre passados alguns minutos devido ao acúmulo (congestionamento) de *skids* na entrada do estágio parado. O tempo entre a parada de um dos estágios e a parada total da linha de pintura varia dependendo do estágio onde a parada ocorreu.

A seguir serão descritos mais detalhadamente todos os estágios do sistema, assim como as *interfaces* (mesas e linhas de transferência, elevadores) entre os estágios. Também será descrito os modos de falhas que interrompem o funcionamento de cada estágio.

A esquematização de todo o sistema de pintura pode ser observado na Figura 2.1, os estágios serão identificados no texto por um número entre parênteses seguindo a seqüência do esquema.

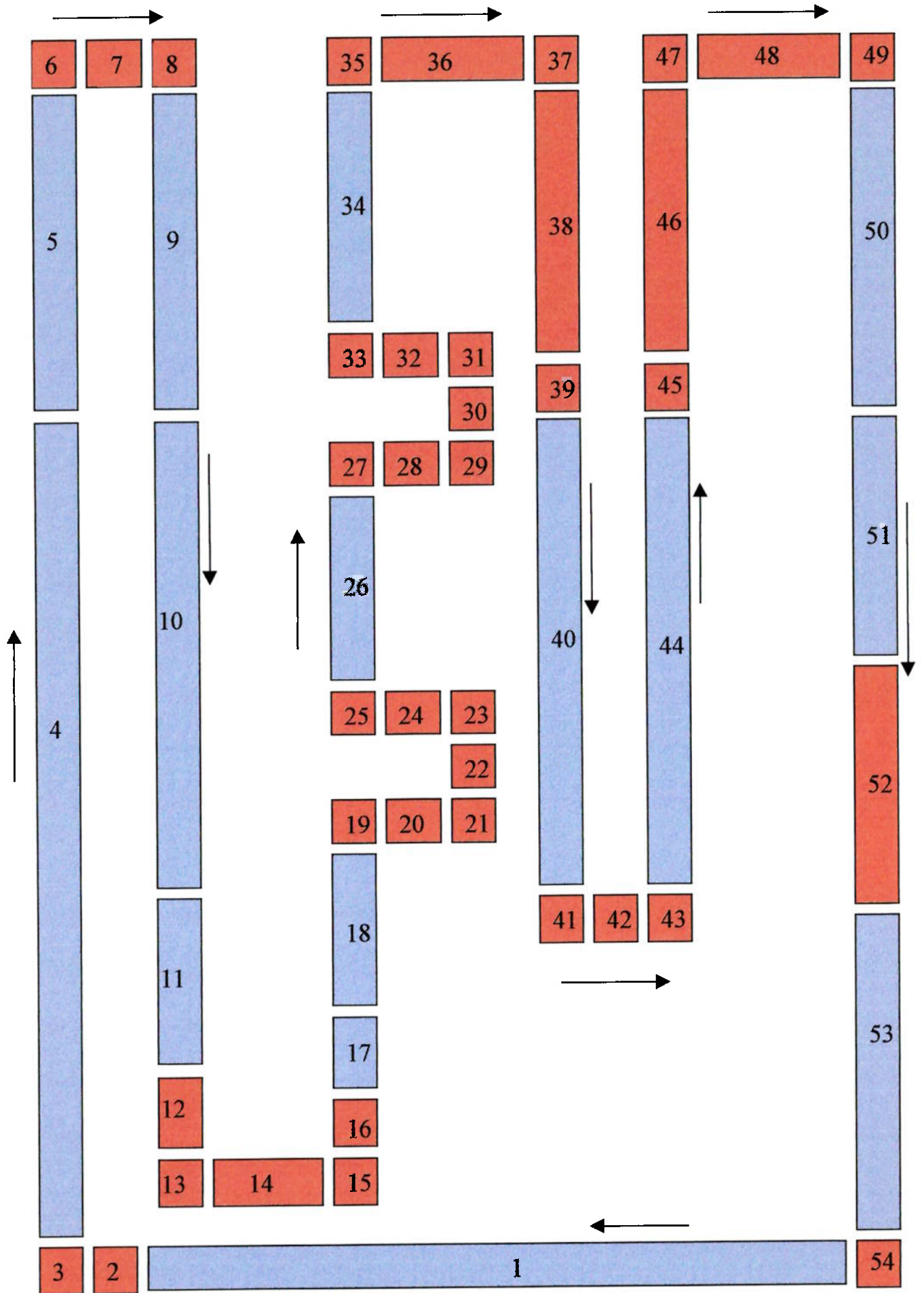


Figura 2.1 – Esquema do Sistema de Pintura de Pára-Choques.

**LEGENDA**

Linha de carga	1
Elevadores	2 – 16 – 35 – 39 – 45
Mesas giratórias de transferência	3 – 54
Mesas elevatórias de transferência	6 – 8 – 13 – 15 – 19 – 21 – 23 – 25 – 27 – 29 – 31 – 33 – 37 – 41 – 43 – 47 – 49
Linha da cabine de lavagem e soprador	4
Linha de entrada da estufa de secagem de água	5
Linhas de transferência	7 – 12 – 14 – 17 – 20 – 22 – 24 – 28 – 30 – 32 – 36 – 38 – 42 – 46 – 48 – 52
Linha de saída da estufa de secagem de água	9
Linha do túnel de resfriamento	10 – 50
Linha da cabine de flamagem	11
Linha da cabine de <i>primer</i>	18
Linha da cabine de base	26
Linha da cabine de verniz	34
Linha de entrada da estufa de secagem de tinta	40
Linha de saída da estufa de secagem de tinta	44
Linha da cabine de <i>finesse</i>	51
Linha de descarga	53

## 2.1 Linha de carga

Local onde ocorre o abastecimento de componentes a serem pintados e tem como função transportar os *skids* até o elevador (2). É uma linha de rolamento constante onde ocorre o acúmulo de *skids* para facilitar a operação de carga, tal como indicado na Figura 2.2. Os *skids* são transportados por duas correias com rolamentos tracionadas por um conjunto moto-redutor com rotação constante. A linha ainda possui um *stop*<sup>(\*)</sup> mecânico que promove o travamento dos *skids* na última posição antes da entrada no elevador e que libera apenas quando o elevador estiver posicionado na parte inferior e vazio. Este *stop* é movimentado por um moto-redutor que conta com um sensor de presença que atua no acionamento do *stop* quando o *skid* está na posição determinada, tal como mostrado na Figura 2.3.



Figura 2.2 – Vista geral da linha de carga.



Figura 2.3 – Sistema de travamento mecânico.

Os principais modos de falha observados durante a operação da linha são:

- Quebra de uma ou mais correias.
- Queima do motor de tracionamento das correias.
- Travamento do redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do mecanismo do *stop*.
- Queima do motor de movimentação do *stop*.

<sup>(\*)</sup> O termo *stop* refere-se ao sistema de travamento mecânico dos *skids* usado no sistema de pintura.



- Travamento do redutor de movimentação do *stop*.
- Queima do sensor de presença *stop*.
- Travamento do sistema de rolamento das correias.
- Queima do sensor de presença do estágio seguinte.

## 2.2 Elevador da linha de lavagem

A linha de lavagem está posicionada em um nível mais elevado do que a linha de carga, este elevador tem a função de erguer os *skids* até a posição de transferência à mesa giratória (3), tal como mostrado na Figura 2.4. O elevador é movimentado por um conjunto moto-redutor acoplado a engrenagens que acionam duas correias dentadas. Um outro moto-redutor movimenta roletes que literalmente “puxam” os *skids* da linha de carga e o “empurram” para a mesa giratória. Um sensor de presença comanda o recuo do *stop* do estágio anterior, a movimentação dos roletes e a liberação da operação do elevador quando o *skid* está corretamente posicionado sobre ele. Além de toda parte estrutural, este equipamento possui dois sistemas de travamento por contra peso que impedem o deslocamento do *skid* quando o elevador está em movimento, tal como mostrado na Figura 2.5. Embora estas travas não interrompam o funcionamento do elevador, em caso de defeito o reparo é feito imediatamente, pois a segurança dos operadores fica comprometida.



Figura 2.4 – Elevador da linha de lavagem.

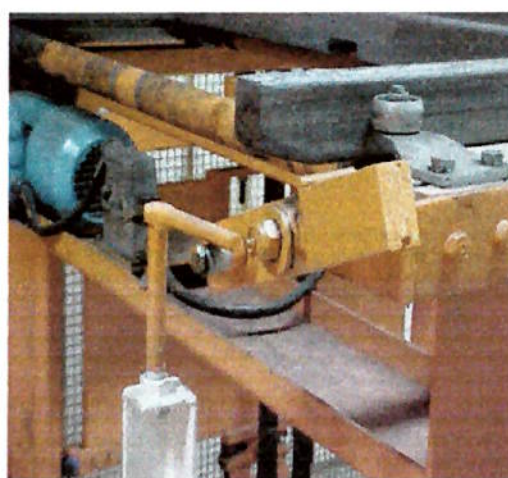


Figura 2.5 – Trava de segurança.

Os principais modos de falha deste sistema são:

- Quebra das correias dentadas.
- Queima do motor de movimentação do elevador.
- Travamento do redutor de movimentação do elevador.
- Quebra / travamento das engrenagens de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação do elevador.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento dos roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença.
- Quebra de parte da estrutura (corpo) do elevador.
- Quebra de uma das travas de segurança.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.3 Mesa giratória de transferência**

A função desta mesa é transferir os *skids* do elevador e posicioná-los, girando 90 graus, na entrada da linha da cabine de lavagem (4). Constituída de um moto-redutor acoplado a um rolamento que executa o giro da mesa, um moto-redutor que traciona os roletes que, similarmente ao elevador, movimentam os *skids*. Também similarmente ao elevador, há um sensor de presença que libera o giro da mesa e comanda a movimentação dos roletes do elevador e da própria mesa. Toda estrutura da mesa está posicionada sobre um rolamento central. Uma vista geral da mesa giratória é mostrada na Figura 2.6.





**Figura 2.6 – Mesa giratória de transferência.**

Neste sub-sistema verificam-se os seguintes modos de falha:

- Travamento do rolamento de giro da mesa.
- Queima do motor de giro da mesa.
- Travamento do redutor de giro da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de giro da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento dos roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Travamento do rolamento central.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

#### **2.4 Linha da cabine de lavagem e soprador**

A cabine de lavagem promove o tratamento da superfície dos componentes, preparando-os para a pintura. Constituída de 3 sub-estágios, sendo o primeiro de desengraxamento onde os componentes são pulverizados com uma mistura de água com um produto químico que reduz a tensão superficial, a quente (60° C). Já no segundo estágio os componentes são tratados com água limpa à temperatura ambiente, e no terceiro estágio com água desmineralizada (DI) também à

temperatura ambiente. Na seqüência os componentes passam por um soprador de ar que retira o excesso de água da superfície destes componentes. Na Figura 2.7 mostram-se fotografias da entrada e saída da linha de lavagem.

Os *skids* são transportados nestas operações por uma única linha de movimento não constante e rotação controlada. Isto é necessário para que não ocorra acúmulo de *skids* no interior da cabine, o que poderia prejudicar tanto a limpeza como a secagem da superfície dos componentes a serem pintados. A função desta linha é transportar *skids* pela lavagem e sopramento de ar, a velocidade controlada, até a entrada da estufa de secagem de água (5). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor. Há logo no início da linha um sensor de presença que indica que o *skid* está totalmente fora da mesa de transferência (estágio anterior), liberando esta mesa para o retorno à posição de carga.



a) entrada linha de lavagem.



b) saída linha de lavagem.

Figuras 2.7 – Vistas gerais da linha de lavagem.

Os principais modos de falha observados são:

- Quebra de uma ou mais correntes.
- Escape de uma ou mais correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.

- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

## 2.5 Linha de entrada da estufa de secagem de água

Neste estágio ocorre a evaporação de resíduos de água que permaneceram nos componentes mesmo após a passagem pelo soprador. A estufa de secagem trabalha com uma temperatura de 100°C e a linha tem, como no estágio anterior, movimento não constante e rotação controlada, para garantir secagem dos componentes. A função desta linha é transportar *skids*, a velocidade controlada, da entrada da estufa até a mesa de transferência (6). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor, possuindo logo no seu início um sensor de presença que indica que há um espaço vago na estufa, liberando a entrada de um outro *skid*. Na Figura 2.8 é mostrada uma vista da estufa de secagem de água.



**Figura 2.8 – Vista da entrada da estufa de secagem de água.**

Para este equipamento tem sido observado os seguintes modos de falha:

- Quebra de uma ou mais correntes.
- Escape de uma ou mais correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.

- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

## 2.6 Mesa elevatória de transferência

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha de entrada da estufa para a linha de transferência (7). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura elevada (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou baixa (para colocar *skid* sobre a linha do próximo estágio), tal como indicado na Figura 2.9. Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid*, a parada dos roletes e libera a movimentação da mesa.



Figura 2.9 – Mesa elevatória de transferência.

Os principais modos de falha da mesa elevatória de transferência são:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento dos roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.



- Queima do sensor de presença da próxima mesa de transferência (8).

## 2.7 Linha de transferência

Tem a função de movimentar *skids* da mesa de transferência do estágio anterior para a mesa do próximo estágio (8). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor que apenas atua quando o sensor de presença do estágio anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo estágio acusa que a mesa está vazia. A vista desta linha é indicada na Figura 2.10.



Figura 2.10 – Linha de transferência.

A linha de transferência tem apresentado os seguintes modos de falha:

- Quebra de uma ou mais correntes.
- Escape de uma ou mais correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.
- Queima do sensor de presença do estágio anterior.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

## 2.8 Mesa elevatória de transferência

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha de transferência para a linha de saída da estufa (9). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura baixa (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou elevada (para saída do *skid* para o próximo estágio). Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid* e libera a movimentação da mesa, tal como indicado na Figura 2.11.



Figura 2.11 – Mesa elevatória de transferência.

Os principais modos de falha observados são:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento dos roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

## 2.9 Linha de saída da estufa de secagem de água

Como na linha de entrada, possui movimento não constante e rotação controlada para garantir a completa evaporação de resíduos de água da superfície dos componentes. A função desta linha é transportar *skids*, a velocidade controlada, da mesa de transferência até a entrada da linha do túnel de resfriamento (10). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor, possuindo logo no seu início um sensor de presença que indica que há um espaço vago na linha, liberando a movimentação dos roletes do estágio anterior e com isso a entrada de um outro *skid*. A vista desta linha é indicada na Figura 2.12.



Figura 2.12 – Linha de saída da estufa.

Os principais modos de falha observados durante a operação da linha são:

- Quebra de uma ou mais correntes.
- Escape de uma ou mais correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

## 2.10 Linha do túnel de resfriamento

Tem a finalidade de reduzir a temperatura dos componentes a serem pintados para que a qualidade dos processos dos próximos estágios não seja afetada e de transportar *skids* até a entrada da linha da cabine de flamagem (11). É uma linha de rolamento constante onde ocorre o acúmulo de *skids* para aumentar o tempo de exposição ao insuflamento de ar, tal como indicado na Figura 2.13. Os *skids* são transportados por duas correias com rolamentos tracionadas por um conjunto moto-redutor com rotação constante. A linha ainda possui um *stop* mecânico que promove o travamento dos *skids* na última posição antes da entrada do próximo estágio. Este *stop* é movimentado por um moto-redutor que conta com um sensor de presença que atua no acionamento do *stop* quando o *skid* está na posição determinada.



**Figura 2.13 – *Skids* acumulados na linha do túnel de resfriamento.**

Nesta linha verificam-se os seguintes modos de falha:

- Quebra de uma ou mais correias.
- Queima do motor de tracionamento das correias.
- Travamento do redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do mecanismo do *stop*.
- Queima do motor de movimentação do *stop*.
- Travamento do redutor de movimentação do *stop*.



- Queima do sensor de presença do *stop*.
- Travamento do sistema de rolamento das correias.
- Queima do sensor de presença do estágio seguinte.

### 2.11 Linha da cabine de flamagem

Neste estágio os componentes a serem pintados passam por um processo térmico para oxidação superficial por meio de flamagem. A operação é realizada por dois robôs que flamam a superfície dos componentes com chamas a aproximadamente 800° C. Esta operação é necessária para que haja a aderência da tinta ao plástico. A função desta linha é transportar *skids* da saída do estágio anterior até a entrada da linha de transferência (12), parando em dois pontos pré-determinados para que o processo de flamagem ocorra. É uma linha de correntes de movimento não constante tracionada por um conjunto moto-redutor, possui dois *stops* mecânicos para posicionar *skids* na zona de atuação do robô de flamagem, movimentados por dois conjuntos de moto-redutores. Cada *stop* possui um sensor de presença que atua no acionamento do *stop* quando o *skid* está posicionado ou libera o *stop* do estágio anterior, permitindo o avanço de outro *skid*. Uma vista geral da linha da cabine de flamagem é mostrada na Figura 2.14.

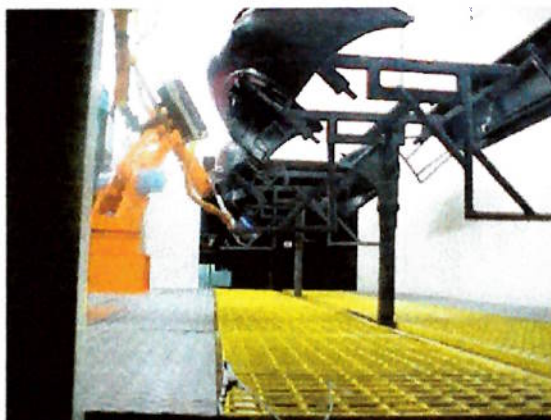


Figura 2.14 – Linha da cabine do robô de flamagem.

Os principais modos de falha observados durante a operação da linha são:

- Quebra de uma ou mais correntes.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do mecanismo de um dos *stops*.
- Queima do motor de movimentação de um dos *stops*.
- Travamento do redutor de movimentação de um dos *stops*.
- Queima do sensor de presença de um dos *stops*.
- Travamento do sistema de rolamento das correias.
- Queima do sensor de presença da próxima mesa de transferência (13).

## 2.12 Linha de transferência

Tem a função de movimentar *skids* do estágio anterior para a mesa de transferência (13) do próximo estágio. É uma linha de roletes tracionada por um conjunto moto-redutor que apenas atua quando o sensor de presença do estágio anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo estágio acusa que a mesa está vazia, tal como mostrado na Figura 2.15.



Figura 2.15 – Linha de transferência.

A linha de transferência tem apresentado os seguintes modos de falha:

- Travamento de um ou mais roletes.
- Queima do motor de tracionamento dos roletes.
- Travamento do redutor de tracionamento dos roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença do estágio anterior.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### 2.13 Mesa elevatória de transferência

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha do estágio anterior para a linha de transferência (14). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura elevada (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou baixa (para colocar *skid* sobre a linha do próximo estágio), tal como indicado na Figura 2.16. Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid*, a parada dos roletes e libera a movimentação da mesa.



Figura 2.16 – Mesa elevatória de transferência.

Os modos de falha observados nesta mesa são:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.

- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença da próxima mesa de transferência (15).

#### 2.14 Linha de transferência

Tem a função de movimentar *skids* da mesa de transferência do estágio anterior para a mesa do próximo estágio (15). É uma linha de correias sem rolamentos tracionada por um conjunto moto-redutor que apenas atua quando o sensor de presença do estágio anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo estágio acusa que a mesa está vazia. A vista geral desta linha pode ser observada na Figura 2.17.



Figura 2.17 – Linha de transferência.

A linha de transferência tem apresentado os seguintes modos de falha:

- Quebra de uma ou de ambas as correias.
- Escape de uma ou de ambas as correias da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correias.

