

GERALDO FREITAS BARBOSA FILHO

**Otimização da Confiabilidade e Usabilidade de  
Processo Produtivo em Fábrica de Placas de  
Circuito Impresso do Pólo Industrial de Manaus**

Manaus - Amazonas

Junho - 2016

GERALDO FREITAS BARBOSA FILHO

**Otimização da Confiabilidade e Usabilidade de Processo  
Produtivo em Fábrica de Placas de Circuito Impresso do  
Pólo Industrial de Manaus**

Trabalho de Conclusão de Curso submetida  
à Coordenação do curso de Engenharia de  
Controle e Automação da Universidade do  
Estado do Amazonas como parte dos requi-  
sitos necessários para a obtenção do grau de  
Engenheiro, em conformidade com as normas  
ABNT.

Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
Escola Superior de Tecnologia - EST  
Engenharia de Controle e Automação

Orientador Prof. Msc. Marcelo Albuquerque de Oliveira

Manaus - Amazonas  
Junho - 2016

GERALDO FREITAS BARBOSA FILHO

# **Otimização da Confiabilidade e Usabilidade de Processo Produtivo em Fábrica de Placas de Circuito Impresso do Pólo Industrial de Manaus**

Trabalho de Conclusão de Curso submetida à Coordenação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade do Estado do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro, em conformidade com as normas ABNT.

Apresentado em 17 de Junho de 2016:

BANCA EXAMINADORA

---

**Prof. Msc. Marcelo Albuquerque de Oliveira**  
Orientador

---

**Prof. Msc. Charles Luiz Silva de Melo**  
Presidente

---

**Prof. Msc. Marcos Dantas dos Santos**  
Membro

---

**Prof Msc. Almir Kimura Junior**  
Membro

Manaus - Amazonas  
Junho - 2016

GERALDO FREITAS BARBOSA FILHO

Otimização da Confiabilidade e Usabilidade de Processo Produtivo em Fábrica de Placas de Circuito Impresso do Pólo Industrial de Manaus/ GERALDO FREITAS BARBOSA FILHO. – Manaus - Amazonas, Junho - 2016

80 p. : il. (algumas color.).

Orientador Prof. Msc. Marcelo Albuquerque de Oliveira

Trabalho Acadêmico – Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
Escola Superior de Tecnologia - EST  
Engenharia de Controle e Automação, Junho - 2016.

1. Análise de Confiabilidade. 2. Processo SMD. 2. Gestão de Manutenção. I. Prof. Msc. Marcelo Albuquerque de Oliveira. II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Escola Superior de Tecnologia. IV. Otimização de Confiabilidade e Usabilidade de Processo Produtivo em Fábrica de Placas de Circuito Impresso do Pólo Industrial de Manaus

A Deus, aos meus pais, meus irmãos  
e professores pelo incentivo  
para realização deste  
trabalho.

# Agradecimentos

Os agradecimentos principais são direcionados a Deus, pois foi o principal responsável para que tudo isso fosse possível.

Agradecimentos especiais são direcionados aos meus pais pois foram os que mais me apoiaram no desenvolvimento do curso.

*“A alegria brotou, a tristeza se foi, tudo mudou, te conheci Senhor...”*  
*(Acordi)*

# Resumo

Os equipamentos responsáveis pela montagem de SMD's (dispositivos montados em superfície) são máquinas complexas e de alto desempenho utilizadas na indústria eletrônica para inserir cada componente, seja ele pequeno ou grande, numa Placa de Circuito Impresso (PCB). No processo analisado, essas máquinas estão dispostas seguindo uma configuração em série, e o efeito de uma falha neste tipo de configuração é a mais crítica em relação a configurações de equipamentos em paralelo ou mistas, pois as mais simples falhas podem parar o processo produtivo gerando diversos tipos de desperdícios e, consequentemente, prejuízos financeiros para a empresa. Este artigo visa estudar o comportamento dos equipamentos de um processo de produção SMD, analisar as falhas ocorridas durante o processo e guiar o estudo de sua confiabilidade a fim de permitir, a uma gerência de manutenção, tomadas de decisão sobre como lidar com os equipamentos, com o objetivo de reduzir as taxas de falhas e utilizar de práticas de manutenção adequadas para permitir a maximização da confiabilidade.

**Palavras-chaves:** Análise de Confiabilidade. Processo SMD. Gestão de Manutenção.

# Abstract

SMD (Surface Mounting Devices) are complex and highly capable machines used in the electronics industry to assembly either small or big components on the printed circuit board (PCB). Those machines are very often operated in a series configuration, and the effect of a failure in this type of configuration is the most critical in relation to equipment configurations in parallel or mixed, as the most simple failures can stop the production process. This work aims to assess the behavior of SMD equipment failures to guide a reliability study that enable the maintenance manager to make decisions about how to deal with equipment aiming to reduce failure rates and use proper maintenance practices to allow reliability to be maximized.

**Key-words:** Reliability analysis. SMD Process. Maintenance Management.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Configuracaoparaconceitodelinha . . . . .	14
Figura 2 – EtapasdoProcessodeMontagemSMD . . . . .	15
Figura 3 – DistribuicaodeFalhasemumEquipamento1 . . . . .	20
Figura 4 – TestedeAderencia . . . . .	24
Figura 5 – confiabilidadevstempo . . . . .	25
Figura 6 – taxasdefalhas . . . . .	26
Figura 7 – confiabilidadedalinha . . . . .	26
Figura 8 – Indicadores de Performance de Manutenção . . . . .	27
Figura 9 – Evolução . . . . .	28
Figura 10 – EquipamentosdeumalinhaSMD . . . . .	31
Figura 11 – TelaPRT . . . . .	33
Figura 12 – DownTime . . . . .	33
Figura 13 – dadosgeradosprt . . . . .	34
Figura 14 – dadosfalhasaoi . . . . .	35
Figura 15 – TemposparadaIM . . . . .	37
Figura 16 – DadosWeibullIM . . . . .	38
Figura 17 – testeaderenciaIM . . . . .	38
Figura 18 – parametrosIM . . . . .	39
Figura 19 – graficoprobabilidadeIM . . . . .	39
Figura 20 – confiabilidadeIM . . . . .	40
Figura 21 – novadisposim . . . . .	40
Figura 22 – qtyparadasim . . . . .	41
Figura 23 – espinhadepeixeim . . . . .	41
Figura 24 – estacoesteste . . . . .	41
Figura 25 – serverroom . . . . .	42
Figura 26 – fpy . . . . .	43
Figura 27 – reprovacoes . . . . .	44
Figura 28 – taxareprovacoes . . . . .	44
Figura 29 – espinhareprov . . . . .	45
Figura 30 – analizador . . . . .	46
Figura 31 – analizador1 . . . . .	47
Figura 32 – fluxograma . . . . .	49
Figura 33 – PlanilhaSinais . . . . .	50
Figura 34 – TelaTeste . . . . .	51
Figura 35 – DadosWeibullAOI . . . . .	52
Figura 36 – TesteAderenciaAOI . . . . .	53

Figura 37 – parametrosAOI . . . . .	53
Figura 38 – graficoprobabilidadeAOI . . . . .	54
Figura 39 – confiabilidadeAOI . . . . .	55
Figura 40 – disposicaoAOI . . . . .	56
Figura 41 – qtyparadasAOI . . . . .	56
Figura 42 – EspinhaAOI . . . . .	57
Figura 43 – EspinhaAOI1 . . . . .	58
Figura 44 – fpyAOI . . . . .	59
Figura 45 – maioresofensoresaoi . . . . .	60
Figura 46 – DadosIMposimplementacao . . . . .	62
Figura 47 – dadosIMWeibullPos . . . . .	62
Figura 48 – testeAderenciaIMPos . . . . .	63
Figura 49 – ParametrosIMPos . . . . .	64
Figura 50 – graficoprobabilidadeIMPos . . . . .	65
Figura 51 – confiabilidadeIMPos . . . . .	65
Figura 52 – DadosAOIPos1 . . . . .	66
Figura 53 – dadosAOIWeibullPos . . . . .	66
Figura 54 – testeAderenciaAOIPos . . . . .	67
Figura 55 – parametrosAOIPos . . . . .	67
Figura 56 – graficoprobabilidadeAOIPos . . . . .	68
Figura 57 – confiabilidadeAOIPos . . . . .	68
Figura 58 – Otimização de linha de produção . . . . .	70
Figura 59 – dados falhas dek . . . . .	72
Figura 60 – dados falhas forno . . . . .	73
Figura 61 – dadosfalhasKOHYOUNG . . . . .	73
Figura 62 – dadosfalhasNXT . . . . .	74