- Travamento do redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correias.
- Travamento do sistema de rolamento das correias.
- Queima do sensor de presença do estágio anterior.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### 2.15 Mesa elevatória de transferência

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha de transferência para o elevador de acesso às cabines (16). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura baixa (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou elevada (para saída do *skid* para o próximo estágio), tal como mostrado na Figura 2.18. Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid* e libera a movimentação da mesa.



Figura 2.18 – Mesa elevatória de transferência.

Os seguintes modos de falha foram observados nesta mesa:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.



- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### 2.16 Elevador de acesso às cabines de pintura

As cabines de pintura estão no nível mais elevado de todo o sistema da pintura, este elevador tem a função de erguer os *skids* até a altura de transferência para a próxima linha (17). O elevador é movimentado por um conjunto de moto-redutor acoplado a engrenagens que acionam duas correias dentadas. Um outro moto-redutor movimenta roletes que carregam e descarregam os *skids*. Um sensor de presença comanda a movimentação dos roletes da mesa anterior, a movimentação dos roletes e a liberação da operação do elevador quando o *skid* está corretamente posicionado sobre ele. Além de toda parte estrutural, este equipamento possui dois sistemas de travamento por contra peso que impedem deslocamento do *skid* quando o elevador está em movimento. Embora estas travas não interrompam o funcionamento do elevador, em caso de defeito o reparo é feito imediatamente para evitar acidentes com danos materiais que provocariam paradas ainda maiores. Na Figura 2.19 é mostrada uma vista do elevador.



Figura 2.19 – Elevador de entrada das cabines.

Neste sistema verificam-se os seguintes modos de falha:

- Quebra de uma ou ambas as correias dentadas.
- Queima do motor de movimentação do elevador.
- Travamento do redutor de movimentação do elevador.
- Quebra / travamento de uma ou ambas engrenagens de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação do elevador.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença.
- Quebra de parte da estrutura (corpo) do elevador.
- Quebra de uma das travas de segurança.
- Queima do sensor de presença da linha da cabine de *primer* (18).

### 2.17 Linha de transferência

Tem a função de movimentar *skids* do estágio anterior para a linha da cabine de *primer* (18). Neste estágio ocorre também a desionização (neutralização da eletricidade estática) da superfície dos componentes a serem pintados para suprimir a aderência de pó. É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor que apenas atua quando o sensor de presença do estágio anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo estágio acusa espaço para entrada de outro *skid* na cabine. Uma vista desta linha pode ser observada na Figura 2.20.



**Figura 2.20 – Linha de transferência.**

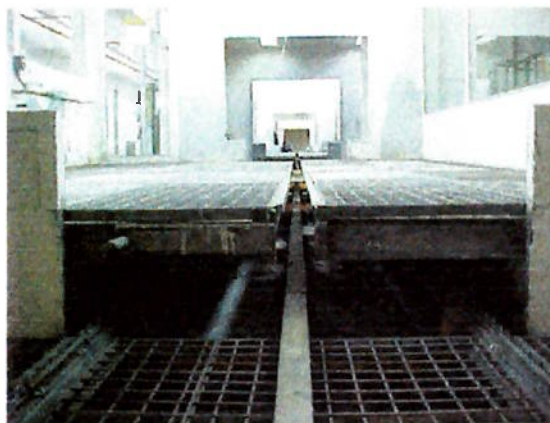
Os principais modos de falha observados são:

- Quebra de uma ou ambas correntes.
- Escape de uma ou ambas as correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.
- Queima do sensor de presença do estágio anterior.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.18 Linha da cabine de *primer***

Para garantir a aderência da tinta ao plástico, além do processo de flamagem é feita a aplicação de um produto químico denominado promotor de aderência. Como esta aplicação é feita manualmente, a linha tem movimento não constante e rotação controlada. A função desta linha é transportar *skids* pela cabine de *primer*, a velocidade controlada, até a mesa de transferência na cabine de evaporação (19). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor. Há logo no início da linha um sensor de presença que libera a entrada de outro *skid* na cabine, vindo do estágio anterior. A Figura 2.21 mostra uma vista desta linha.





**Figura 2.21 – Linha da cabine de *primer*.**

Os modos de falha observados nesta linha são:

- Quebra de uma ou ambas correntes.
- Escape de uma ou ambas as correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.19 Mesa elevatória de transferência**

Os componentes que passaram pela cabine de *primer* necessitam de um tempo de 6 a 8 minutos para que ocorra a evaporação do solvente usado na aplicação do promotor de aderência. Este processo ocorre neste e nos próximos seis estágios da chamada zona de evaporação (cabine de *flash-off* 1).

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha do estágio anterior para a linha de transferência (20). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura elevada (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou baixa (para colocar *skid* sobre a linha do próximo estágio), tal como mostrado na Figura 2.22. Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de

presença que comanda a entrada de outro *skid*, a parada dos roletes e libera a movimentação da mesa.



**Figura 2.22 – Mesa elevatória de transferência.**

Os principais modos de falha da mesa de transferência são:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença da próxima mesa de transferência (21).

## **2.20 Linha de transferência**

Tem a função de movimentar *skids* da mesa de transferência do estágio anterior para a mesa do próximo estágio (21). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor que apenas atua quando o sensor de presença do estágio anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo

estágio acusa que a mesa está vazia. Uma vista geral desta linha é mostrada na Figura 2.23.



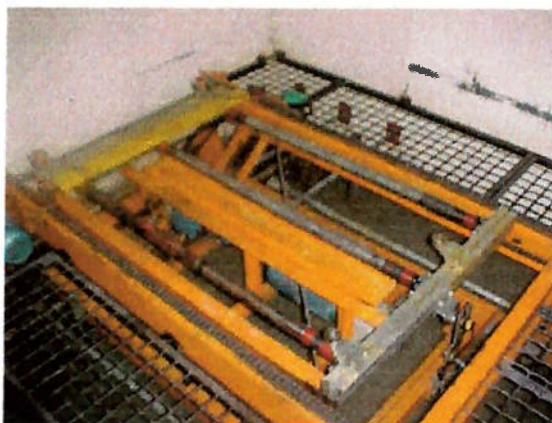
**Figura 2.23 – Linha de transferência.**

A linha de transferência tem apresentado os seguintes modos de falha:

- Quebra de uma ou ambas correntes.
- Escape de uma ou ambas as correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.
- Queima do sensor de presença do estágio anterior.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.21 Mesa elevatória de transferência**

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha do estágio anterior para a linha de transferência seguinte (22). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura baixa (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou elevada (para saída do *skid* para o próximo estágio). Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid* e libera a movimentação da mesa. Na Figura 2.24 mostra-se a mesa de transferência.



**Figura 2.24 – Mesa elevatória de transferência.**

Os modos de falha desta mesa de transferência são:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença da próxima mesa de transferência (23).

## **2.22 Linha de transferência**

Tem a função de movimentar *skids* da mesa de transferência do estágio anterior para a mesa do próximo estágio (23). É uma linha de roletes tracionada por um conjunto moto-redutor que apenas atua quando o sensor de presença do estágio anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo estágio acusa que a mesa está vazia. Na Figura 2.25 é mostrada uma vista da linha de transferência.

anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo estágio acusa que a mesa está vazia. Na Figura 2.25 é mostrada uma vista da linha de transferência.



**Figura 2.25 – Linha de transferência.**

Nesta linha verificam-se os seguintes modos de falha:

- Travamento de um ou mais roletes.
- Queima do motor de tracionamento dos roletes.
- Travamento do redutor de tracionamento dos roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das roletes.
- Queima do sensor de presença do estágio anterior.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.23 Mesa elevatória de transferência**

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha do estágio anterior para a linha de transferência seguinte (24). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura elevada (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou baixa (para colocar *skid* sobre a linha do próximo estágio), tal como indicado na Figura 2.26. Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid* e libera a movimentação da mesa.





**Figura 2.26 – Mesa elevatória de transferência.**

Os modos de falha da mesa de transferência são:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença da próxima mesa de transferência (25).

#### **2.24 Linha de transferência**

Tem a função de movimentar *skids* da mesa de transferência do estágio anterior para a mesa do próximo estágio (25). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor que apenas atua quando o sensor de presença do estágio anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo estágio acusa que a mesa está vazia. A vista desta linha é indicada na Figura 2.27.



**Figura 2.27 – Linha de transferência.**

Os principais modos de falha desta linha são:

- Quebra de uma ou ambas correntes.
- Escape de uma ou ambas as correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.
- Queima do sensor de presença do estágio anterior.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.25 Mesa elevatória de transferência**

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha do estágio anterior para a linha da cabine de base (26). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura baixa (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou elevada (para saída do *skid* para o próximo estágio), tal como mostrado na Figura 2.28. Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid* e libera a movimentação da mesa.



**Figura 2.28 – Mesa elevatória de transferência.**

Nesta mesa verificam-se os seguintes modos de falha:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.26 Linha da cabine de base**

Nesta cabine é feita a aplicação da base (tinta) conforme cor pré-determinada. A aplicação é feita manualmente, por este motivo a linha tem movimento não constante e rotação controlada. A função desta linha é transportar *skids* pela cabine de base, a velocidade controlada, até a mesa de transferência na cabine de evaporação (27). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor. Há logo no início da linha um sensor de presença que libera a entrada de outro *skid* na cabine, vindo do estágio anterior. Uma vista geral da linha é mostrada na Figura 2.29.





**Figura 2.29 – Linha da cabine de base.**

A linha da cabine de base tem apresentado os seguintes modos de falha:

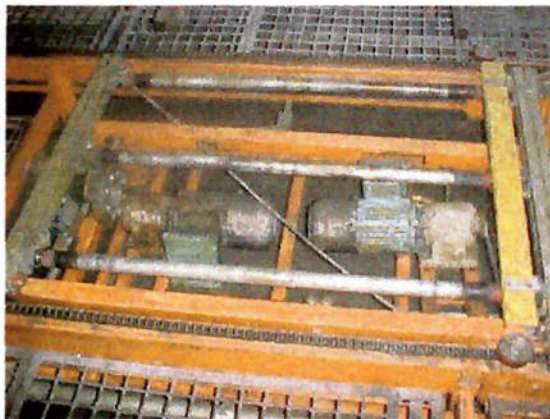
- Quebra de uma ou ambas correntes.
- Escape de uma ou ambas as correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.27 Mesa elevatória de transferência**

Os componentes que passaram pela cabine de base necessitam de um tempo de 6 a 8 minutos para que ocorra a evaporação dos solventes usados na aplicação da base. Este processo ocorre neste e nos próximos seis estágios da chamada zona de evaporação (cabine de *flash-off* 2).

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha do estágio anterior para a linha de transferência (28). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura elevada (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou baixa (para colocar *skid* sobre a linha do próximo estágio). Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de

outro *skid*, a parada dos roletes e libera a movimentação da mesa. Na Figura 2.30 mostra-se a mesa de transferência.



**Figura 2.30 – Mesa elevatória de transferência.**

Os modos de falha da mesa de transferência são:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença da próxima mesa de transferência (29).

### **2.28 Linha de transferência**

Tem a função de movimentar *skids* da mesa de transferência do estágio anterior para a mesa do próximo estágio (29). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor que apenas atua quando o sensor de presença do estágio anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo estágio acusa que a mesa está vazia. Na Figura 2.31 é mostrada uma vista da linha.



**Figura 2.31 – Linha de transferência.**

Os principais modos de falha desta linha são:

- Quebra de uma ou ambas correntes.
- Escape de uma ou ambas as correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.
- Queima do sensor de presença do estágio anterior.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.29 Mesa elevatória de transferência**

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha do estágio anterior para a linha de transferência seguinte (30). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura baixa (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou elevada (para saída do *skid* para o próximo estágio), tal como indicado na Figura 2.32. Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid* e libera a movimentação da mesa.



**Figura 2.32 – Mesa elevatória de transferência.**

Nesta mesa observam-se os seguintes modos de falha:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença da próxima mesa de transferência (31).

### **2.30 Linha de transferência**

Tem a função de movimentar *skids* da mesa de transferência do estágio anterior para a mesa do próximo estágio (31). É uma linha de roletes tracionada por um conjunto moto-redutor que apenas atua quando o sensor de presença do estágio anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo estágio acusa que a mesa está vazia. A vista desta linha é indicada na Figura 2.33.



**Figura 2.33 – Linha de transferência.**

A linha de transferência tem apresentado os seguintes modos de falha:

- Travamento de um ou mais roletes.
- Queima do motor de tracionamento dos roletes.
- Travamento do redutor de tracionamento dos roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença do estágio anterior.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.31 Mesa elevatória de transferência**

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha do estágio anterior para a linha de transferência seguinte (32). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura elevada (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou baixa (para colocar *skid* sobre a linha do próximo estágio), tal como mostrado na Figura 2.34. Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid* e libera a movimentação da mesa.





**Figura 2.34 – Mesa elevatória de transferência.**

Os modos de falha da mesa de transferência são:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença da próxima mesa de transferência (33).

### **2.32 Linha de transferência**

Tem a função de movimentar *skids* da mesa de transferência do estágio anterior para a mesa do próximo estágio (33). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor que apenas atua quando o sensor de presença do estágio anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo estágio acusa que a mesa está vazia. Uma vista geral da linha é mostrada na Figura 2.35.



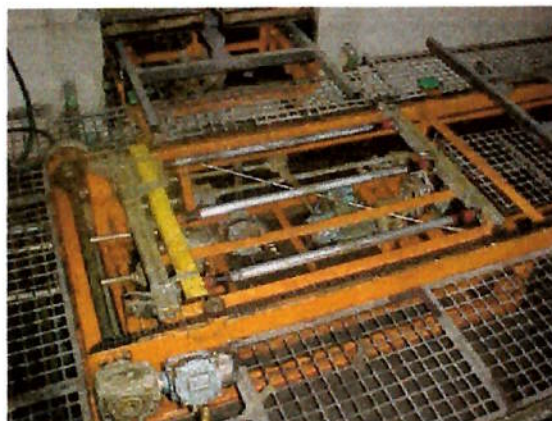
**Figura 2.35 – Linha de transferência.**

Os principais modos de falha desta linha são:

- Quebra de uma ou ambas correntes.
- Escape de uma ou ambas as correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.
- Queima do sensor de presença do estágio anterior.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.33 Mesa elevatória de transferência**

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha do estágio anterior para a linha da cabine de verniz (34). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura baixa (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou elevada (para saída do *skid* para o próximo estágio). Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid* e libera a movimentação da mesa. Na Figura 2.36 mostra-se a mesa de transferência.



**Figura 2.36 – Mesa elevatória de transferência.**

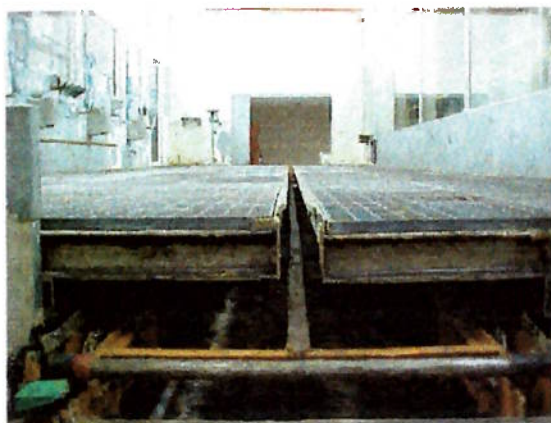
A mesa de transferência tem apresentado os seguintes modos de falha:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.34 Linha da cabine de verniz**

Nesta cabine é feita a aplicação do verniz (*clear-coat*). A aplicação é feita manualmente, devido a isto a linha tem movimento não constante e rotação controlada. A função desta linha é transportar *skids* pela cabine de verniz, à velocidade controlada, até o elevador de saída das cabines (35). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor. Há logo no início da linha um sensor de presença que libera a entrada de outro *skid* na cabine, vindo do estágio anterior. Na Figura 2.37 é mostrada uma vista geral da linha da cabine de aplicação de verniz.





**Figura 2.37 – Linha da cabine de verniz.**

Os modos de falha observados na linha são:

- Quebra de uma ou ambas correntes.
- Escape de uma ou ambas as correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.35 Elevador de saída das cabines**

Os componentes que passaram pela cabine de verniz necessitam de um tempo de 6 a 8 minutos para que ocorra uma pré-evaporação dos solventes usados na aplicação do verniz. Este processo ocorre neste e nos próximos três estágios da chamada zona de evaporação (cabine de *flash-off* 3).

Este elevador tem a função de baixar os *skids* até a altura de transferência para a próxima linha (36), tal como indicado na Figura 2.38. O elevador é movimentado por um conjunto de moto-redutor acoplado à engrenagens que acionam duas correias dentadas. Um outro moto-redutor movimenta roletes que carregam e descarregam os *skids*. Um sensor de presença comanda a movimentação dos roletes e a liberação da operação do elevador quando o *skid* está corretamente posicionado sobre ele. Além

de toda parte estrutural, este equipamento possui dois sistemas de travamento por contra peso que impedem deslocamento do *skid* quando o elevador está em movimento. Embora estas travas não interrompam o funcionamento do elevador, em caso de defeito o reparo é feito imediatamente para evitar acidentes com danos materiais que provocariam paradas ainda maiores.



**Figura 2.38 – Elevador de saída das cabines.**

Os principais modos de falha deste sub-sistema são:

- Quebra de uma ou ambas correias dentadas.
- Queima do motor de movimentação do elevador.
- Travamento do redutor de movimentação do elevador.
- Quebra / travamento das engrenagens de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação do elevador.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença.
- Quebra de parte da estrutura (corpo) do elevador.
- Quebra de uma das travas de segurança.
- Queima do sensor de presença da próxima mesa de transferência (37).

### 2.36 Linha de transferência

Tem a função de movimentar *skids* do elevador para a mesa do próximo estágio (37). É uma linha de correias tracionada por um conjunto moto-redutor que apenas atua quando o sensor de presença do estágio anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo estágio acusa que a mesa está vazia. A vista desta linha de transferência é indicada na Figura 2.39.



Figura 2.39 – Linha de transferência.

Nesta linha de transferência verificam-se os seguintes modos de falha:

- Quebra de uma ou de ambas as correias.
- Escape de uma ou de ambas as correias da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correias.
- Travamento do redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correias.
- Travamento do sistema de rolamento das correias.
- Queima do sensor de presença do estágio anterior.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### 2.37 Mesa elevatória de transferência

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha do estágio anterior para a linha de transferência seguinte (38). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à

plataforma da mesa que a posiciona na altura baixa (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou elevada (para saída do *skid* para o próximo estágio), tal como mostrado na Figura 2.40. Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid* e libera a movimentação da mesa.



**Figura 2.40 – Mesa elevatória de transferência.**

A mesa de transferência tem apresentado os seguintes modos de falha:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença do próximo elevador (39).

### **2.38 Linha de transferência**

Tem a função de movimentar *skids* da mesa de transferência do estágio anterior para a mesa do elevador (39). É uma linha de correias tracionada por um conjunto



moto-redutor, tal como mostrado na Figura 2.41. A linha ainda possui um *stop* mecânico que promove o travamento dos *skids* na última posição antes da entrada do próximo estágio. Este *stop* é movimentado por um moto-redutor que conta com um sensor de presença que atua no acionamento do *stop* quando o *skid* está na posição determinada. Uma vista deste *stop* é mostrada na Figura 2.42.