# Lista de abreviaturas e siglas

UEA	Universidade do Estado do Amazonas
EST	Escola Superior de Tecnologia
SMD	<i>Surface Mounted Device</i>
FPY	<i>First Pass Yield</i>
AOI	<i>Automated Optical Inspection</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
STB	<i>Setup Box</i>
SMT	<i>Surface Mounted Technology</i>
PDF	<i>Probability Density Function</i>
PRT	<i>Production Report Tool</i>
IM	Inserção Manual
RF	Radio Frequência
OCR	<i>Optical Character Recognition</i>
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
RPM	Rotações por Minuto

# Sumário

	<b>Lista de ilustrações</b>	<b>9</b>
	<b>Sumário</b>	<b>12</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	<b>Problema de Pesquisa</b>	<b>15</b>
1.2	<b>Justificativa</b>	<b>15</b>
1.3	<b>Objetivos</b>	<b>16</b>
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivo Específico	16
1.4	<b>Metodologia</b>	<b>16</b>
1.5	<b>Organização do Trabalho</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>19</b>
2.1	<b>Introdução</b>	<b>19</b>
2.2	<b>Processo de Montagem SMT</b>	<b>19</b>
2.3	<b>ANÁLISE DOS DADOS</b>	<b>21</b>
2.3.1	Tratamentos numéricos de dados coletados	21
2.4	<b>Conceitos de Gestão e Manutenção</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>29</b>
3.1	<b>Coleta dos dados das principais falhas no processo produtivo</b>	<b>29</b>
3.1.1	Coleta dos dados das principais falhas no processo produtivo	32
3.1.2	Procedimento para coleta dos dados	32
3.2	<b>Análise das principais falhas - Inserção Manual</b>	<b>36</b>
3.2.1	Confiabilidade da etapa de Inserção Manual	36
3.2.2	Reconhecimento das falhas	37
3.2.3	Análise das possíveis causas dos problemas	37
3.2.4	Desenvolvimento e implementação de providências	45
3.2.5	Desenvolvimento de Procedimento para Monitoramento dos Sinais de RF oriundos da sala central de servidor	48
3.3	<b>Análise das principais falhas - AOI Machine</b>	<b>51</b>
3.3.1	Confiabilidade da etapa de Inspeção Visual Automatizada	51
3.3.2	Reconhecimento das falhas	53
3.3.3	Análise das possíveis causas dos problemas	55
<b>4</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS</b>	<b>61</b>

---

<b>4.1</b>	<b>Dados da IM após implementação de providências . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>4.2</b>	<b>Dados da AOI após implementação de providências . . . . .</b>	<b>63</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>69</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>71</b>
	<b>APÊNDICE A – FALHAS DO PROCESSO PRODUTIVO . . . . .</b>	<b>72</b>

# 1 Introdução

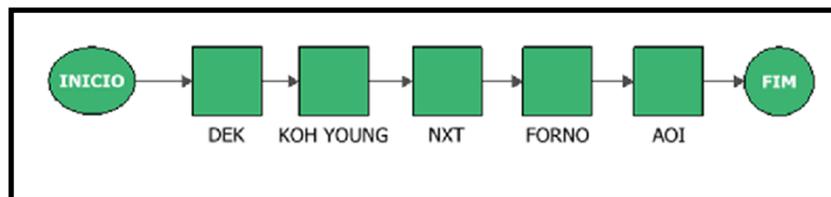
Os equipamentos responsáveis pela montagem de dispositivos em superfície (SMD's), são máquinas complexas e de alta performance usadas na indústria eletrônica para acoplar cada componente, seja ele pequeno ou grande, numa Placa de Circuito Impresso (PCB).

Essas máquinas são normalmente dispostas seguindo uma configuração em série. Configuração essa que deixa a confiabilidade do processo significativamente comprometida, visto que as mais simples falhas no processo podem parar a linha gerando diversos tipos de desperdícios e, conseqüentemente, prejuízos financeiros para a empresa.

Este trabalho visa estudar através de um estudo de caso o comportamento dos equipamentos de uma linha SMD, analisar as falhas ocorridas durante o processo e guiar o estudo de sua confiabilidade para permitir à gerencia de manutenção tomadas de decisão sobre como lidar com a usabilidade dos equipamentos a fim de reduzir as taxas de falhas e usar das práticas de manutenção que permitam a maximização da confiabilidade.

A Figura 1 mostra uma configuração aplicada que exemplifica o conceito de uma linha.

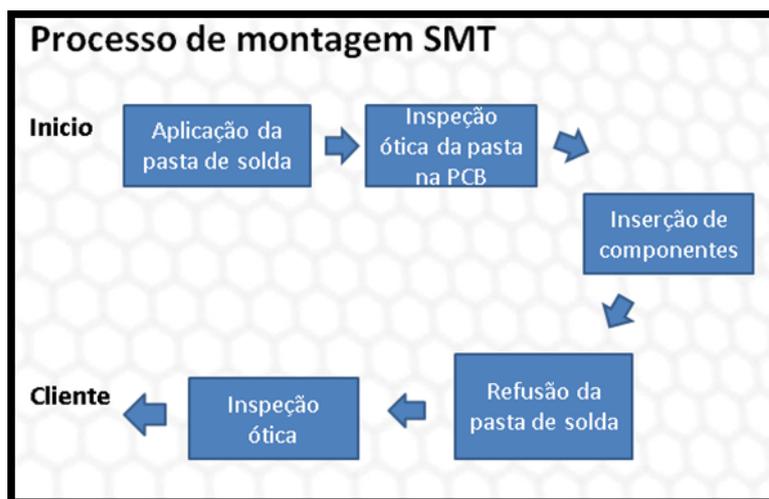
Figura 1 – Configuração para Conceito de Linha



Fonte: Autor

Tal configuração é bastante comum em processos de produção SMD. A Figura 2 mostra uma configuração típica para uma linha de SMD.

Figura 2 – Etapas do processo de montagem SMD



Fonte: Autor

## 1.1 Problema de Pesquisa

Nas últimas décadas, podem se encontrar inúmeros estudos sobre os métodos de otimização de processo produtivo. Uma das principais questões nesses estudos é a aplicação de métodos que melhoram a performance do processo, seja deixando-o mais confiável ou melhorando sua performance. De modo geral, verifica-se quais são os principais problemas ou motivos que levam o processo a parar e, em cima deles, são pensados meios para melhorar tal processo. Em estudos mais avançados, considera-se também cálculos de confiabilidade dos equipamentos.

Porém, na vasta pesquisa bibliográfica realizada, é encontrado um limitado referencial bibliográfico acerca de estudos práticos empregando o estudo da confiabilidade em processos de SMD no pólo industrial de Manaus, os quais possibilitam a otimização da confiabilidade e usabilidade de equipamentos de processo produtivo.

## 1.2 Justificativa

A realização de estudos que possibilitam a otimização da confiabilidade e usabilidade de máquinas de alta performance envolve a utilização de vários conceitos estudados nas disciplinas de Engenharia de Controle e Automação, tais como: Manutenção de Equipamentos Elétricos, Gestão de Operações, Confiabilidade e Usabilidade de Equipamentos, Eletrônicas Analógica e Digital, dentre outras.

O presente projeto de pesquisa se justifica pela possibilidade de otimização da confiabilidade e usabilidade de máquinas de alta performance em um processo produtivo permitindo à gerência de manutenção tomadas de decisão que diminuam taxas de falhas

e *downtimes*, evitam paradas de linha desnecessárias e, conseqüentemente, possibilitam a redução de prejuízos e desperdícios tais como os de tempo e mão-de-obra parada. Sendo assim, a melhora da performance do processo e a diminuição de paradas de linha respectivamente aumentam a capacidade do processo e maximizam a produtividade do processo, gerando lucros e reduzindo gastos para empresa.