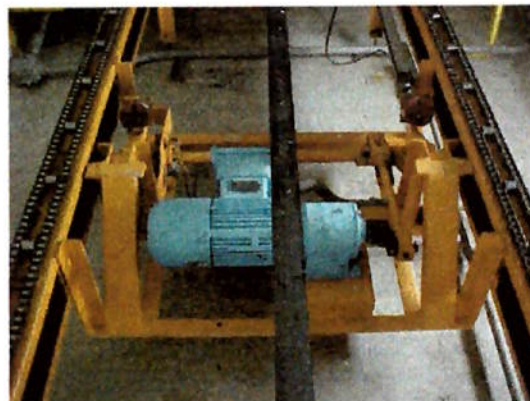


Figura 2.41 – Vista da linha de transferência.

Figura 2.42 – Sistema de travamento mecânico.

Os modos de falha desta linha de transferência são:

- Quebra de uma ou de ambas as correias.
- Queima do motor de tracionamento das correias.
- Travamento do redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do mecanismo do *stop*.
- Queima do motor de movimentação do *stop*.
- Travamento do redutor de movimentação do *stop*.
- Queima do sensor de presença do *stop*.
- Travamento do sistema de rolamento das correias.
- Queima do sensor de presença do estágio seguinte.

### 2.39 Elevador de acesso à estufa de secagem de tinta

Assim como as cabines de pintura, a estufa de secagem de tinta está em um nível mais elevado no sistema da pintura. Este elevador tem a função de erguer os *skids* até

a altura de transferência para a próxima linha (40). O elevador é movimentado por um conjunto de moto-redutor acoplado a engrenagens que acionam duas correias dentadas. Um outro moto-redutor movimenta roletes que carregam e descarregam os *skids*. Um sensor de presença comanda a liberação do *stop* da linha anterior, a movimentação dos roletes e a liberação da operação do elevador quando o *skid* está corretamente posicionado sobre ele. Além de toda parte estrutural, este equipamento possui dois sistemas de travamento por contra peso que impedem deslocamento do *skid* quando o elevador está em movimento. Embora estas travas não interrompam o funcionamento do elevador, em caso de defeito o reparo é feito imediatamente para evitar acidentes com danos materiais que provocariam paradas ainda maiores. Na Figura 2.43 mostra-se uma fotografia deste elevador.



**Figura 2.43 – Elevador de entrada da estufa.**

Os principais modos de falha deste elevador são:

- Quebra de uma ou ambas correias dentadas.
- Queima do motor de movimentação do elevador.
- Travamento do redutor de movimentação do elevador.
- Quebra / travamento das engrenagens de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação do elevador.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.

- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença.
- Quebra de parte da estrutura (corpo) do elevador.
- Quebra de uma das travas de segurança.
- Queima do sensor de presença da linha da estufa (40).

#### 2.40 Linha de entrada da estufa de secagem de tinta

Neste estágio ocorre a evaporação total dos solventes e a cura da tinta. Trabalha com uma temperatura entre 115 e 120°C. Tem movimento não constante e rotação controlada, para garantir a secagem da tinta. A função desta linha é transportar *skids*, a velocidade controlada, da entrada da estufa até a mesa de transferência (41). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor, possuindo logo no seu início um sensor de presença que indica que há um espaço vago na estufa, liberando a entrada de um outro *skid*, tal como indicado na Figura 2.44. A linha ainda possui um *stop* mecânico que promove o travamento dos *skids* na última posição antes da entrada do próximo estágio. Este *stop* é movimentado por um moto-redutor que conta com um sensor de presença que atua no acionamento do *stop* quando o *skid* está na posição determinada. Na Figura 2.45 é mostrada uma vista deste sistema de travamento mecânico.

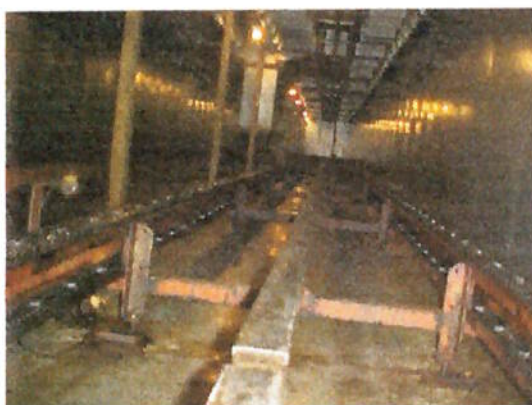


Figura 2.44 – Linha de entrada da estufa.



Figura 2.45 – Stop da linha de entrada da estufa.

Neste sub-sistema verificam-se os seguintes modos de falha:

- Quebra de uma ou ambas correntes.
- Escape de uma ou ambas as correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.
- Quebra do mecanismo do *stop*.
- Queima do motor de movimentação do *stop*.
- Travamento do redutor de movimentação do *stop*.
- Queima do sensor de presença do *stop*.
- Queima do sensor de presença do estágio seguinte.

#### **2.41 Mesa elevatória de transferência**

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha de entrada da estufa para a linha de transferência (42). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura elevada (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou baixa (para colocar *skid* sobre a linha do próximo estágio). Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid*, a parada dos roletes e libera a movimentação da mesa. A vista desta mesa é indicada na Figura 2.46.





**Figura 2.46 – Mesa elevatória de transferência.**

A mesa de transferência tem apresentado os seguintes modos de falha:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença da próxima mesa de transferência (43).

#### **2.42 Linha de transferência**

Tem a função de movimentar *skids* da mesa de transferência do estágio anterior para a mesa do próximo estágio (43). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor que apenas atua quando o sensor de presença do estágio anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo estágio acusa que a mesa está vazia, tal como mostrado na Figura 2.47.



**Figura 2.47 – Linha de transferência.**

Os modos de falha desta linha de transferência são:

- Quebra de uma ou ambas correntes.
- Escape de uma ou ambas as correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.
- Queima do sensor de presença do estágio anterior.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### **2.43 Mesa elevatória de transferência**

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha de transferência para a linha de saída da estufa (44). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura baixa (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou elevada (para saída do *skid* para o próximo estágio). Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid* e libera a movimentação da mesa. Uma vista geral desta mesa é mostrada na Figura 2.48.



**Figura 2.48 – Mesa elevatória de transferência.**

Os principais modos de falha desta mesa são:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

#### **2.44 Linha de saída da estufa de secagem de tinta**

Possui movimento não constante e rotação controlada para garantir a completa secagem da pintura dos componentes. A função desta linha é transportar *skids*, a velocidade controlada, da mesa de transferência até o elevador de saída da estufa (45). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor, possuindo logo no seu início um sensor de presença que indica que há um espaço vago na linha, liberando a movimentação dos roletes do estágio anterior e com isso a entrada de um outro *skid*, tal como indicado na Figura 2.49. A linha ainda possui um *stop* mecânico que promove o travamento dos *skids* na última posição antes da entrada do próximo

estágio. Este *stop* é movimentado por um moto-redutor que conta com um sensor de presença que atua no acionamento do *stop* quando o *skid* está na posição determinada. Na Figura 2.50 mostra-se este sistema de travamento mecânico.



Figura 2.49 – Linha de saída da estufa.



Figura 2.50 – Stop linha de saída da estufa.

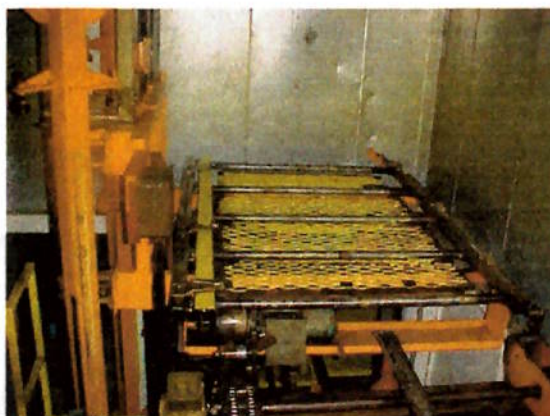
Neste sub-sistema verificam-se os seguintes modos de falha:

- Quebra de uma ou ambas correntes.
- Escape de uma ou ambas as correntes da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correntes.
- Travamento do redutor de tracionamento das correntes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correntes.
- Travamento do sistema de rolamento das correntes.
- Quebra do mecanismo do *stop*.
- Queima do motor de movimentação do *stop*.
- Travamento do redutor de movimentação do *stop*.
- Queima do sensor de presença do *stop*.
- Queima do sensor de presença do estágio seguinte.

#### 2.45 Elevador de saída da estufa de secagem de tinta

Este elevador tem a função de baixar os *skids* até a altura de transferência para a próxima linha (46). O elevador é movimentado pelo mesmo conjunto moto-redutor do elevador de acesso à estufa (trabalham em sincronismo em sentidos opostos). Um

outro moto-redutor movimentam roletes que carregam e descarregam os *skids*. Um sensor de presença comanda a liberação do *stop* da linha anterior, a movimentação dos roletes e a liberação da operação do elevador quando o *skid* está corretamente posicionado sobre ele. Além de toda parte estrutural, este equipamento possui dois sistemas de travamento por contra peso que impedem deslocamento do *skid* quando o elevador está em movimento. Embora estas travas não interrompam o funcionamento do elevador, em caso de defeito o reparo é feito imediatamente para evitar acidentes com danos materiais que provocariam paradas ainda maiores. Na Figura 2.51 é mostrada uma vista deste elevador.



**Figura 2.51 – Elevador de saída da estufa.**

Este elevador tem apresentado os seguintes modos de falha:

- Quebra de uma ou ambas correias dentadas.
- Queima do motor de movimentação do elevador.
- Travamento do redutor de movimentação do elevador.
- Quebra / travamento das engrenagens de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação do elevador.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença.



- Quebra de parte da estrutura (corpo) do elevador.
- Quebra de uma das travas de segurança.
- Queima do sensor de presença da linha de transferência (46).

#### 2.46 Linha de transferência

Tem a função de movimentar *skids* do elevador até a mesa do próximo estágio (47). É uma linha de correntes tracionada por um conjunto moto-redutor, tal como mostrado na Figura 2.52. A linha ainda possui um *stop* mecânico que promove o travamento dos *skids* na última posição antes da entrada do próximo estágio. Este *stop* é movimentado por um moto-redutor que conta com um sensor de presença que atua no acionamento do *stop* quando o *skid* está na posição determinada. A vista deste *stop* é indicada na Figura 2.53.



Figura 2.52 – Linha de transferência.



Figura 2.53 – Sistema de travamento mecânico.

Os modos de falha da linha de transferência são:

- Quebra de uma ou de ambas as correias.
- Queima do motor de tracionamento das correias.
- Travamento do redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do mecanismo do *stop*.
- Queima do motor de movimentação do *stop*.
- Travamento do redutor de movimentação do *stop*.

- Queima do sensor de presença do *stop*.
- Travamento do sistema de rolamento das correias.
- Queima do sensor de presença do estágio seguinte.

#### 2.47 Mesa elevatória de transferência

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha do estágio anterior para a linha de transferência (48). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura elevada (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou baixa (para colocar *skid* sobre a linha do próximo estágio). Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid*, a parada dos roletes e libera a movimentação da mesa. Uma vista geral da mesa é mostrada na Figura 2.54.



Figura 2.54 – Mesa elevatória de transferência.

Os principais modos de falha desta mesa são:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.

- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença da próxima mesa de transferência (49).

#### 2.48 Linha de transferência

Tem a função de movimentar *skids* da mesa de transferência do estágio anterior para a mesa do próximo estágio (49). É uma linha de correias tracionada por um conjunto moto-redutor que apenas atua quando o sensor de presença do estágio anterior mostra que há um *skid* posicionado e o sensor de presença do próximo estágio acusa que a mesa está vazia. Na Figura 2.55 mostra-se a linha de transferência.



Figura 2.55 – Linha de transferência.

Nesta linha verificam-se os seguintes modos de falha:

- Quebra de uma ou de ambas as correias.
- Escape de uma ou de ambas as correias da guia.
- Queima do motor de tracionamento das correias.
- Travamento do redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correias.
- Travamento do sistema de rolamento das correias.
- Queima do sensor de presença do estágio anterior.



- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

#### 2.49 Mesa elevatória de transferência

A função desta mesa é transferir o *skid* da linha de transferência para a linha do túnel de resfriamento (50). Constituída de um conjunto moto-redutor acoplado à plataforma da mesa que a posiciona na altura baixa (para entrada do *skid* do estágio anterior) ou elevada (para saída do *skid* para o próximo estágio). Possui ainda outro conjunto moto-redutor que traciona os roletes da mesa que movimentam os *skids*. Também há um sensor de presença que comanda a entrada de outro *skid* e libera a movimentação da mesa. Na Figura 2.56 é mostrada uma vista da mesa de transferência.



Figura 2.56 – Mesa elevatória de transferência.

A mesa de transferência tem apresentado os seguintes modos de falha:

- Queima do motor de movimentação da mesa.
- Travamento do redutor de movimentação da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de movimentação da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.

- Queima do sensor de presença da mesa.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.

### 2.50 Linha do túnel de resfriamento

Nesta linha ocorre, através de ventilação forçada, a queda da temperatura dos componentes pintados para que a operação de *finesse* possa ser realizada. A função desta linha é transportar *skids* da mesa do estágio anterior até a entrada da linha da cabine de *finesse* (51). É uma linha de rolamento não constante e rotação controlada. Os *skids* são transportados por duas correias tracionadas por um conjunto moto-redutor, tal como indicado na Figura 2.57. A linha ainda possui um sensor de presença que comanda a movimentação dos roletes do estágio anterior para entrada de outro *skid*.



Figura 2.57 – Linha do túnel de resfriamento.

Os modos de falha desta linha são:

- Quebra de uma ou de ambas as correias.
- Queima do motor de tracionamento das correias.
- Travamento do redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correias.
- Travamento do sistema de rolamento das correias.
- Queima do sensor de presença do estágio seguinte.

### 2.51 Linha da cabine do *finesse*

Na cabine de *finesse* é realizada a verificação da qualidade dos componentes pintados. As peças com não-conformidades de pintura são identificadas e encaminhadas para retrabalho, e as peças sem defeitos são liberadas para montagem. Também são executados nesta cabine, quando necessário, reparos de pequenos defeitos de pintura e polimento. A função desta linha é transportar *skids* da linha anterior até a entrada da linha de transferência (52). É uma linha de rolamento não constante e rotação controlada. Os *skids* são transportados por duas correias tracionadas por um conjunto moto-redutor. A linha ainda possui um sensor de presença que comanda a movimentação da linha do estágio anterior, liberando a entrada de *skids* de forma espaçada para que os funcionários possam executar a operação de *finesse*. A vista desta linha é indicada na Figura 2.58.



Figura 2.58 – Linha do *finesse*.

Os principais modos de falha desta linha são:

- Quebra de uma ou de ambas as correias.
- Queima do motor de tracionamento das correias.
- Travamento do redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correias.
- Travamento do sistema de rolamento das correias.
- Queima do sensor de presença do estágio seguinte.

## 2.52 Linha de transferência

Tem a função de movimentar *skids* da linha do estágio anterior para a linha de descarga. É uma linha de rolamento constante. Os *skids* são transportados por duas correias com rolamentos tracionadas por um conjunto moto-redutor com rotação constante, tal como mostrado na Figura 2.59. A linha ainda possui um *stop* mecânico que promove o travamento dos *skids* na última posição antes da entrada do próximo estágio. Este *stop* é movimentado por um moto-redutor que conta com um sensor de presença que atua no acionamento do *stop* quando o *skid* está na posição determinada. Uma vista deste *stop* é mostrada na Figura 2.60.



Figura 2.59 – Linha de transferência.



Figura 2.60 – Sistema de travamento mecânico.

Nesta linha verificam-se os seguintes modos de falha:

- Quebra de uma ou de ambas as correias.
- Queima do motor de tracionamento das correias.
- Travamento do redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do mecanismo do *stop*.
- Queima do motor de movimentação do *stop*.
- Travamento do redutor de movimentação do *stop*.
- Queima do sensor de presença do *stop*.
- Travamento do sistema de rolamento das correias.
- Queima do sensor de presença do estágio seguinte.



### 2.53 Linha de descarga

Local onde ocorre a retirada dos componentes pintados da linha. Tem como função transportar os *skids* da linha anterior até a mesa de transferência (54). É uma linha de rolamento constante onde ocorre o acúmulo de *skids* para facilitar a operação de descarga. Os *skids* são transportados por duas correias com rolamentos tracionadas por um conjunto moto-redutor com rotação constante, tal como indicado na Figura 2.61. A linha ainda possui um *stop* mecânico que promove o travamento dos *skids* na última posição antes da entrada no próximo estágio. Este *stop* é movimentado por um conjunto moto-redutor que conta com um sensor de presença que atua no acionamento do *stop* quando o *skid* está na posição determinada. Um outro sensor de presença comanda a liberação do *stop* do estágio anterior. Na Figura 2.62 mostra-se este sistema de travamento mecânico.



Figura 2.61 – Linha de descarga.



Figura 2.62 – Sistema de travamento mecânico.

A linha de descarga tem apresentado os seguintes modos de falha:

- Quebra de uma ou de ambas as correias.
- Queima do motor de tracionamento das correias.
- Travamento do redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento das correias.
- Quebra do mecanismo do *stop*.
- Queima do motor de movimentação do *stop*.
- Travamento do redutor de movimentação do *stop*.

- Queima do sensor de presença *stop*.
- Travamento do sistema de rolamento das correias.
- Queima do sensor de presença do estágio seguinte.

### 2.54 Mesa giratória de transferência

A função desta mesa é transferir os *skids* da linha de descarga e posicioná-los, girando 90 graus, na entrada da linha de carga (1). Constituída de um moto-redutor que acoplado a um rolamento executa o giro da mesa e outro moto-redutor que traciona os roletes que movimentam os *skids*. Há um sensor de presença que libera o giro da mesa, recuo do *stop* do estágio anterior e movimentação dos roletes. Toda estrutura da mesa está posicionada sobre um rolamento central. Na Figura 2.63 é mostrada uma vista da mesa.



Figura 2.63 – Mesa giratória de transferência.

Os principais modos de falha desta mesa são:

- Travamento do rolamento de giro da mesa.
- Queima do motor de giro da mesa.
- Travamento do redutor de giro da mesa.
- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de giro da mesa.
- Queima do motor de movimentação dos roletes.
- Travamento do redutor de movimentação dos roletes.
- Travamento de um ou mais roletes.

- Quebra do acoplamento do conjunto moto-redutor de tracionamento dos roletes.
- Queima do sensor de presença da mesa.
- Travamento do rolamento central.
- Queima do sensor de presença do próximo estágio.



### 3. DETERMINAÇÃO DO ESTÁGIO CRÍTICO

Embora os estágios e inter-relações entre os mesmos no sistema de pintura, tenham, como pôde ser observado nas descrições anteriores, modos de falha similares uns aos outros, a estufa de secagem de tinta é o ponto mais crítico em termos de manutenção. Qualquer modo de falha que ocorra neste estágio gera paradas muito mais extensas, em termos de tempo, do que o mesmo modo de falha em outro estágio. Isto devido à elevada temperatura de trabalho da estufa que necessita ser desligada e resfriada para permitir a entrada dos funcionários da manutenção. O tempo médio para que os manutentores tenham condições de adentrar a estufa, mesmo em condições não ideais, é superior à 1 hora, para então iniciar aos reparos. Além do tempo de espera para resfriamento, findo o reparo ainda há o tempo para reaquecimento da estufa superior a 15 minutos, para que o sistema de pintura volte a operar.

Manutenções no interior da estufa também afetam a qualidade da pintura dos componentes. Como a tinta ainda está em processo de cura, as peças que estão carregadas tendem a ser contaminadas por impurezas levadas pelos próprios funcionários da manutenção, aumentando a quantidade de retrabalhos de componentes.