Por exemplo, na empresa a ser estudada, a confiabilidade da etapa de Inserção Manual, que deveria ser bem próximo a 100%, para um período de 1000 horas, vale 0,0011%. Um valor absurdamente baixo.

E na etapa de Inspeção Visual, tem-se um valor de confiabilidade para um período de 250 horas de 0,0006%, e um valor de confiabilidade menor ainda para um período de  $t=1000$  hs.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

Calcular a confiabilidade atual do processo produtivo em fábrica de PCB's, definir critérios para sua otimização e implementá-los em ambiente real de produção.

### 1.3.2 Objetivo Específico

1. Aumentar a confiabilidade da etapa de inserção manual de 0,0011% para pelo menos 30% para um período de 1000 horas.
2. Aumentar a confiabilidade do equipamento de inspeção visual automatizada *AOI* de 0,0006% para, pelo menos, 10% para um período de 1000 horas.
3. Implementar o modelo de análise de confiabilidade durante o primeiro semestre de 2016
4. Implementar sistemática de metodologias de análise de falhas
5. Reavaliar os planos de manutenção preventiva com base na taxa de falhas e histórico de falhas dos equipamentos;

## 1.4 Metodologia

O presente trabalho será uma pesquisa aplicada, cujo objetivo é a realização de uma pesquisa exploratória e explicativa sobre o material bibliográfico e de campo adquiridos sobre o assunto. Os procedimentos técnicos a serem utilizados serão os de pesquisa experimental e estudo de caso. Como método de abordagem, será utilizado o método hipotético dedutivo e a elaboração seguirá o método de procedimento

monográfico. A coleta de dados será feita através da observação direta intensiva, análise e interpretação de dados, sendo estes dados qualitativos e interpretados de forma global.

Primeiramente serão feitas pesquisas bibliográficas na área de engenharia de confiabilidade, máquinas elétricas, equipamentos eletrônicos, processo produtivo, tecnologia de montagem de superfície (SMT), gestão e manutenção de equipamentos, manuseio dos softwares *Weibull* e *Blocksim* para apoio ao estudo da confiabilidade.

Os estudos em campo serão aplicados na fábrica para coleta de dados, buscando desenvolver análises com a ajuda de gráficos gerados por softwares para acompanhamento do comportamento das máquinas do processo produtivo. Quando a proposta de otimização estiver em funcionamento, estes dados servirão de embasamento para verificação de melhorias de confiabilidade, usabilidade, qualidade e investimento orçamentário.

A elaboração dos métodos de manutenção será dividida em quatro etapas:

A primeira etapa será a coleta de dados dos tempos das falhas de cada equipamento e o *input* desses dados nos softwares *Weibull* e *Blocksim* para cálculo da confiabilidade de cada equipamento, da confiabilidade do processo inteiro e da estipulação do *target* de confiabilidade o qual se deseja alcançar.

A segunda parte será constituída da análise das falhas obtidas durante o processo e elaboração de medidas a serem aplicadas a fim de que se diminuam ou que se evitem que as falhas ocorram novamente.

A terceira parte será constituída da implementação, em ambiente real de produção de PCB's, das novas providências definidas para manutenção dos equipamentos.

A quarta parte é constituída da aquisição de dados para o cálculo da nova confiabilidade e verificação das melhorias de qualidade e econômicas para a empresa.

## 1.5 Organização do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos para seu melhor entendimento. A subdivisão em capítulos é a seguinte:

- Introdução (Capítulo I)
- Revisão Bibliográfica (Capítulo II)
- Materiais e Métodos (Capítulo III);
- Resultados e Discussão (Capítulo IV);
- Conclusões (Capítulo V);

No Capítulo 1 está apresentado o tema e sua contextualização no meio tecnológico, mais especificamente na área de Processo Produtivo e Cálculos de Confiabilidade, além da problemática, objetivos gerais e específicos, justificativa e motivação para o trabalho, metodologia passo-a-passo.

O Capítulo 2 Revisão Bibliográfica aborda a apresentação de pesquisas relacionados a essa monografia, encaixando-a no contexto científico, descrevendo as principais semelhanças e diferenças com os trabalhos já publicados. Há também um referencial teórico, direto e aplicado, necessário ao desenvolvimento do projeto. Isso ocorre apresentando os tópicos relevantes por meio da visão de autores de obras consultadas e de trabalhos de pesquisa voltados para teorias e tecnologias aplicadas nesta monografia.

No Capítulo 3 descreve-se como foi realizado o processo do desenvolvimento. Além disso, todas as etapas da metodologia são detalhadas, descrevendo-se o que foi necessário implementar para a realização dos testes e obtenção de dados de parada de linha.

No Capítulo 4 apresentam-se os resultados obtidos com a aplicação dos métodos mencionados e discutem-se os resultados obtidos, comparando-os, sempre que possível, com os resultados extraídos da literatura.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões finais e as sugestões de trabalhos futuros. Os resultados são comparados, e uma conclusão é formulada, de acordo com o tema proposto, buscando-se determinar os métodos de otimização de processo e manutenções mais eficientes, levando em consideração as taxas de falhas e *downtime* obtidas no processo.

## 2

# Referencial Teórico

## 2.1 Introdução

Neste capítulo é apresentada uma revisão da literatura sobre os equipamentos responsáveis pela montagem de dispositivos em superfície, os quais são máquinas complexas e de alto desempenho utilizadas na indústria eletrônica para inserção de componentes SMD (Dispositivos Montados em Superfície), sejam eles pequenos ou grandes, em Placas de Circuito Impresso (PCB).

No processo analisado, essas máquinas estão dispostas seguindo uma configuração em série, configuração essa que deixa a confiabilidade do processo significativamente comprometida, visto que as mais simples falhas no processo podem parar a linha gerando diversos tipos de desperdícios e, conseqüentemente, prejuízos financeiros para a empresa, tornando-a menos competitiva.

Não se encontra um número significativo de trabalhos aplicando estudos de confiabilidade em processo produtivo de SMD's e, os que se encontram, utilizam uma abordagem distinta deste. Trata-se de um método de otimização de processo produtivo, em uma fábrica de PCB's, que trata de falhas no processo que fazem a linha de produção parar utilizando uma análise de confiabilidade baseada nos dados de falhas dos equipamentos em um determinado período de tempo.

Para resolver o problema das falhas em uma linha de produção de SMD, este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento dos equipamentos, analisar as falhas ocorridas durante o processo e guiar o estudo de sua confiabilidade para permitir, a gerencia de manutenção, tomadas de decisão sobre como lidar com a usabilidade dos equipamentos a fim de reduzir as taxas de falhas e usar das práticas de manutenção que permitam a maximização da confiabilidade.

## 2.2 Processo de Montagem SMT

A abordagem de equipamentos complexos, tais como máquinas de SMD, é geralmente feita utilizando um modelo "*black-box*" (entrada, atuação do equipamento na placa e saída), que se encaixa em modelo matemático caso ocorram falhas. Portanto, o processo pode ser equiparado ao conjunto de subsistemas dispostos em série. E o subsistema a ser trabalhado de modo imediato poderia ser aquele que é fonte de

muitas falhas e/ou fonte d'aquelas falhas que afetam fortemente o desempenho e a confiabilidade do equipamento em geral.

Como os dados anteriores e posteriores sobre falhas de equipamentos não estão disponíveis, dados de falhas devem ser registrados para que se possa permitir a classificação. Porém, numa primeira abordagem, é necessário pesquisar a frequência com que tais equipamentos param, não importando o tipo de falha. Embora o comportamento probabilístico de falhas dependa da natureza do componente (se mecânica, elétrica, etc.), não há tempo para coletar dados, além disso, (LEVITT, 1997) e outros autores afirmam que, na maioria dos casos, um modo de falha dominante está presente e isso permite uma primeira abordagem sobre quais ações de manutenção poderiam ser tomadas para aperfeiçoar a confiabilidade.

Desta forma, os dados de falha SMD foram coletados e analisados para descobrir como os equipamentos se comportam em relação às falhas. Assim, equipamentos foram identificados e as falhas foram registadas durante um período de 6 meses.