Outro aspecto crítico da estufa é sua produtividade (*skids/hora*). Todos os outros estágios do sistema de pintura estão regulados para uma velocidade superior a 65 *skids/hora*, exceto a estufa de secagem de tinta que é regulada para 60 *skids/hora*. Mesmo pequenas paradas geradas por falhas na leitura dos sensores de presença prejudicam manter o objetivo de 57 *skids/hora* no sistema de pintura. Esta regulagem visa atender às especificações do fabricante das tintas, onde os componentes pintados devem ficar no mínimo 29 minutos sob aquecimento, sendo no mínimo 15 minutos acima de 90°C, para que ocorra a cura da tinta. Concluindo, a estufa de secagem de tinta constitui o gargalo do sistema de pintura como um todo.

Desta forma, para reduzir o tempo de parada da linha de pintura, deve-se dedicar especial atenção à estufa, visando o aumento da sua disponibilidade. Uma das formas que pode ser empregada para aumentar esta disponibilidade é o treinamento da equipe de manutenção, com o objetivo de reduzir o tempo despendido nas tarefas de manutenção corretiva.

Uma segunda forma de aumentar a disponibilidade da estufa é aumentar a sua Confiabilidade, ou seja, aumentar o tempo médio entre falhas da mesma. Este objetivo pode ser atingido pela execução de uma análise da Confiabilidade dos equipamentos que compõem a estufa, definindo os modos de falha dos mesmos e o tempo médio até a falha a eles associados. A partir desta análise pode-se definir as práticas de manutenção mais adequadas para cada componente, de forma a aumentar o tempo médio até a falha. Adicionalmente, visando a melhoria da Confiabilidade da estufa, a partir da análise das falhas dos componentes pode-se, em contato com os fabricantes dos mesmos, sugerir alterações que visem aumentar o tempo médio até a falha destes componentes.

A análise da Confiabilidade da estufa de secagem de tinta é apresentada no Capítulo 4 deste texto.

## 4. ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DA ESTUFA DE SECAGEM DE TINTA

### 4.1 Considerações iniciais

Resumidamente, a estufa de secagem de tinta é o ponto mais crítico em termos de manutenção devido a:

- tempo de resfriamento antes do reparo;
- manutentores expostos à condições insalubres e inseguras;
- tempo de reaquecimento para retorno de operação;
- queda nos níveis de qualidade;
- baixa produtividade.

Mesmo que os equipamentos elétricos e mecânicos instalados na estufa sejam específicos para trabalho em temperatura elevada, há uma tendência de que falhas ocorram com maior frequência em relação às aplicações de temperatura mais baixa. Estes equipamentos estão diariamente sujeitos a grandes variações de temperatura, já que ao final do turno de cada dia e nos finais de semana todo sistema é desligado. Estas variações de temperatura podem mostrar-se mais prejudiciais aos componentes do que a exposição constante à alta temperatura.

A estufa tem capacidade para 28 *skids* (13 na linha de entrada, 1 na mesa de transferência I, 1 na mesa de transferência II e 13 na linha de saída). Trabalha sempre com capacidade total para facilitar o controle do tempo de exposição versus temperatura. Na figura 4.1 é mostrada esquematicamente a distribuição dos equipamentos na estufa.

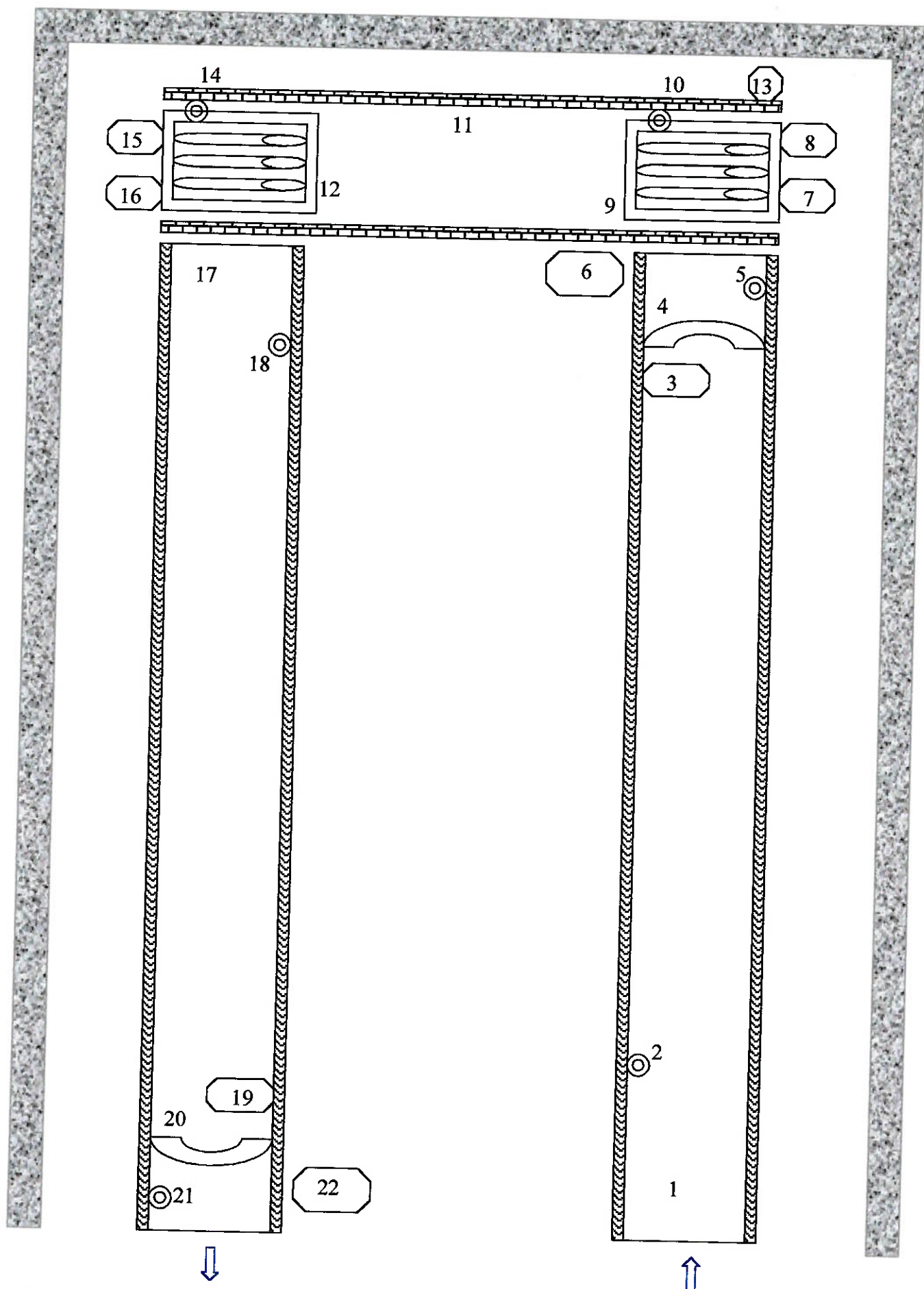


Figura 4.1 – Diagrama representativo do *lay-out* da estufa de secagem de tinta.

**LEGENDA**

- 01 linha de entrada
- 02 sensor de presença linha de entrada
- 03 moto-redutor *stop* I
- 04 *stop* I
- 05 sensor de presença *stop* I
- 06 moto-redutor linha de entrada
- 07 moto-redutor dos roletes mesa de transferência I
- 08 moto-redutor mesa de transferência I
- 09 mesa de transferência I
- 10 sensor de presença mesa de transferência I
- 11 linha de transferência
- 12 mesa de transferência II
- 13 moto-redutor linha de transferência
- 14 sensor de presença mesa de transferência II
- 15 moto-redutor dos roletes mesa de transferência II
- 16 moto-redutor mesa de transferência II
- 17 linha de saída
- 18 sensor de presença linha de saída
- 19 moto-redutor *stop* II
- 20 *stop* II
- 21 sensor de presença *stop* II
- 22 moto-redutor linha de saída

**Figura 4.1 – Diagrama representativo do *lay-out* da estufa de secagem de tinta.**

Desta representação podemos concluir que todos os equipamentos instalados estão em série e que, portanto, a falha funcional de um deles acarreta a parada de toda a estufa. Segundo Lewis (VI) a Confiabilidade de um sistema em série é menor do que a confiabilidade de cada um dos componentes do sistema isoladamente.

Visando a execução da análise de Confiabilidade da estufa, no item 4.2 são apresentados alguns conceitos associados com a análise de Confiabilidade, os quais são úteis para a execução da avaliação da Confiabilidade da estufa.

No item 4.3 é executada uma estimativa inicial do tempo médio até a falha dos componentes da estufa, buscando a definição dos componentes considerados críticos, sob o aspecto de apresentar reduzido tempo médio até a falha.

Nos itens 4.4 e 4.5 executa-se a análise de Confiabilidade da estufa, determinando os principais modos de falha dos componentes, a taxa de falha associada aos mesmos, bem como a consequência das falhas dos componentes sobre a estufa e sobre outros equipamentos localizados no interior desta.

#### **4.2 Conceitos básicos de Confiabilidade**

A Confiabilidade está associada à operação bem sucedida, com ausência de paradas para manutenção ou de falhas.

Para a análise de Engenharia é necessário definir a Confiabilidade como uma probabilidade. Assim, conforme Souza (V) conceitua-se Confiabilidade como sendo a probabilidade de um produto, sistema, máquina ou equipamento operar, dentro das especificações para as quais foi projetado e construído, por um período de tempo determinado.

A esta conceituação está diretamente ligada à definição clara de um critério de falha, o qual possibilita determinar a partir de qual momento o equipamento sob

análise é considerado com desempenho abaixo daquele considerado como aceitável, ou seja, a partir de que momento considera-se a ocorrência de falha.

Dentre as definições básicas de Confiabilidade, pode-se citar a da *European Organization for Quality Control* (1965), citada por Lewis (VI):

“A medida da habilidade de um produto operar com sucesso, quando solicitado, por um período de tempo pré-determinado, sob condições ambientais específicas. É medida como uma probabilidade”.

A função de Confiabilidade está mostrada na Figura 4.2.

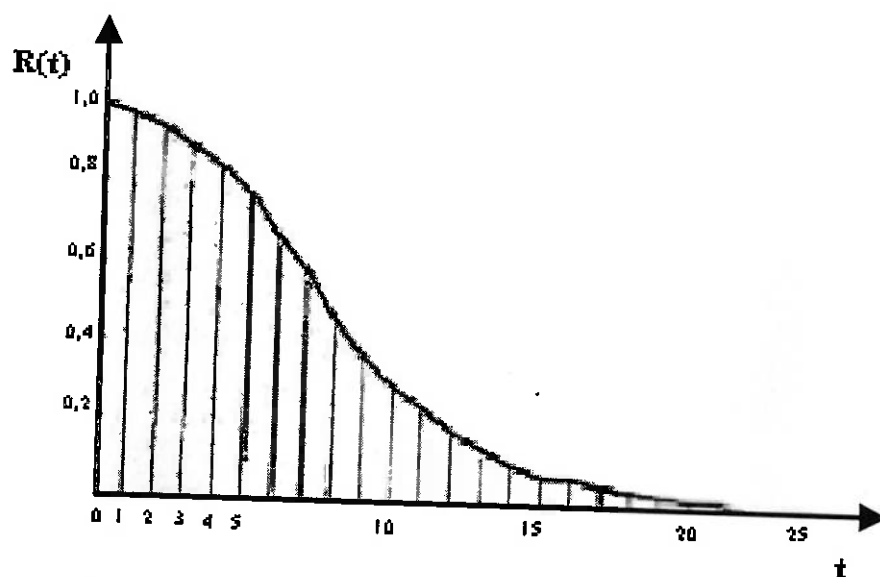


Figura 4.2 – Função de Confiabilidade  $R(t)$ , Leitch (VII).

Como decorrência da própria definição da função distribuição acumulada, tem-se:

$$R_{(t=0)} = 1 \quad (4.1)$$

$$R_{(t=\infty)} = 0 \quad (4.2)$$



A partir do gráfico apresentado na Figura 4.2 verifica-se, portanto, que a Confiabilidade de um produto ou sistema apenas decai ao longo do tempo, ou seja, quanto maior o tempo de operação do mesmo, maior será a probabilidade de apresentar falha. Portanto, apenas no instante em que o equipamento é colocado em operação, sua Confiabilidade é de 100%. Adicionalmente, pode-se afirmar que a Confiabilidade não é restaurada, ou seja, não dá saltos ao longo da vida operacional.

Assim, sob o ponto de vista do projeto baseado em Confiabilidade, a vida operacional do equipamento é definida quando o mesmo atinge um certo valor de Confiabilidade.

O comportamento de determinado produto com relação à falha é melhor compreendido pelo exame do comportamento de sua taxa de falha. Esta taxa de falha  $\lambda(t)$  pode ser definida em termos da própria Confiabilidade, como segue:

“Sendo  $\lambda(t) \Delta t$  a probabilidade de que o sistema falhará em um tempo  $t < t + \Delta t$ , dado que ainda não falhou até o tempo  $t = t$ , tem-se que  $\lambda(t) \Delta t$  é a probabilidade condicional:”

$$\lambda(t) \Delta t = P(t < t + \Delta t \mid t > t) \quad (4.3)$$

Assim, com base na definição de probabilidade condicional, tem-se:

$$P(t < t + \Delta t \mid t > t) = P\{(t > t) \cap (t < t + \Delta t)\} / P(t > t) \quad (4.4)$$

Como o numerador da equação (4.4) é a própria  $f(t) \Delta t$  e o denominador é a  $R(t)$ , vem:

$$\lambda(t) = f(t) / R(t) \quad (4.5)$$

ou seja,  $\lambda(t)$  expressa a taxa de falha instantânea.

Com:

$f(t)$  : Função densidade de probabilidade de falha;

$R(t)$  : Confiabilidade.

O comportamento da taxa de falha  $\lambda(t)$  em relação ao tempo  $t$  é indicador das causas de falha. A curva da banheira (*Bathtub Curve*), mostrada na Figura 4.3, representa graficamente esta relação para sistema sem redundância.

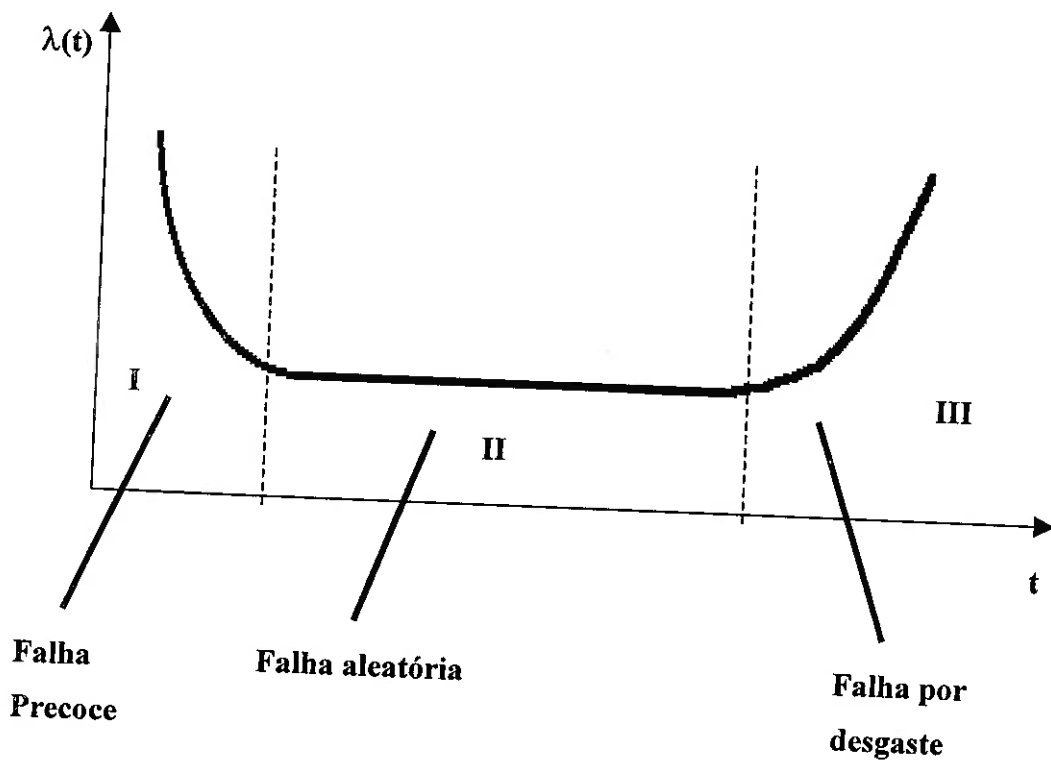


Figura 4.3 – Representação da Curva da Banheira, Leitch (VII).

O relativamente curto intervalo de tempo indicado por I na Figura 4.3 é uma região de altas taxas de falha, que decrescem a partir de  $t = 0$ . Esta região denomina-se de falhas precoces (*early failures*) ou ainda, em analogia com seres humanos, de mortalidade infantil. Sob este parâmetro de comparação, as mortes neste período são causadas por defeitos congênitos ou fraquezas, sendo que a taxa de mortalidade decresce com o tempo. Muitas vezes o problema da falha precoce é contornado

através da especificação de um período de tempo durante o qual o equipamento realiza um pré-teste. Durante este tempo o carregamento e utilização do produto ou equipamento são controlados de tal maneira que problemas são detectados e componentes são reparados.

Normalmente, as falhas precoces ou prematuras estão relacionadas com problemas de fabricação, montagem ou mesmo com o material empregado na fabricação do componente. Estes problemas não são usuais, ou seja, ocorrem esporadicamente, muitas vezes por alguma razão não específica. No caso da montagem, é bastante comum a falha estar relacionada a algum erro humano do montador.

A região intermediária da curva da banheira contém as mais aproximadamente constantes e menores taxas de falha, sendo preferencialmente o período de operação do produto ou equipamento. As falhas que ocorrem durante esta fase são denominadas falhas aleatórias e normalmente originam-se de carregamentos inevitáveis e inesperados, e menos comumente devido a defeitos inerentes ao equipamento em si. Fazendo-se uma analogia com a população humana, as mortes nesta parte da curva da banheira são devidas a acidentes ou doenças infecciosas. Nos equipamentos pode-se citar como exemplos de causas de falha na região II da curva da banheira: inundações, surtos de energia, vibrações, impactos mecânicos, flutuações de temperatura e de umidade, entre outras.

Na região III, mais à direita da curva da banheira, observa-se que a taxa de falha é crescente, cuja origem é o próprio desgaste do equipamento, na fase final de sua vida útil. Conforme Souza (V), nesta fase as falhas tendem a ter efeitos cumulativos tais como corrosão, trincas de fadiga, desgaste por atrito, dentre outros. O aumento muito rápido da taxa de falha normalmente fundamenta o critério de quando peças devem ser substituídas e também determina a vida útil do produto ou sistema.

### 4.3 Estimativa do tempo médio até a falha (MTTF) dos componentes da estufa

Conforme Moubray (VIII), MTTF (*mean time to failure*) é a média de tempo de utilização de um equipamento até que uma falha funcional ocorra que provoque sua parada. Conforme este conceito, a ocorrência de uma falha irá imobilizar o equipamento, não sendo consideradas neste estudo as falhas que podem reduzir o desempenho do mesmo em termos de capacidade de produção, as quais permitem a operação do equipamento, porém com capacidade inferior à desejada.

Neste estudo será utilizado o tempo médio até a falha (MTTF) para determinar dentre os equipamentos que compõem a estufa quais são os que apresentam menores tempos até a falha, isto é, apresentam o maior número de quebras por tempo de utilização, provocando a parada de todo o sistema da pintura.