A Figura 3 mostra exemplo de dados para um desses equipamentos. Na primeira coluna, temos a distribuição dos tempos, em horas, de cada falha. Tomando-se como início do processo o instante  $h=0$ , a primeira falha veio a ocorrer no instante  $h=28$ ; a segunda no instante  $h=44$ ; a terceira no instante  $h=162$ ; e assim por diante. Na segunda coluna, encontra-se o subconjunto ou subsistema que é o equipamento que está sendo monitorado. Neste caso, essa distribuição é referente a uma maquina que faz a inserção da pasta de solda (*Dek*). Na terceira coluna, mais à direita, encontra-se a opção onde é possível escolher o modelo de distribuição que se deseja utilizar para aplicar os dados que foram inseridos na primeira e segunda coluna.

Figura 3 – Distribuição de falhas em um equipamento

The screenshot shows the 'STANDARD FOLIO' window in Weibull++ software. The main area contains a table with the following data:

	Tempo Falha (h)	Subconjunto ID 1
1	28	DEK
2	44	DEK
3	162	DEK
4	166	DEK
5	235	DEK
6	238	DEK
7	426	DEK
8	438	DEK
9	810	DEK
10	948	DEK
11	952	DEK
12	1187	DEK
13	1274	DEK
14	1572	DEK
15	1632	DEK
16		
17		
18		

On the right side, the 'Distribuição' dropdown menu is set to '2P-Weibull'. Below it, the 'Configurações da Análise' section shows 'RRX' and 'SRM' selected in the first row, and 'FM' and 'MED' selected in the second row.

Fonte: ReliaSoft Corporation Weibull++ 6.0 Software Package

## 2.3 ANÁLISE DOS DADOS

### 2.3.1 Tratamentos numéricos de dados coletados

Uma breve descrição das distribuições utilizadas será apresentada neste trabalho.

A distribuição estatística é completamente descrita por sua função de densidade de probabilidade ou *pdf*. A função confiabilidade, a função taxa de falha, a função média do tempo e a função de tempo de vida etc, podem ser determinadas a partir da definição *pdf*, ou  $f(t)$ . Para qualquer distribuição, o parâmetro ou parâmetros de distribuição são estimados a partir dos dados.

A distribuição de *Weibull* é uma distribuição geral de confiabilidade com o propósito usado para modelar resistência do material, os tempos até falha de componentes eletrônicos e mecânicos, equipamento ou sistemas. É uma distribuição versátil que pode assumir as características de outros tipos de distribuições, com base no valor do parâmetro de forma  $\beta$ .

A distribuição exponencial é uma distribuição comumente usada em engenharia de confiabilidade. Como é uma distribuição bastante simples, muitas vezes leva à sua utilização em situações inadequadas. A distribuição exponencial é usada para modelar o comportamento das unidades que têm uma taxa constante de falhas (ou unidades que não se degradam com o tempo ou se desgastam). É geralmente aplicada a dados com forte assimetria, ou seja, apresentando uma forma de "J" invertido. Sua função densidade de probabilidade é assim descrita:

$$f(x) = \left\{ \frac{\exp(-\frac{x}{\bar{x}})}{\bar{x}} \quad ; \text{para } x > 0 \right\} \quad \text{ou} \quad f(x) = 0 \quad ; \text{para } x < 0 \quad (2.1)$$

Sua função de distribuição acumulada é do tipo:

$$F(x) = \int_0^x f(x) = 1 - \exp \frac{-x}{\bar{x}} \quad (2.2)$$

O único parâmetro da distribuição, como foi visto, é a média.