Com os dados levantados com o departamento de manutenção, a Tabela 4.1 foi montada indicando, em um intervalo de operação de 66 meses, o número de vezes que cada componente da estufa de secagem de tinta apresentou falha, exigindo a parada da estufa e conseqüentemente de toda linha da pintura, a fim de executar-se uma ação de manutenção corretiva.

Tabela 4.1 – Levantamento de ocorrência de falhas nos componentes da estufa. Folha 01/05

	Moto- reductor I	Sensor presença linha I	Sensor presença stop I	Stop I	Sensor presença mesa I	Mesa I	Linha transfer.	Sensor presença mesa II	Mesa II	Moto- reductor II	Sensor presença linha II	Sensor presença stop II
09/96												
10/96												
11/96				X								
12/96												
01/97		X										
02/97						X						
03/97												
04/97										X		
05/97	X											
06/97					X							
07/97						X						
08/97												
09/97												X
10/97												

Tabela 4.1 – Levantamento de ocorrência de falhas nos componentes da estufa.

	Moto- reductor I	Sensor presença linha I	Sensor presença stop I	Stop I	Sensor presença mesa I	Mesa I	Linha transfêr.	Sensor presença mesa II	Mesa II	Moto- reductor II	Sensor presença linha II	Sensor presença stop II
11/97				X								
12/97	X											
01/98										X		
02/98												
03/98												
04/98									X			
05/98												
06/98												
07/98	X							X				
08/98												
09/98											X	
10/98										X		
11/98					X							
12/98		X							X			



Tabela 4.1 – Levantamento de ocorrência de falhas nos componentes da estufa.

Folha 03/05

	Moto- reductor I	Sensor presença linha I	Sensor presença stop I	Stop I	Sensor presença mesa I	Mesa I	Linha transfer.	Sensor presença mesa II	Mesa II	Moto- reductor II	Sensor presença linha II	Sensor presença stop II
01/99												X
02/99							X					
03/99			X									
04/99	X											
05/99						X						
06/99												
07/99												
08/99												X
09/99										X		
10/99	X											X
11/99												
12/99									X			
01/00												



Tabela 4.1 – Levantamento de ocorrência de falhas nos componentes da estufa.

	Moto- reductor I	Sensor presença linha I	Sensor presença stop I	Stop I	Sensor presença mesa I	Mesa I	Linha transfer.	Sensor presença mesa II	Mesa II	Moto- reductor II	Sensor presença linha II	Sensor presença stop II	
04/01													
05/01		X											
06/01				X									
07/01													
08/01										X			
09/01													
10/01	X												
11/01					X								
12/01													
01/02													
02/02										X			
Total	08	03	02	04	03	06	01	03	05	09	02	03	02

A partir dos dados do número de falhas de cada equipamento, pode-se estimar o tempo médio até a falha dos mesmos, aplicando a seguinte relação:

$$\hat{m}_x = (1/N) * t$$

Sendo:

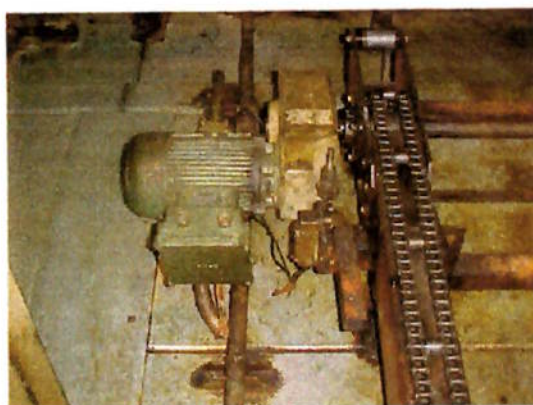
$\hat{m}_x$	.....	estimativa do tempo médio até a falha do equipamento;
N	.....	número de falhas no período de 66 meses de operação;
$t_i$	.....	período de tempo de operação, no caso 66 meses.

Na Tabela 4.2 é apresentada a estimativa do tempo médio até a falha dos equipamentos que compõe a estufa:

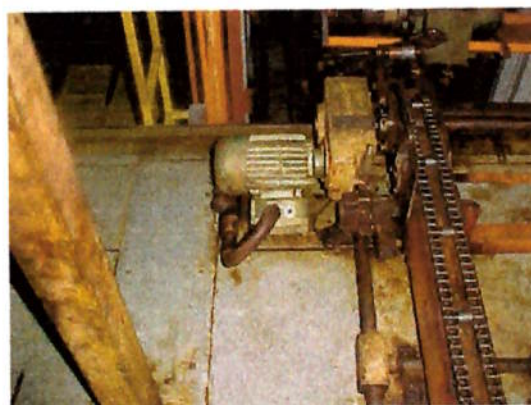
Tabela 4.2 – Número de ocorrência de falhas nos equipamentos da estufa de secagem de tinta.

<b>Equipamento</b>	<b>Número de falhas (em 66 meses)</b>	<b>Estimativa do tempo médio até a falha (meses)</b>
- moto-redutor linha de entrada	8	8,3
- sensor de presença linha de entrada	3	22,0
- sensor de presença <i>stop</i> I	2	33,0
- <i>stop</i> I	4	16,5
- sensor de presença mesa I	3	22,0
- mesa I	6	11,0
- linha de transferência	1	66,0
- sensor de presença mesa II	3	22,0
- mesa II	5	13,2
- moto-redutor linha de saída	9	7,4
- sensor de presença linha de saída	2	33,0
- sensor de presença <i>stop</i> II	3	22,0
- <i>stop</i> II	2	33,0

Dentre os equipamentos analisados, destacam-se como pelo reduzido tempo até a falha os moto-redutores das linhas de entrada e saída, que apresentam valores de tempo médio até a falha de 8,3 e 7,4 meses respectivamente, sendo indicados nas Figuras 4.4 e 4.5. Na seqüência verifica-se que a denominada mesa I apresenta um tempo médio até a falha de 11 meses, com magnitude cerca de 50% maior que o valor observado para os moto-redutores.

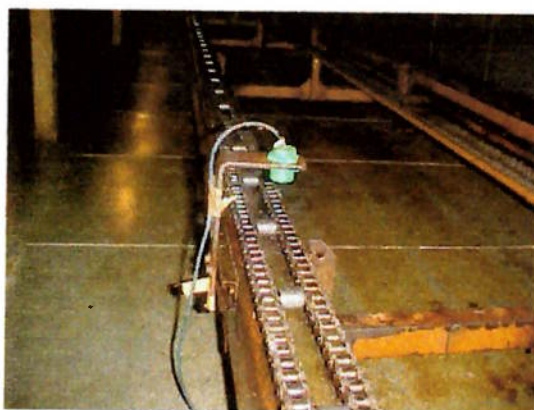


**Figura 4.4 – Moto-redutor linha de entrada.**



**Figura 4.5 – Moto-redutor linha de saída.**

No caso dos equipamentos eletrônicos, os sensores de presença na linha de entrada, na mesa I, na mesa II e no *stop* II apresentam um tempo médio até a falha de 22 meses, enquanto os sensores de presença no *stop* I e na linha de saída apresentam um tempo médio até a falha de 33 meses. Inicialmente deve-se ressaltar que os sensores, tal como qualquer componente eletrônico, apresentam uma taxa de falha constante ao longo do tempo e devem, se submetidos às mesmas condições ambientais de trabalho e com a mesma arquitetura de sistema eletrônico, incluindo o mesmo princípio de medição, apresentar valores do tempo médio até a falha muito similares. Para os sensores da estufa verifica-se uma discrepância de 50% entre os tempos médios até a falha observados, embora o maior número deles apresente um tempo até a falha de 24 meses. A discrepância entre os valores pode estar relacionada com o isoladamente reduzido número de falhas observadas no período (2 ou 3, dependendo do sensor) e mesmo com a condição ambiental à qual os sensores são submetidos ao longo de sua vida operacional. Estes sensores são mostrados nas Figuras 4.6 e 4.7.



**Figura 4.6 – Sensor de presença utilizado nas linhas de entrada e saída.**



**Figura 4.7 – Sensor de presença utilizado nas mesas de transferência e stops.**

De maneira genérica, observando-se os dados da Tabela 4.1, pode-se afirmar que a falha de componentes mecânicos ocorre com maior frequência do que a falha de componentes eletrônicos. Entretanto, embora de forma isolada o tempo médio entre falhas de cada sensor seja elevado em comparação ao observado para os moto-redutores, caso seja considerado o conjunto de sensores e o número total de falhas associados a eles (16) no período de 66 meses analisado neste estudo, obtém-se um tempo médio entre falhas de 4,1 meses para este conjunto de sensores, o qual é inferior ao tempo médio até a falha dos moto-redutores.

Considerando-se todas as falhas listadas na Tabela 4.1, ou seja, a somatória das falhas observadas em cada componente, obtém-se um total de 51 falhas na estufa. Considerando a ocorrência destas falhas de forma independente, ou seja, a ocorrência da falha de um componente não influencia a ocorrência de outra falha, e não simultâneas, tem-se que o tempo médio entre falhas da estufa é de 1,2 meses. Este reduzido tempo médio entre falhas é mais uma justificativa para buscar-se uma redução da ocorrência de falhas na estufa, de forma a aumentar a eficiência operacional da mesma.

Com o objetivo de aumentar a disponibilidade da estufa, procurar-se-á neste estudo analisar a Confiabilidade dos moto-redutores das linhas de entrada e saída, pois apresentam o mais baixo tempo médio entre falhas dos componentes da estufa, bem como dos sensores, pois embora individualmente estes não tenham um tempo



médio até a falha baixo, o conjunto de falha dos sensores pode reduzir sensivelmente o tempo médio entre falhas da estufa, o que certamente reduzirá a sua produtividade / disponibilidade.

Para a execução da análise de Confiabilidade empregam-se duas técnicas distintas: a Análise de Modos e Efeitos de Falha (do inglês *Failure Mode and Effects Analysis* – FMEA) e análise não paramétrica dos tempos entre falhas.

A técnica FMEA foi desenvolvida em 1949 na área militar Norte Americana, e segundo Capaldo, Guerrero e Rozenfeld (IX) é uma ferramenta que busca, em princípio, evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações preventivas de bloqueio, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo, buscando aumentar sua confiabilidade.

Este método, conforme Souza (V), é uma das técnicas mais importantes e mais empregadas para enumerar os possíveis modos de falha de um dado componente e, a partir das características de operação do sistema, definir as conseqüências de cada um destes modos de falha sobre a operação desse sistema como um todo. O método apresenta, basicamente, uma natureza qualitativa, embora algumas estimativas de probabilidade de falha possam ser obtidas desta análise.

As principais razões para se utilizar o método FMEA são:

- a) A análise fornece ao projetista informações sobre a estrutura do sistema e os principais fatores que influenciam a sua Confiabilidade;
- b) Definir componentes que influenciam a Confiabilidade do sistema como um todo, indicando uma direção para a adoção de ações corretivas no projeto e;
- c) Verificar componentes e sub-sistemas que devem receber atenção especial quando da montagem, fabricação ou manutenção.

Conforme Souza (V), a atividade civil que primeiro se beneficiou do FMEA foi a aeronáutica, pois seus requisitos de legislação, segurança, complexidade e sofisticação de seus produtos e – fator atualmente presente em quase todos os ramos da indústria – os altos valores envolvidos justificam esta acolhida. A partir da década de oitenta, a indústria passou a adotar maciçamente este método, muitas vezes como sinônimo de RCM <sup>(\*)</sup>.

Embora o FMEA manipule conceitos nem sempre usuais como taxas de falhas associadas a um modo de falha específico, sua execução pode ser simples, dependendo do sistema que se pretende analisar. Entretanto, sua execução é sempre laboriosa, embora seja possível a utilização de recursos computacionais.

Como método, o FMEA tem diretrizes gerais as quais norteiam sua elaboração. Desta forma é necessário refletir sobre cinco questões a respeito do sistema como base para a elaboração do FMEA:

- 1 – Como cada componente do sistema pode falhar (quais seus modos de falha) ?
- 2 – Quais os efeitos desta(s) falha(s) sobre o sistema ?
- 3 – Quão críticos são estes efeitos ?
- 4 – Como detectar a falha ?
- 5 – Quais as medidas contra estas falhas (evitar, prevenir a ocorrência das mesmas ou minimizar seus efeitos) ?

Da forma como foi apresentada, a ênfase da técnica do FMEA é definir as conseqüências de um dado modo de falha de um componente sobre a operação de um sistema. Além disso, esta ferramenta serve como um ponto de partida para enumerar e entender os possíveis mecanismos de falha do sistema, possibilitando uma melhor

---

<sup>(\*)</sup> RCM – Manutenção Centrada em Confiabilidade (do inglês *Reliability Centred Maintenance*).

compreensão da eventual progressão de um acidente, tendo em vista a falha do componente. Esta análise também fornece subsídios para definir a criticidade de alguns componentes sobre a segurança do sistema, indicando pontos onde há necessidade da utilização de componentes redundantes.

Com relação à análise não-paramétrica dos dados de falha de um componente, esta tem por objetivo, a partir dos tempos entre falhas observados ao longo da operação normal do mesmo, em um intervalo temporal de observação bem definido, a distribuição de probabilidade que caracteriza a Confiabilidade do elemento em estudo, bem como a variação temporal da taxa de falha do mesmo, permitindo a avaliação do tipo de mecanismo de falha associado com o modo de falha do elemento.

A execução desta análise, baseada em técnicas estatísticas, permite a caracterização estatística da Confiabilidade em termos numéricos, diferentemente da análise qualitativa que é obtida com a aplicação da técnica do FMEA.

#### 4.4 Aplicação do FMEA

O estudo da Confiabilidade da estufa de secagem de tinta será iniciado aplicando a técnica FMEA para identificar as conseqüências das falhas nos moto-redutores de tracionamento das linhas de entrada e saída e nos sensores de uma forma geral sobre a operação da estufa. As informações obtidas com a execução desta análise são úteis para classificar a gravidade da conseqüência de uma falha sobre a operação do sistema, indicando quais modos de falha devem ter preferencialmente sua ocorrência minimizada, quer seja pela ação de manutenção ou pelo reprojeto do sistema, a fim de aumentar a Confiabilidade deste sistema.

Neste trabalho, a aplicação da técnica FMEA, tal como indicado na Tabela 4.3, é baseada na execução de uma tabela, cujas colunas indicam o item em estudo, no caso um componente da estufa, a sua função e seus modos de falha, bem como a causa dos mesmos. Na continuidade da análise apresenta as conseqüências desta falha, sobre o sub-sistema que o componente faz parte, e também sobre a estufa.

Tabela 4.3 – Análise de Modos e Efeitos de Falha da estufa.

Folha 01/10

Ítem	Função	Modo de falha	Causa	Efeitos locais	Próximo nível	Observações
Motor do conjunto moto-redutor da linha de entrada.	Acionar redutor.	Não aciona.	Travamento do redutor.  Queima do motor.	Desarma térmico do motor, correntes da linha param.  Redutor para, correntes da linha param.	Não entram <i>skids</i> na estufa, acúmulo e parada de todo sistema.  Não entram <i>skids</i> na estufa, acúmulo e parada de todo sistema.	Linha de saída da estufa esvazia. Elevado tempo para reparo.  Linha de saída da estufa esvazia. Elevado tempo para reparo.
			Quebra do cabo de alimentação elétrica.	Motor não aciona redutor, correntes da linha param.	Não entram <i>skids</i> na estufa, acúmulo e parada de todo sistema.	Linha de saída da estufa esvazia. Elevado tempo para reparo.

Tabela 4.3 – Análise de Modos e Efeitos de Falha da estufa.

Folha 02/10

Ítem	Função	Modo de falha	Causa	Efeitos locais	Próximo nível	Observações
Redutor do conjunto moto-redutor da linha de entrada.	Tracionar correntes da linha.	Não traciona.	Travamento do redutor.  Queima do motor.	Desarma térmico do motor, correntes da linha param.  Redutor para, correntes da linha param.	Não entram <i>skids</i> na estufa, acúmulo e parada de todo sistema.  Não entram <i>skids</i> na estufa, acúmulo e parada de todo sistema.	Linha de saída da estufa esvazia. Elevado tempo para reparo.  Linha de saída da estufa esvazia. Elevado tempo para reparo.
			Quebra do acoplamento.	Tração não é transmitida para as correntes.	Não entram <i>skids</i> na estufa, acúmulo e parada de todo sistema.	Linha de saída da estufa esvazia. Elevado tempo para reparo.

Tabela 4.3 – Análise de Modos e Efeitos de Falha da estufa.

Folha 03/10

Ítem	Função	Modo de falha	Causa	Efeitos locais	Próximo nível	Observações
Sensor de presença da linha de entrada.	Acusar presença de <i>skid</i> .	Não acusa presença de <i>skid</i> posicionado.	Queima do sensor.	Elevador de entrada não desce.	Não entram <i>skids</i> na estufa, acúmulo e parada de todo sistema.	Estufa esvazia.
		Acusa presença de <i>skid</i> não posicionado.	Queima do sensor.	Não libera entrada de <i>skids</i> no elevador.	Não entram <i>skids</i> na estufa, acúmulo e parada de todo sistema.	Estufa esvazia. Podem ocorrer acidentes com danos materiais.



Tabela 4.3 – Análise de Modos e Efeitos de Falha da estufa.

Folha 04/10

Ítem	Função	Modo de falha	Causa	Efeitos locais	Próximo nível	Observações
Sensor de presença do <i>stop</i> da linha de entrada.	Acusar presença do <i>skid</i> .	Não acusa presença de <i>skid</i> posicionado.	Queima do sensor.	Mecanismo do <i>stop</i> não é acionado.	<i>Skid</i> avança sobre a mesa ainda carregada com outro <i>skid</i> , travando a movimentação. Pelo acúmulo não entram <i>skids</i> na estufa, parando todo o sistema.	Linha de saída da estufa esvazia. Podem ocorrer danos aos <i>skids</i> e às peças pintadas.
		Acusa presença de <i>skid</i> não posicionado.	Queima do sensor.	Mecanismo do <i>stop</i> não recua.	Acúmulo de <i>skids</i> na linha de entrada, parando todo o sistema.	Linha de saída da estufa esvazia.

Tabela 4.3 – Análise de Modos e Efeitos de Falha da estufa.

Folha 05/10

Ítem	Função	Modo de falha	Causa	Efeitos locais	Próximo nível	Observações
Sensor de presença da mesa elevatória de transferência da linha de entrada.	Acusar presença do <i>skid</i> .	Não acusa presença de <i>skid</i> posicionado.	Queima do sensor.	Mesa não movimentada para colocar <i>skid</i> sobre a linha de transferência.	Acúmulo de <i>skids</i> na linha de entrada, parando todo o sistema.	Linha de saída da estufa esvazia.
		Acusa presença de <i>skid</i> não posicionado.	Queima do sensor.	Mesa não retorna à posição elevada para receber <i>skid</i> da linha de entrada.	Acúmulo de <i>skids</i> na linha de entrada, parando todo o sistema.	Linha de saída da estufa esvazia.

Tabela 4.3 – Análise de Modos e Efeitos de Falha da estufa.

Folha 06/10

Ítem	Função	Modo de falha	Causa	Efeitos locais	Próximo nível	Observações
Sensor de presença da mesa elevatória de transferência da linha de saída.	Acusar presença do <i>skid</i> .	Não acusa presença de <i>skid</i> posicionado.	Queima do sensor.	Mesa não movimentada para elevar <i>skid</i> na posição de transferência para a linha de saída.	Acúmulo de <i>skids</i> na linha de entrada, parando todo o sistema.	Linha de saída da estufa esvazia.
		Acusa presença de <i>skid</i> não posicionado.	Queima do sensor.	Mesa não retorna da posição elevada para receber <i>skid</i> da linha de transferência.	Acúmulo de <i>skids</i> na linha de entrada, parando todo o sistema.	Linha de saída da estufa esvazia.

Tabela 4.3 – Análise de Modos e Efeitos de Falha da estufa.

Folha 07/10

Ítem	Função	Modo de falha	Causa	Efeitos locais	Próximo nível	Observações
Motor do conjunto moto-redutor da linha de saída.	Acionar redutor.	Não aciona.	Travamento do redutor.	Desarma térmico do motor, correntes da linha param.	Não saem <i>skids</i> da estufa, acúmulo e parada de todo sistema.	Elevado tempo para reparo.
			Queima do motor.	Redutor para, correntes da linha param.	Não saem <i>skids</i> da estufa, acúmulo e parada de todo sistema.	Elevado tempo para reparo.
			Quebra do cabo de alimentação elétrica.	Motor não aciona redutor, correntes da linha param.	Não saem <i>skids</i> da estufa, acúmulo e parada de todo sistema.	Elevado tempo para reparo.

Tabela 4.3 – Análise de Modos e Efeitos de Falha da estufa.

Folha 08/10

Ítem	Função	Modo de falha	Causa	Efeitos locais	Próximo nível	Observações
Redutor do conjunto moto-redutor da linha de saída.	Tracionar correntes da linha.	Não traciona.	Travamento do redutor.  Queima do motor.	Desarma térmico do motor, correntes da linha param.  Redutor para, correntes da linha param.	Não saem <i>skids</i> da estufa, acúmulo e parada de todo sistema.  Não saem <i>skids</i> da estufa, acúmulo e parada de todo sistema.	Elevado tempo para reparo.  Elevado tempo para reparo.
			Quebra do acoplamento.	Tração não é transmitida para as correntes.	Não saem <i>skids</i> da estufa, acúmulo e parada de todo sistema.	Elevado tempo para reparo.

Tabela 4.3 – Análise de Modos e Efeitos de Falha da estufa.

Folha 09/10

Ítem	Função	Modo de falha	Causa	Efeitos locais	Próximo nível	Observações
Sensor de presença da linha de saída.	Acusar presença de <i>skid</i> .	Não acusa presença de <i>skid</i> posicionado.	Queima do sensor.	Mesa elevatória da linha de saída não desce.	Não é liberada movimentação do <i>skid</i> posicionado na mesa elevatória da linha de entrada, acúmulo e parada de todo sistema.	Linha de saída da estufa esvazia.
		Acusa presença de <i>skid</i> não posicionado.	Queima do sensor.	Não é liberada movimentação dos roletes da mesa elevatória.	Não entram <i>skids</i> na linha de saída da estufa, acúmulo e parada de todo sistema.	Linha de saída da estufa esvazia.

Tabela 4.3 – Análise de Modos e Efeitos de Falha da estufa

Folha 10/10

Ítem	Função	Modo de falha	Causa	Efeitos locais	Próximo nível	Observações
Sensor de presença do <i>stop</i> da linha de saída.	Acusar presença do <i>skid</i> .	Não acusa presença de <i>skid</i> posicionado.	Queima do sensor.	Mecanismo do <i>stop</i> não é acionado.	<i>Skid</i> avança sobre o elevador ainda carregado com outro <i>skid</i> .	Quando o elevador inicia movimento, o segundo <i>skid</i> cai da estufa. Danos materiais e parada de todo o sistema.
		Acusa presença de <i>skid</i> não posicionado.	Queima do sensor.	Mecanismo do <i>stop</i> não recua.	<i>Skid</i> avança sobre o elevador não posicionado. Acúmulo de <i>skids</i> na linha de saída, parando todo o sistema.	O <i>skid</i> cai da estufa. Danos materiais e parada de todo o sistema.



Analisando-se os dados da Tabela 4.3 tem-se que as falhas mais críticas que ocorrem são causadas pelo sensor de presença da linha de entrada e pelo sensor de presença do *stop* da linha de saída. A falha de um destes sensores mencionados, além de provocar a parada da estufa e conseqüentemente de todo o sistema da pintura, pode gerar acidentes com danos materiais devido a estarem ligados ao comando dos elevadores de acesso e saída da estufa, isto é, no caso do sensor da linha de entrada a falha na leitura pode liberar o movimento de descida do elevador sem que o *skid* tenha entrado totalmente na estufa, provocando a sua queda. No caso do sensor do *stop* da linha de saída, a falha de leitura pode não acionar o mecanismo de travamento e o *skid* avançar sobre o elevador já carregado com outro *skid* ou sobre o elevador ainda não posicionado, provocando também a queda do *skid*. Salientando que na queda do *skid*, outros equipamentos podem ser danificados o que ampliaria o tempo de reparo e retomada de produção.

Outro sensor de presença, o do *stop* da linha de entrada, também pode gerar acidentes com danos materiais, embora de menor porte do que os anteriormente citados. A falha de leitura pode permitir o avanço de um *skid* sobre a mesa elevatória de transferência carregada com outro *skid*, provocando danos aos componentes pintados.

Em paradas superiores a 10 minutos a estufa automaticamente reduz sua temperatura para 80°C a fim de evitar um superaquecimento que provocaria a deformação dos componentes pintados e alterações de tonalidade na pintura. Embora possua este recurso, as falhas dos sensores de presença e suas conseqüências, e o excessivo tempo de reparo no caso dos moto-redutores indicados na Tabela 4.3, mais uma vez justificam a necessidade de atenção especial quanto à manutenção destes equipamentos e implementação de medidas para evitar ou reduzir o efeito destas falhas.

#### 4.5 Caracterização estatística da Confiabilidade

Para fins de estudo, será feita a estimativa da taxa de falha, densidade de probabilidade e confiabilidade dos principais componentes da estufa. Para caracterização do intervalo temporal para a análise de Confiabilidade empregam-se os dados apresentados na Tabela 4.1, onde a partir do mês de setembro de 1996 registra-se, para cada componente da estufa, o mês de ocorrência do defeito, não sendo definido o dia do mês em que o mesmo foi observado. O último mês do registro é fevereiro de 2002, perfazendo um total de 66 meses de observação, tal como empregado no item 4.3 deste Capítulo.

Tendo em vista que não é claramente definido o dia do mês em que se observou a ocorrência da falha de um equipamento da estufa, a execução da análise de Confiabilidade não paramétrica será baseada na consideração de dados agrupados, ou seja, a ocorrência da falha em um dado mês será considerada entre o início e o final do mês. O tempo de operação entre falhas é definido como o intervalo de tempo em que o componente permanece operando entre duas falhas consecutivas.

Para execução desta análise, para cada componente deve-se definir os intervalos de tempo entre falhas, colocando-os em ordem crescente, e definindo o número de vezes que se observou a ocorrência de falhas em um dado intervalo de tempo.

Visando a obtenção de uma similaridade entre os dados de falha obtidos ao longo da operação do componente com os que poderiam ser obtidos com um ensaio no qual um número inicial  $N$  de componentes é colocado para operar, sob as mesmas condições, até a ocorrência da falha de todos, neste trabalho considera-se como  $N$  o número de vezes que o componente falhou ao longo do intervalo temporal de 66 meses.

#### 4.5.1 Estimativa da taxa de falha

Taxa de falha, conforme Souza (V), é a probabilidade condicionada de um equipamento que sobreviveu sem falhas até um instante de tempo, vir a apresentar falha no próximo intervalo de tempo considerado na análise.

A equação utilizada na avaliação desta grandeza, para dados agrupados, é dada por:

$$\hat{\lambda}_{(t)} = (n_i - n_{i+1}) / (t_{i+1} - t_i) * n_i, \quad t_i < t < t_{i+1} \quad (4.1)$$

Sendo:

$$\begin{aligned} n_i &= N - (\text{número de falhas até o instante de tempo } t_i) \\ N &= \text{número total de falhas observadas em 66 meses de operação} \\ t_i &= \text{tempo onde verifica-se a falha do componente} \end{aligned}$$

#### 4.5.2 Estimativa da função densidade de probabilidade

Na avaliação desta grandeza para dados agrupados a equação utilizada é dada por:

$$\hat{f}_{(t)} = (n_i - n_{i+1}) / N * (t_{i+1} - t_i), \quad t_i < t < t_{i+1} \quad (4.2)$$

Sendo:

$$\begin{aligned} n_i &= N - (\text{número de falhas até o instante de tempo } t_i) \\ N &= \text{número total de falhas observadas em 66 meses de operação} \\ t_i &= \text{tempo onde verifica-se a falha do componente} \end{aligned}$$

### 4.5.3 Estimativa da Confiabilidade

Conforme Souza (V), Confiabilidade é a medida da habilidade de um ativo físico de executar uma função requerida sob determinadas condições e por um período de tempo pré-determinado. O valor numérico da Confiabilidade é expressa como uma probabilidade variando de zero a um.

A equação utilizada na avaliação desta grandeza para dados agrupados é dada por:

$$\hat{R}_{(t_i)} = n_i / N \quad (4.3)$$

Sendo:

$$\begin{aligned} n_i &= N - (\text{número de falhas até o instante de tempo } t_i); \\ N &= \text{número total de falhas observadas em 66 meses de operação.} \end{aligned}$$

### 4.5.4 Análise de Confiabilidade do moto-redutor da linha de entrada

Conforme apresentado na Tabela 4.1, o moto redutor de entrada apresentou falhas nos meses de operação 9, 16, 23, 32, 38, 48, 55 e 62, a partir do início do mês de setembro de 1996.

De posse destes dados obtém-se a Tabela 4.4 que apresenta o número de vezes que foram observadas falhas em um intervalo de operação, expresso em meses.

**Tabela 4.4 – Número de falhas do moto-redutor da linha de entrada classificados em intervalo de tempo.**

<b>Intervalo de tempo (meses)</b>	<b>Número de falhas observadas</b>
$0 \leq t < 1$	0
$1 \leq t < 2$	0
$2 \leq t < 3$	0
$3 \leq t < 4$	0
$4 \leq t < 5$	0
$5 \leq t < 6$	1
$6 \leq t < 7$	4
$7 \leq t < 8$	0
$8 \leq t < 9$	2
$9 \leq t < 10$	1

A partir dos dados da Tabela 4.4 verifica-se que foram observadas 8 falhas no moto-redutor da linha de entrada.

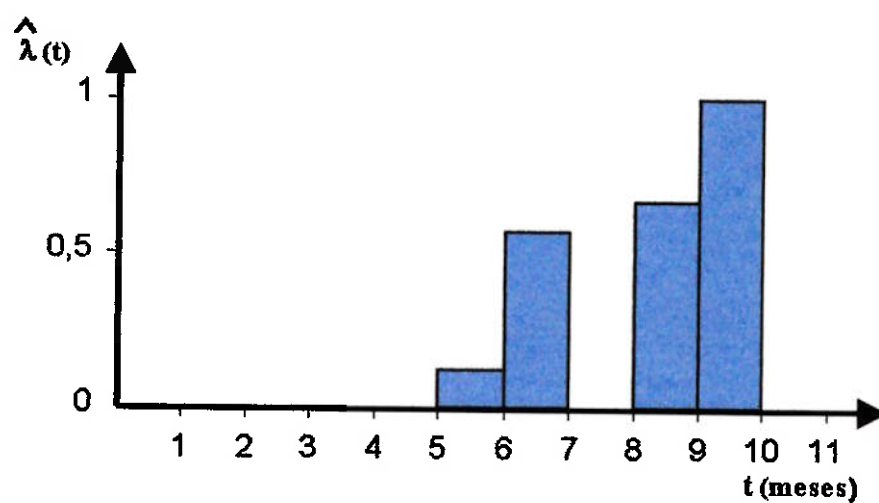
Aplicando a metodologia de análise de Confiabilidade descrita nos itens 4.3.1 a 4.3.3, obtém-se os dados indicados na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5 – Análise não-paramétrica com dados agrupados da Confiabilidade do moto-redutor da linha de entrada.**

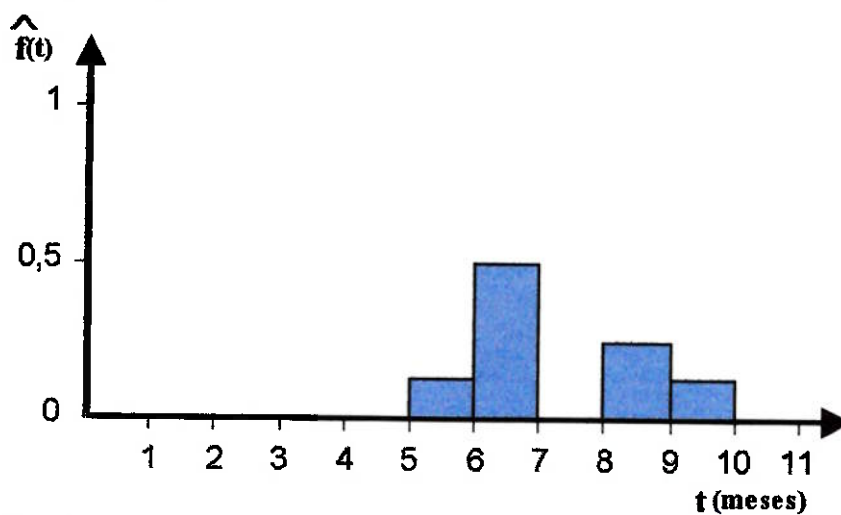
$i$	$t_i$	$t_{i+1}$	$n_i$	$\hat{R}_{(t)}$	$\hat{f}_{(t)}$	$\hat{\lambda}_{(t)}$	$\bar{t}_i$ (1)
0	5	6	8	1,000	0,125	0,125	5,5
1	6	7	7	0,875	0,500	0,571	6,5
2	7	8	3	0,375	0,000	0,000	7,5
3	8	9	3	0,375	0,250	0,667	8,5
4	9	10	1	0,125	0,125	1,000	9,5
5	10	11	0	0,000	—	—	10,5

$$(1) \quad \bar{t}_i = (t_{i+1} + t_i) * 1/2$$

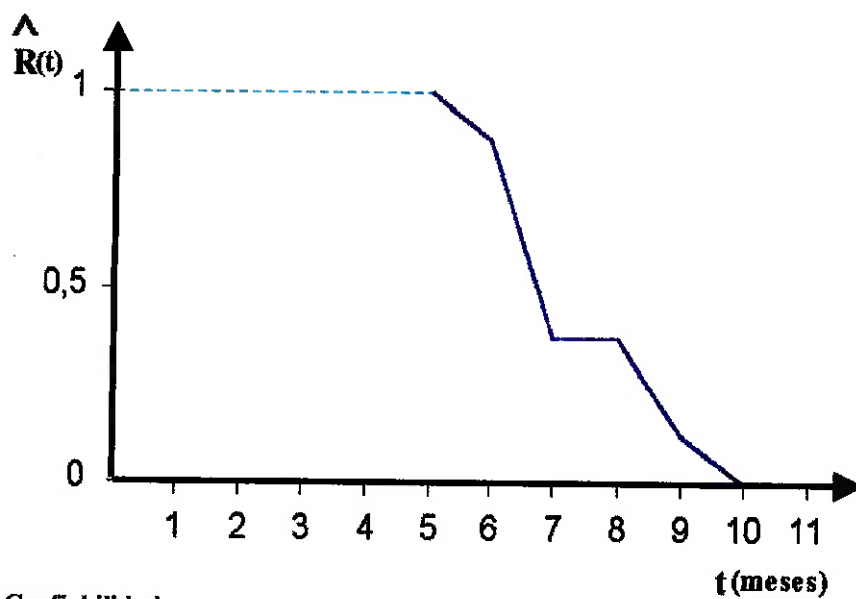
Os dados da Tabela 4.5 são expressos graficamente na Figura 4.8.



a - Taxa de falha.



b - Função densidade de probabilidade.



c - Confiabilidade.

Figura 4.8 - Variação temporal da Confiabilidade do moto-redutor da linha de entrada.



De acordo com os dados apresentados na Figura 4.8 tem-se que a função densidade de probabilidade apresenta uma forma de sino, enquanto que a taxa de falha é crescente no tempo, indicando que o modo de falha associado com o moto-reductor é um processo de dano acumulado, ou seja, a cada ciclo de operação há uma acumulação de dano, até que este atinge um valor crítico havendo a falha do reductor.

Ainda de acordo com os dados obtidos experimentalmente, o moto-reductor apresenta uma vida mínima, correspondendo a um tempo de operação mínimo que é de 5 meses.

A partir dos dados da Tabela 4.5 pode-se calcular o tempo médio até a falha deste moto-reductor, bem como a variância do mesmo, com o emprego das seguintes relações:

$$\hat{m}_t = \sum_{i=0}^{n-1} \bar{t}_i * \hat{f}_i * \Delta_i \quad (4.4)$$

Onde:

$\Delta_i$  é o intervalo de tempo para contabilização das falhas, neste caso igual a 1;

$\hat{m}_t$  é a média, ou tempo médio até a falha;

e

$$\hat{\sigma}_t^2 = \sum_{i=0}^{n-1} \bar{t}_i^2 * \hat{f}_i * \Delta_i - (\hat{m}_t)^2 \quad (4.5)$$

sendo  $\hat{\sigma}_t^2$  a variância do tempo médio até a falha.

Para o moto-reductor em estudo tem-se:

$$\hat{m}_t = 7,25 \text{ meses}$$

$$\hat{\sigma}_t^2 = 1,69 \text{ meses}^2$$

ou o desvio padrão ( $\hat{\sigma}_t$ ) é 1,30 meses.

Portanto, o tempo médio entre falhas do moto-redutor da linha de entrada é 7,25 meses, com desvio padrão de 1,30 meses. A estimativa do tempo médio entre falhas é similar à obtida no item 4.3 (Tabela 4.2), porém definida com maior rigor estatístico.

#### **4.5.5 Análise de Confiabilidade do moto-redutor da linha de saída**

Utilizando os dados apresentados na Tabela 4.1, o moto redutor da linha de saída apresentou falhas nos meses 8, 17, 25, 27, 37, 44, 52, 60 e 66, a partir do início do mês de setembro de 1996.

De posse destes dados obtém-se a Tabela 4.6, que apresenta o número de vezes que foram observadas falhas em um intervalo de operação expresso em meses.

**Tabela 4.6 – Número de falhas do moto-redutor da linha de saída classificados em intervalo de tempo.**

<b>Intervalo de tempo (meses)</b>	<b>Número de falhas observadas</b>
$0 \leq t < 1$	0
$1 \leq t < 2$	1
$2 \leq t < 3$	0
$3 \leq t < 4$	0
$4 \leq t < 5$	0
$5 \leq t < 6$	1
$6 \leq t < 7$	1
$7 \leq t < 8$	4
$8 \leq t < 9$	1
$9 \leq t < 10$	1

A partir dos dados da Tabela 4.4 verifica-se que foram observadas 9 falhas no moto-redutor da linha de saída.

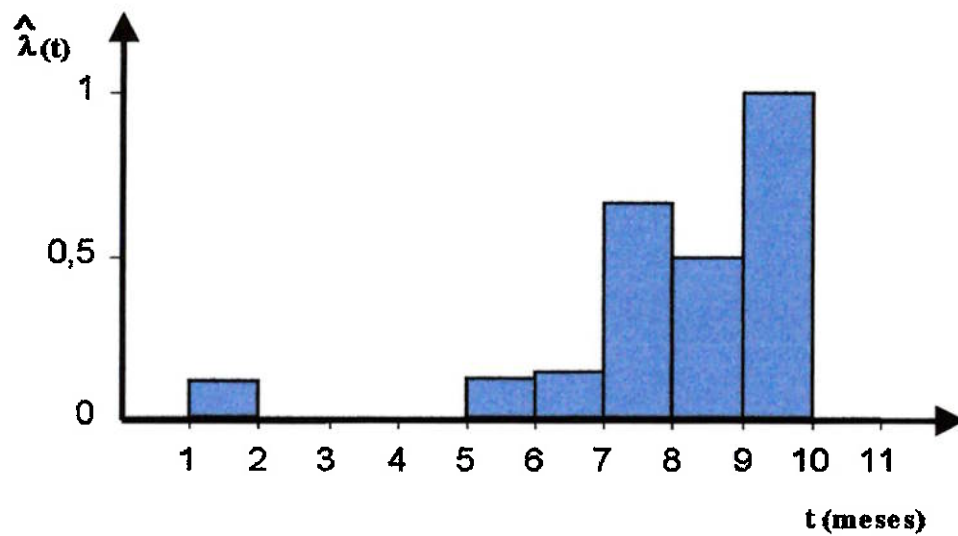
Aplicando a metodologia de análise de Confiabilidade descrita nos itens 4.3.1 a 4.3.3, obtém-se os dados indicados na Tabela 4.7.

**Tabela 4.7 – Análise não-paramétrica com dados agrupados da Confiabilidade do moto-redutor da linha de saída.**

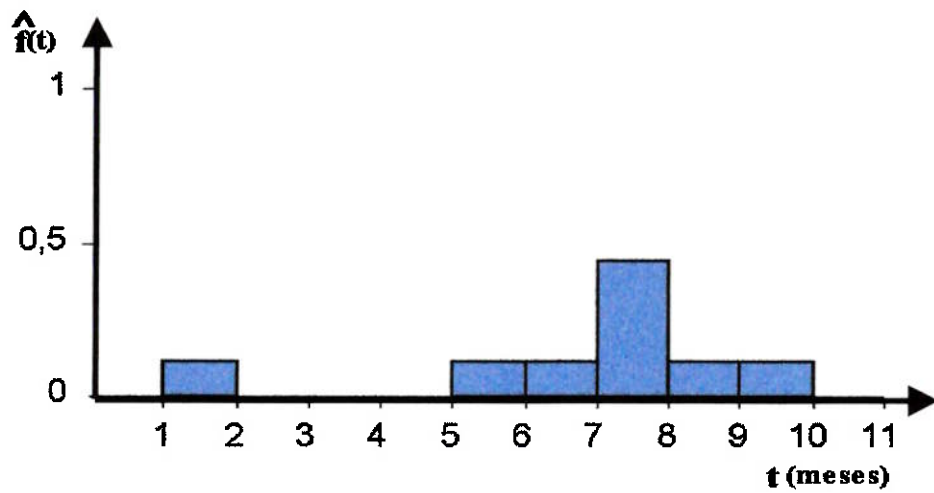
$i$	$t_i$	$t_{i+1}$	$n_i$	$\hat{R}_{(t)}$	$\hat{f}_{(t)}$	$\hat{\lambda}_{(t)}$	$\bar{t}_i$ <sup>(1)</sup>
0	1	2	9	1,000	0,111	0,111	1,5
1	2	3	8	0,889	0,000	0,000	2,5
2	3	4	8	0,889	0,000	0,000	3,5
3	4	5	8	0,889	0,000	0,000	4,5
4	5	6	8	0,889	0,111	0,125	5,5
5	6	7	7	0,778	0,111	0,143	6,5
6	7	8	6	0,667	0,444	0,667	7,5
7	8	9	2	0,222	0,111	0,500	8,5
8	9	10	1	0,111	0,111	1,000	9,5
9	10	11	0	0,000	—	—	10,5

$$(1) \quad \bar{t}_i = (t_{i+1} + t_i) * 1/2$$

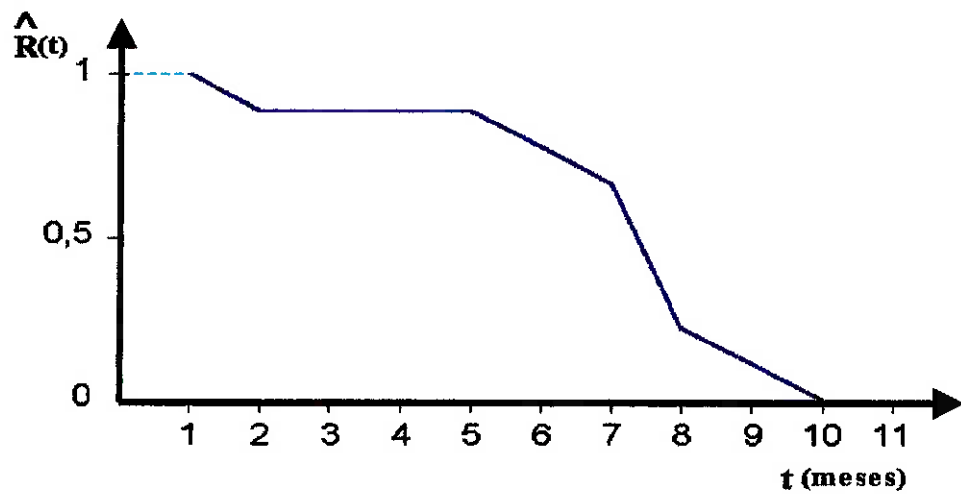
Os dados da Tabela 4.7 são expressos graficamente na Figura 4.9.



a - Taxa de falha.



b - Função densidade de probabilidade.



c - Confiabilidade.

Figura 4.9 - Variação temporal da Confiabilidade do moto-reductor da linha de saída.

De acordo com os dados apresentados na Figura 4.9 e semelhantemente à Figura 4.8 tem-se que a função densidade de probabilidade apresenta uma forma de sino, e que a taxa de falha é crescente no tempo, indicando que o modo de falha associado a este moto-reductor também é um processo de dano acumulado.

Observando a Figura 4.6 nota-se que ocorreu uma falha com um tempo inferior à 2 meses. Esta falha deve ter ocorrido por um defeito de fabricação no conjunto moto-reductor ou algum erro na sua instalação. Caso seja feita a censura deste resultado obter-se-á que o tempo mínimo de operação deste moto-reductor é de 5 meses, o mesmo valor encontrado para o moto-reductor da linha de entrada da estufa.

A partir dos dados da Tabela 4.7 pode-se calcular o tempo médio até a falha e a variância deste moto-reductor, com o emprego das mesmas relações utilizadas no cálculo destas grandezas para o moto-reductor da linha de entrada (item 4.5.4 – equações 4.4 e 4.5). Para o moto-reductor em estudo tem-se:

$$\hat{m}_t = 6,83 \text{ meses}$$

$$\hat{\sigma}_t^2 = 4,71 \text{ meses}^2$$

ou o desvio padrão ( $\hat{\sigma}_t$ ) é 2,17 meses.

Portanto, o tempo médio entre falhas do moto-reductor da linha de saída é 6,83 meses, com desvio padrão de 2,17 meses. A estimativa do tempo médio entre falhas é também similar à obtida no item 4.3 (Tabela 4.2).

#### 4.5.6 Análise de Confiabilidade dos sensores de presença

Conforme dados da Tabela 4.1, os sensores de presença apresentaram falhas nos meses 5, 10, 13, 22, 24 (2 falhas), 26, 28, 36, 38, 42, 43, 47, 48, 49 e 57, a partir do início do mês de setembro de 1996.

Com estes dados obtém-se a Tabela 4.8, que apresenta o número de vezes que foram observadas falhas em um intervalo de operação expresso em meses.

Tabela 4.8 – Número de falhas dos sensores de presença classificados em intervalo de tempo.

Intervalo de tempo (meses)	Número de falhas observadas
$0 \leq t < 1$	1
$1 \leq t < 2$	3
$2 \leq t < 3$	4
$3 \leq t < 4$	1
$4 \leq t < 5$	2
$5 \leq t < 6$	2
$6 \leq t < 7$	0
$7 \leq t < 8$	0
$8 \leq t < 9$	2
$9 \leq t < 10$	1

A partir destes dados verifica-se que foram observadas 16 falhas nos sensores de presença.

Aplicando, da mesma maneira como realizado nos moto-redutores, a metodologia de análise de Confiabilidade descrita nos itens 4.3.1 a 4.3.3, obtém-se os dados indicados na Tabela 4.9.

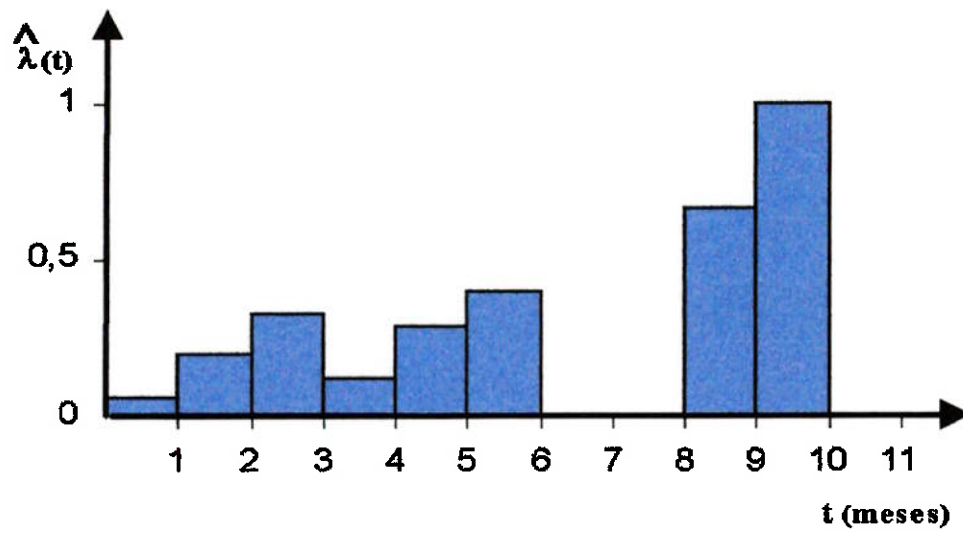
**Tabela 4.9 – Análise não-paramétrica com dados agrupados da Confiabilidade dos sensores de presença da estufa.**

$i$	$t_i$	$t_{i+1}$	$n_i$	$\hat{R}_{(t)}$	$\hat{f}_{(t)}$	$\hat{\lambda}_{(t)}$	$\bar{t}_i$ <sup>(1)</sup>
0	0	1	16	1,000	0,063	0,063	0,5
1	1	2	15	0,938	0,188	0,200	1,5
2	2	3	12	0,750	0,250	0,333	2,5
3	3	4	8	0,500	0,063	0,125	3,5
4	4	5	7	0,438	0,125	0,286	4,5
5	5	6	5	0,313	0,125	0,400	5,5
6	6	7	3	0,188	0,000	0,000	6,5
7	7	8	3	0,188	0,000	0,000	7,5
8	8	9	3	0,188	0,125	0,667	8,5
9	9	10	1	0,063	0,063	1	9,5
10	10	11	0	0,000	—	—	10,5

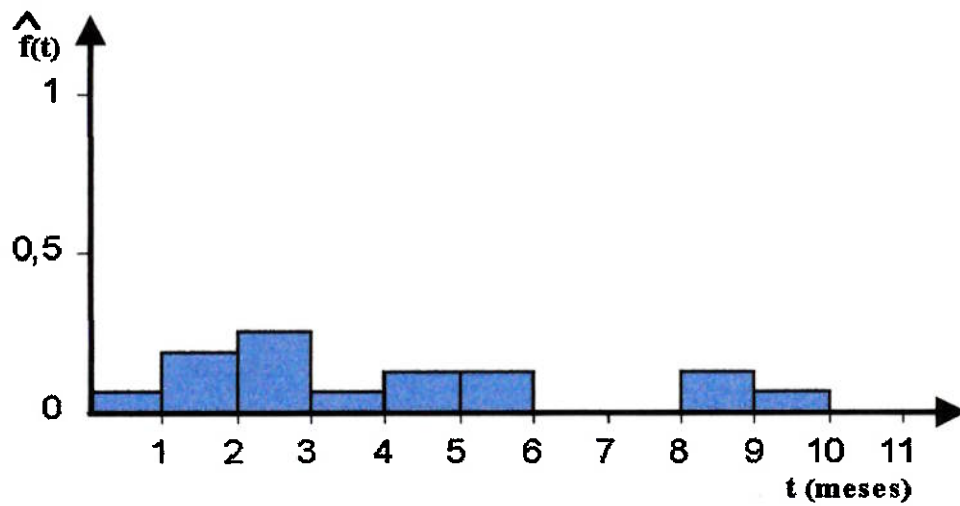
$$(1) \quad \bar{t}_i = (t_{i+1} + t_i) * 1/2$$

Os dados da Tabela 4.9 são expressos graficamente na Figura 4.10.

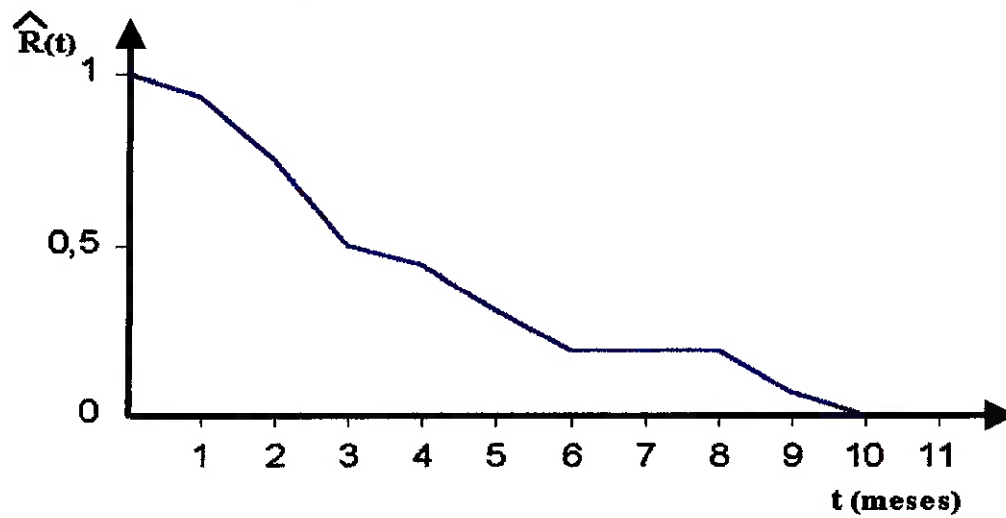




a - Taxa de falha.



b - Função densidade de probabilidade.



c - Confiabilidade.

Figura 4.10 - Variação temporal da Confiabilidade dos sensores de presença.

Conforme a Figura 4.10, tem-se que a taxa de falha apresenta valores similares, próximos a serem constantes, ao longo do tempo. Apenas na parte final do gráfico há um aumento significativo da taxa de falha. Este fenômeno não é próprio dos equipamentos elétricos, como já explicado anteriormente os equipamentos elétricos apresentam taxa de falha constante ao longo do tempo, mas pode ser explicado já que houve uma elevação da temperatura da estufa em torno de 10°C a partir de setembro de 2000, para melhorar a cura das peças pintadas. Com isso os sensores em estudo passaram a ser submetidos a uma condição ambiental de trabalho diferente da anterior, podendo ser esta a causa da diminuição da vida útil destes componentes.

A partir dos dados da Tabela 4.9 pode-se calcular o tempo médio até a falha e a variância dos sensores de presença, com o emprego das mesmas relações utilizadas no cálculo destas grandezas para os moto-redutores. (item 4.5.4 – equações 4.4 e 4.5). Para os sensores em estudo tem-se:

$$\hat{m}_t = 4,07 \text{ meses}$$

$$\hat{\sigma}_t^2 = 7,24 \text{ meses}^2$$

ou o desvio padrão ( $\hat{\sigma}_t$ ) é 2,69 meses.

Portanto, o tempo médio entre falhas dos sensores de presença é 4,07 meses, com desvio padrão de 2,69 meses. A estimativa do tempo médio entre falhas é similar à comentada no item 4.3.

Os resultados deste estudo serão encaminhados à manutenção da planta para, no caso dos moto-redutores verificar se fatores externos não estão aumentando o desgaste destes equipamentos e, no caso dos sensores de presença, para verificar se estes estão operando dentro da faixa de temperatura recomendada pelo fornecedor.

Além do encaminhamento destes resultados à manutenção, serão feitas duas propostas de melhorias, uma ação *Default* e uma redundância, que reduzirão as paradas do sistema de pintura devido à falhas na estufa. A descrição destas melhorias será feita nos capítulos a seguir.

## 5. AÇÃO *DEFAULT*

Visando reduzir a incidência de falhas e/ou facilitar os reparos caso elas ocorram aplicaremos uma ação *default* de reprojetado nos moto-redutores das linhas de entrada e saída da estufa. Segundo Moubrey (VIII) a ação *default* de reprojetado implica em fazer alguma mudança na capacidade intrínseca de um sistema. Esta ação deve ser justificada em bases técnicas e econômicas, isto é, ser tecnicamente viável de ser aplicado a custos que não superem os das conseqüências operacionais das falhas e dos reparos efetuados no mesmo período de tempo.

O termo reprojetado inclui mudança na especificação de um componente, acréscimo de um novo item, substituição de uma máquina com uma marca ou tipo diferente ou a realocação de um equipamento, esta última ação é a que será aplicada nos moto-redutores.

Como pode ser visto, ambos os moto-redutores estão posicionados internamente na estufa, tal como indicado nas Figuras 5.1 e 5.2.

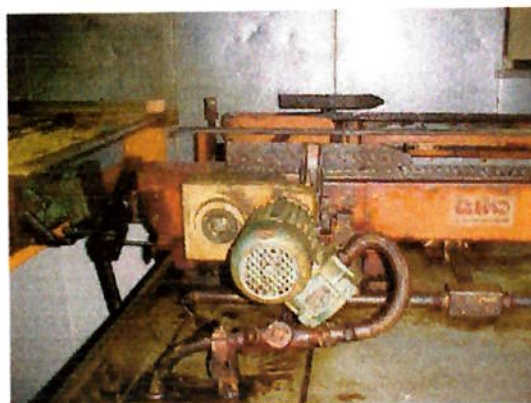
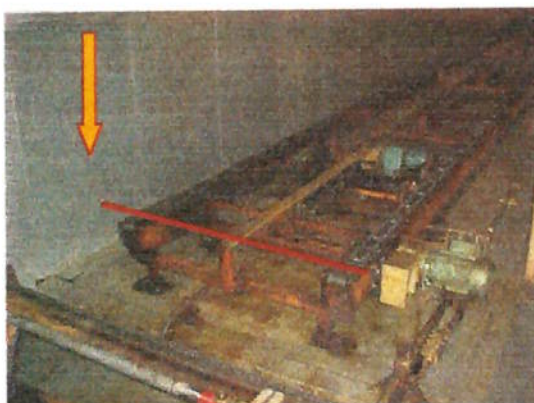
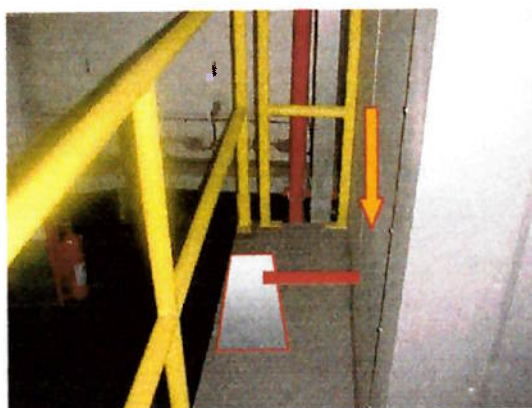


Figura 5.1 – Moto-redutor da linha de entrada. Figura 5.2 – Moto-redutor da linha de saída.

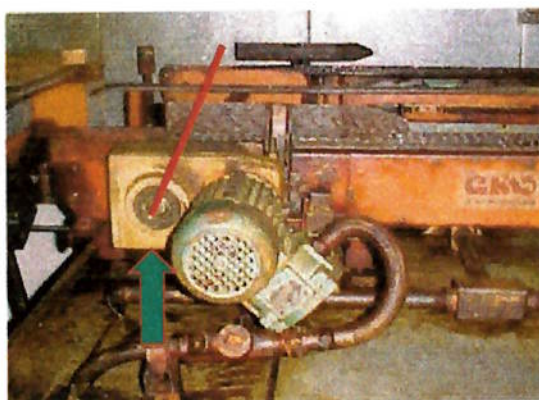
A elevada temperatura de trabalho da estufa, além de diminuir a vida útil destes equipamentos, prejudica a troca ou reparo em caso de falhas. A mudança a ser feita será o prolongamento do eixo que transmite tração às correntes através da parede da estufa, sendo que os moto-redutores serão posicionados no lado externo. Nas Figuras 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6 mostram-se fotos ilustrativas deste reprojetado proposto.



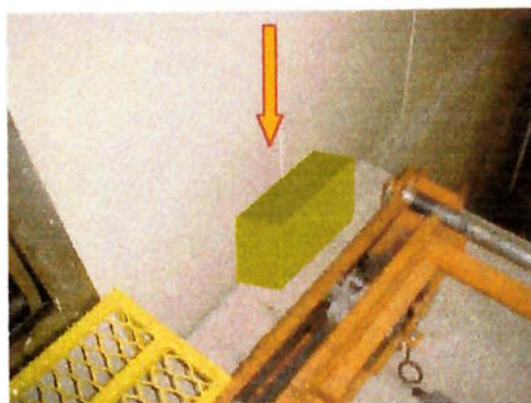
**Figura 5.3 – Extensão do eixo pela parede da estufa (linha de entrada).**



**Figura 5.4 – Plataforma onde será posicionado o moto-reductor.**



**Figura 5.5 – Extensão do eixo pela parede da estufa (linha de saída).**



**Figura 5.6 – Local onde será posicionado o moto-reductor.**

Estas modificações são tecnicamente viáveis e de baixo custo de implementação, sendo que serão implementadas pela própria manutenção da planta. Além do reposicionamento, será feita uma modificação na fixação dos moto-redutores ao piso evitando a necessidade de serem retirados 4 parafusos para troca e também serão utilizados “*plugs*” na ligação elétrica.

Além de um esperado aumento da confiabilidade dos moto-redutores, a aplicação desta ação *default* reduzirá o tempo de parada devido à falhas nos moto-redutores das atuais 2 horas (no mínimo) para um tempo inferior a 30 minutos e ainda sem afetar a qualidade das peças em processo de cura ou sujeitar os manutentores a condições não adequadas de trabalho.

## 6. REDUNDÂNCIA

Embora a troca dos sensores de presença seja um reparo de rápida execução, semelhantemente aos moto-redutores tem-se toda a perda de tempo para resfriamento da estufa até uma temperatura suportável pelos manutentores, o tempo para reaquecimento e também os problemas de contaminação da pintura das peças e conseqüente queda nos níveis de qualidade, quando falhas ocorrem.

A modificação a ser feita será a instalação em paralelo de outro sensor de presença em cada uma das estações de uso, implementando uma redundância ativa. Conforme Souza (V), na redundância ativa um componente pode executar a função de outro se este falhar, assegurando a operação do sistema e com isso aumentando a confiabilidade do conjunto em relação à configuração não redundante.

O aumento da confiabilidade de uma redundância ativa (sistema em paralelo) pode ser observada no estudo a seguir, onde será assumido um valor de 0,438 para a Confiabilidade dos sensores de presença, valor extraído da Tabela 4.9 que corresponde ao quarto mês de uso dos sensores. A representação gráfica do sensor isolado e sensores em paralelo é mostrada nas Figuras 6.1 e 6.2 respectivamente.

Componente isolado:

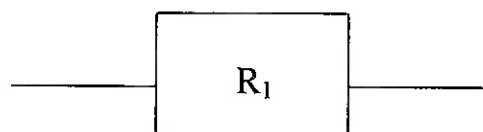


Figura 6.1 – Representação do sensor isolado.

Como  $R_1 = 0,438$  e  $R_s = R_1$ , tem-se:

$$R_s = 0,438$$

Sendo:

$R_1$  ..... Confiabilidade do sensor isolado;

$R_s$  ..... Confiabilidade do sistema.

Componentes em paralelo:

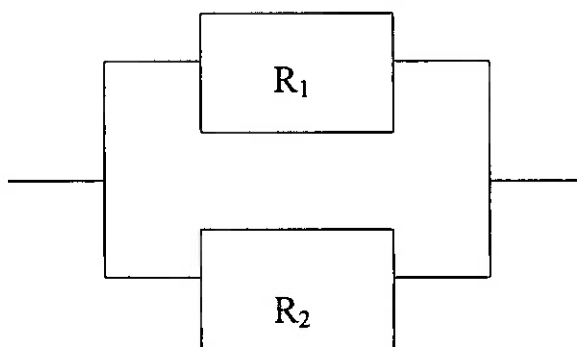


Figura 6.2 – Representação dos sensores em paralelo.

Como  $R_1 = R_2 = 0,438$  e, conforme Souza (V)  $R_s = 1 - [(1 - R_1)] * [(1 - R_2)]$ ,  
tem-se:

$$R_s = 1 - [(1 - 0,438) * (1 - 0,438)]$$

$$R_s = 1 - [(0,562) * (0,562)]$$

$$R_s = 1 - (0,316)$$

$$R_s = 0,684$$

Sendo:

$R_1$  ..... Confiabilidade do sensor 1;

$R_2$  ..... Confiabilidade do sensor 2;

$R_s$  ..... Confiabilidade do sistema.

Como pode ser observado, há um acréscimo significativo da confiabilidade quando aplicamos uma redundância ativa.

Utilizando-se os valores de Confiabilidade dos sensores de presença da Tabela 4.9 e recalculando este valor após a instalação dos sensores em paralelo, utilizando a metodologia anteriormente descrita, obtém-se os dados indicados Tabela 6.1.

**Tabela 6.1 – Análise não-paramétrica com dados agrupados comparativa da Confiabilidade dos sensores de presença de forma isolada e em paralelo.**

$i$	$\hat{R}_{(i)}$ (sensor isolado)	$\hat{R}_{(i)}$ (sensores em paralelo)
0	1,000	1,000
1	0,938	0,996
2	0,750	0,938
3	0,500	0,750
4	0,438	0,684
5	0,313	0,528
6	0,188	0,341
7	0,188	0,341
8	0,188	0,341
9	0,063	0,122
10	0,000	0,000

Em média tem-se um aumento superior à 50% na Confiabilidade quando da instalação de sensores em paralelo, sendo que o maior valor encontrado chega à 93,7%.

Os dados da Tabela 6.1 são expressos graficamente na Figura 6.3.



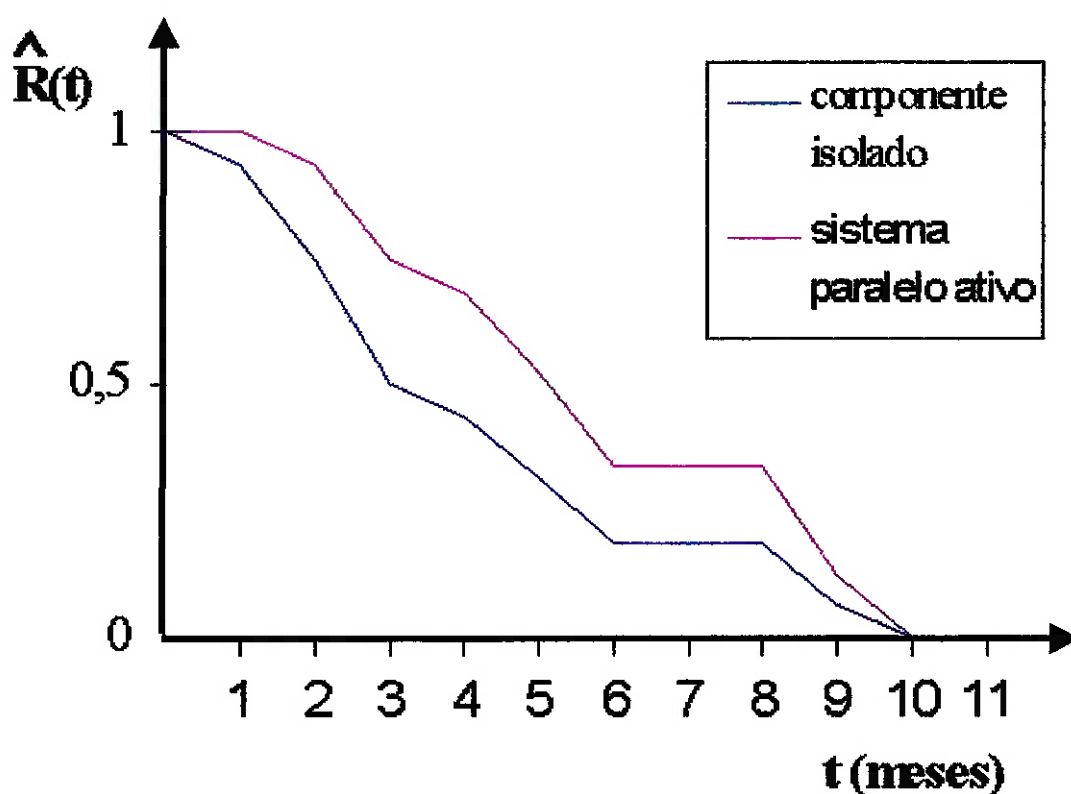


Figura 6.3 – Comparativo da variação temporal da Confiabilidade dos sensores de presença.

A aplicação da redundância ativa nos sensores de presença da estufa reduzirá significativamente as paradas do sistema. Caso ocorra falha em um dos sensores, o sistema de pintura prosseguirá operando normalmente, sendo que o reparo (troca do sensor) poderá ser realizado ao final do turno de trabalho quando o sistema é desligado e, portanto, não gerando as perdas de eficiência, qualidade e segurança mencionadas. O investimento necessário será a compra de 6 sensores de presença e a modificação poderá ser implementada pela própria manutenção da planta.

As Figuras 6.4 e 6.5 mostram fotos ilustrativas da instalação dos sensores em paralelo:



**Figura 6.4 – Instalação em paralelo de sensor na linha de entrada da estufa.**



**Figura 6.5 Instalação em paralelo de sensor no stop mecânico.**

Quando ocorrer a falha de um dos sensores de presença, haverá um conflito dos sinais elétricos encaminhados ao terminal de controle do sistema de pintura devido à um dos sensores acusar a presença do *skid* e o outro sensor responder que não há *skid* posicionado. Neste caso ocorrerá a automática parada do sub-estágio onde a falha ocorreu e o alarme sonoro acionará. Será necessário então que, através dos vidros vigias da estufa, seja constatada ou não a presença do *skid* e o sensor que apresentou problemas seja desabilitado no terminal de controle para que o sistema volte a operar.

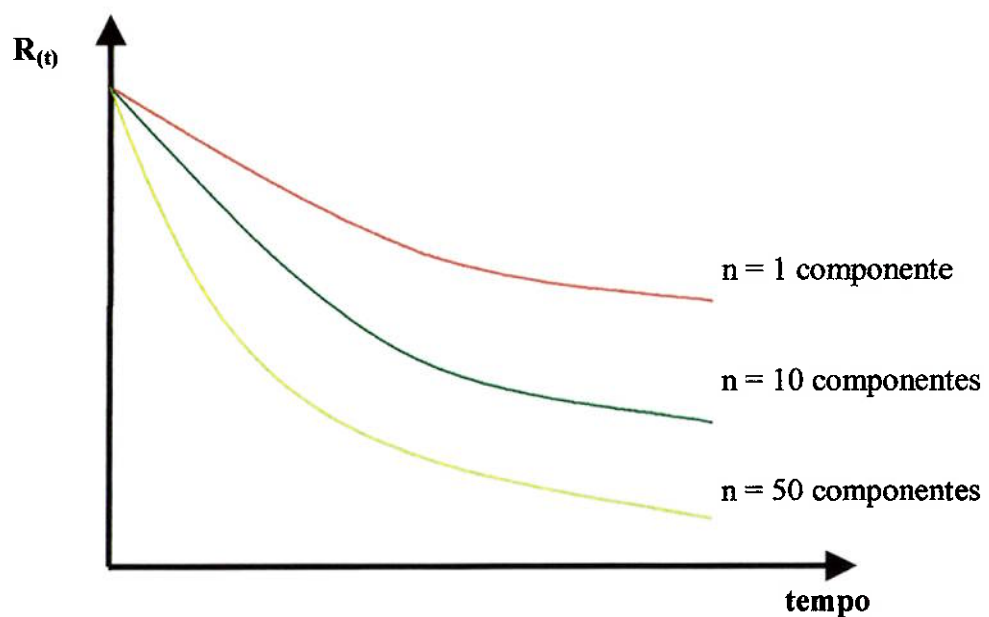
A redundância mostra-se uma melhoria de fácil implementação, eficiente e ainda com a vantagem de no caso da ocorrência de uma falha, o sistema onde foi aplicada voltar a operar conforme projetado originalmente, apenas com um sensor, sem prejuízos ou perdas parciais de produtividade.

## 6. PROPOSTA PARA ESTUDOS FUTUROS

O sistema de pintura possui 17 mesas elevatórias de transferência. Cada uma destas mesas possui dois moto-redutores, um para transmitir tração aos roletes e com isso movimentar os *skids*, e outro que movimenta a mesa para a posição superior ou inferior a fim de permitir a entrada ou saída do *skid*. A proposta de estudo é de analisar a Confiabilidade do moto-redutor de posicionamento da mesa e aplicar uma nova ação *default* de reprojeto substituindo-os por pistões pneumáticos.

O motor e o redutor possuem Confiabilidades distintas, mas como estão ligados em série, a falha de um deles provoca a parada de todo o conjunto. Segundo Souza (V) o número de componentes tem efeito negativo na Confiabilidade de um sistema. Já o pistão pneumático por se tratar de um componente único e totalmente mecânico possui uma Confiabilidade mais previsível, o que torna o sistema de pintura menos sujeito à paradas.

Na Figura 7.1 é indicada graficamente a variação temporal da Confiabilidade de um sistema em série, como função do número de seus componentes.



**Figura 7.1 – Confiabilidade de sistemas em série em função do número de componentes que o compõem ( $n$ ).**

## 7. CONCLUSÕES

A operação prolongada e eficaz dos sistemas produtivos é uma exigência vital nas indústrias de um mercado globalizado. As técnicas de Confiabilidade empregadas neste trabalho mostram-se eficientes no estabelecimento de leis estatísticas sobre a ocorrência de falhas em dispositivos e sistemas, permitindo introduzir e direcionar estratégias de manutenção capazes de alterar os índices quantitativos e qualitativos relativos às falhas. A aplicação da “Teoria da Confiabilidade” nas áreas produtivas tem como objetivo obter o máximo de eficiência, segurança, economia e durabilidade dos ativos físicos.

Quando da realização deste trabalho, ficou claro que o sistema de pintura ora analisado foi projetado para ocupar o mínimo de espaço físico. É de conhecimento de todos que os custos de área ocupada ( $m^2$ ) pelas indústrias são grandes, mas, tomando como base o sistema de pintura em estudo nota-se que a minimização de ocupação física resultou em um incremento demasiado no número de sistemas de ligação e transferência entre estágios, no texto chamados de *interfaces*. Este sistema possui 5 elevadores, 2 mesas giratórias de transferência, 16 linhas de transferência e 17 mesas elevatórias de transferência. Em todos estes sub-estágios não há acréscimo de valor ao produto final, embora seus modos de falha algumas vezes superem em número os dos estágios onde existe valor agregado, de modo que estes estágios de *interface* contribuem enormemente para a perda de eficiência do sistema.

A partir da análise dos modos de falha de cada um dos componentes deste sistema de pintura, verificou-se que a estufa é o estágio crítico do mesmo, sob o ponto de vista da maximização do tempo de parada da linha no caso de falha de algum dos equipamentos que a compõem.

Visando a análise dos modos de falha apresentados pelos componentes da estufa, aplicaram-se conceitos de confiabilidade para avaliar o tempo médio entre falhas dos mesmos, obtendo-se os seguintes resultados:

- O moto-reductor da linha de entrada da estufa apresenta um tempo médio entre falhas de 7,25 meses, com desvio padrão de 1,30 meses e uma vida mínima de 5 meses;
- O moto-reductor da linha de saída da estufa apresenta um tempo médio entre falhas de 6,83 meses, com desvio padrão de 2,17 meses e uma vida mínima de 5 meses;
- Ambos os moto-redutores apresentam taxa de falha crescente no tempo, indicando que o modo de falha associado com estes equipamentos é um processo de dano acumulado;
- Os sensores de presença apresentam um tempo médio entre falhas de 4,07 meses, com desvio padrão de 2,69 meses;
- Os sensores de presença apresentam taxa de falha crescente com o tempo, o que não é característico de equipamentos elétricos, que usualmente apresentam taxas de falha constantes ao longo do tempo. Faz-se necessário aprofundar o estudo destes sensores para verificar se o resultado atípico está sendo provocado pela alteração da condição ambiental de trabalho, caracterizada pela elevação da temperatura da estufa reportada anteriormente no texto, culminando na diminuição da vida útil destes equipamentos, em função da ocorrência de processo similar ao envelhecimento dos mesmos, causando o crescimento da taxa de falha ao longo do tempo.

A partir desta análise propõe-se que o projeto dos moto-redutores seja revisado, a fim de aumentar o tempo médio até a falha dos mesmos, e no caso dos sensores propõe-se a utilização de redundância para aumentar a confiabilidade do sistema de detecção das peças que passam pela estufa. Estas medidas visam aumentar a disponibilidade de trabalho da estufa e conseqüentemente de toda a linha de pintura.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (I) CAGLIANI, M.A. **Historia del Plástico**. Faculdade de Filosofia e Letras da Universidade de Buenos Aires. Disponível em:  
< <http://webs.sinectis.com.ar/mcagliani/hplastico.htm> > . Acesso em 12 maio 2001.
- (II) INSTITUTO NACIONAL DO PLÁSTICO – INP. **Nobreza do Plástico**. Disponível em:  
< <http://www.plastics.org.br/fiquepordentro/artigos/nobreza.htm> > . Acesso em 20 março 2002.
- (III) BRITISH PLASTICS & RUBBER. **Plastics in cars – an update**. Inglaterra, setembro, 1999. Disponível em:  
< <http://www.polymer-age.co.uk/archive19.htm> > . Acesso em 21 março 2002.
- (IV) AMERICAN PLASTICS COUNCIL. **Plastic Applications in Cars: Exterior**. Disponível em:  
< <http://www.plastics-car.com/applications/exterior.html> > . Acesso em 07 janeiro 2002.
- (V) SOUZA, G.F.M. **Confiabilidade de Produtos e Sistemas**. Apostila da matéria PMC-5613 do departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas mecânicos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.
- (VI) LEWIS, E.E. **Introduction to Reliability Engineering**. 3ª ed. John Wiley & Sons, 1996.
- (VII) LEITCH, R.D. **Reliability Analysis for Engineers: An Introduction**. 1ª ed. Oxford University Press, 1995.

(VIII) MOUBRAY, J. **RCM II – Manutenção Centrada em Confiabilidade**.  
Ed. Brasileira. Aladon Ltd, 2000.

(IX) CAPALDO, D.; GUERRERO, V.; ROZENFELD, H. **FMEA (Failure Model and Effect Analysis)**. Disponível em:  
< [http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos\\_port/pag\\_conhec/FMEAv2.html](http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/FMEAv2.html)>. Acesso em 21 maio 2002.