A distribuição *Gamma* é um modelo de distribuição flexível que pode oferecer um bom ajuste para alguns conjuntos de vida dos dados. Não é, no entanto, amplamente utilizado como um modelo para a distribuição de falhas comuns de mecanismos de vida. A distribuição *Gamma* surge naturalmente como uma distribuição de tempo-para-primeira-falha por um sistema com backups em *standby* exponencialmente distribuídos, e também é uma boa opção para a soma de variáveis aleatórias exponenciais independentes. Tem aplicações na análise Bayesianas como uma distribuição prévia e, também, é comumente usado na teoria das filas (*queuing theory*). Se  $x$  for uma variável aleatória contínua, tal que  $(0 < x < \infty)$ , com distribuição

gama de parâmetros  $\alpha > 0$  e  $\beta > 0$ , então a sua função densidade de probabilidade é definida como:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad , 0 < x < \infty \quad (2.3)$$

Sendo  $F(x)$  a probabilidade de ocorrência de um evento menor ou igual a  $x$ , pode-se escrever que a função de distribuição acumulada de probabilidade é representada pela função gama incompleta, segundo (THOM, 1958):

$$F(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x u^{\alpha-1} e^{-\frac{u}{\beta}} du \quad (2.4)$$

em que,

$F(x)$  = probabilidade de ocorrer um valor menor ou igual a  $x$ ;

$x$  = variável aleatória contínua;

$\Gamma(\alpha)$  = função gama do parâmetro alfa;

$\alpha$  = parâmetro de forma da variável aleatória  $x$ ;

$\beta$  = parâmetro de escala da variável aleatória  $x$ ; e

$e$  = base do logaritmo neperiano (2,718281828...).

Segundo (CATALUNHA M. J SEDIYAMA, 2002), algumas formas de estimar os parâmetros da distribuição gama foram desenvolvidas, contribuindo, junto com a sua flexibilidade de formas, para sua utilização em diversas áreas (??). O principal método para estimar seus parâmetros é o método de máxima verossimilhança; que para satisfazer a condição  $\alpha > 0$  (por definição) e após algumas considerações matemáticas na Equação original 2.4 a solução que interessa é:

O estimador do parâmetro,  $\beta$ , pode ser obtido por:

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (2.5)$$

sendo  $\bar{x}$  a média aritmética e  $x_g$  a média geométrica das observações.

A função de distribuição acumulada da distribuição de probabilidade gama possui integral que pode ser resolvida por métodos numéricos ou pelo desenvolvimento em série de uma expressão exponencial.

A distribuição *Weibull* é uma distribuição geral de confiabilidade com o propósito usado para modelar resistência do material, os tempos até falha de componentes eletrônicos e mecânicos, equipamento ou sistemas. É uma distribuição versátil que pode assumir as características de outros tipos de distribuições, com base no valor do parâmetro de forma,  $\beta$ . Foi proposta primeiramente por *Fisher* e *Tippet*, em

1928, tendo sido desenvolvida independentemente por *Walodi Weibull*, físico sueco em 1939.

A Distribuição *Gumbel* também é referente ao extremo menor valor (SEV) distribuição ou o extremo menor valor Tipo I de distribuição. A distribuição de *Gumbel* é apropriada para a força de modelagem, o que é, por vezes, inclinado para a esquerda (poucas unidades fracas na cauda inferior, a maioria das unidades na cauda superior da população força). A distribuição *Gumbel* pode também ser apropriada para modelar a vida dos produtos que experimentam muito rápido de desgaste depois de atingir certa idade. A distribuição dos logaritmos muitas vezes pode ser modelada com a distribuição de *Gumbel*. Também conhecida como distribuição valor extremo, surge como distribuição limite para máximos ou mínimos (valores extremos) de uma amostra de variáveis aleatórias independentes, identicamente distribuídas, quando o tamanho da amostra aumenta, conforme afirma (HARTMANN M.; MOALA, 2011).

Para este estudo, os dados de falhas das máquinas serão coletados e agrupados para cada um. Um estudo profundo para cada máquina deve ser feito separando todas as falhas por suas especificidades de modos de falha e analisar aqueles que causam mais impacto para o desempenho da máquina.

Será feito um teste de aderência e uma estimativa da distribuição adequada para cada grupo de dados para cada equipamento. Depois, a estimativa de confiabilidade será calculada com o período de tempo informado para o equipamento. Assim, os próximos passos serão para modelar os estágios e obter o modelo de confiabilidade para uma linha de produção inteira.

Os resultados serão analisados e uma proposta de melhoria do desempenho das máquinas, e da linha, será recomendada.

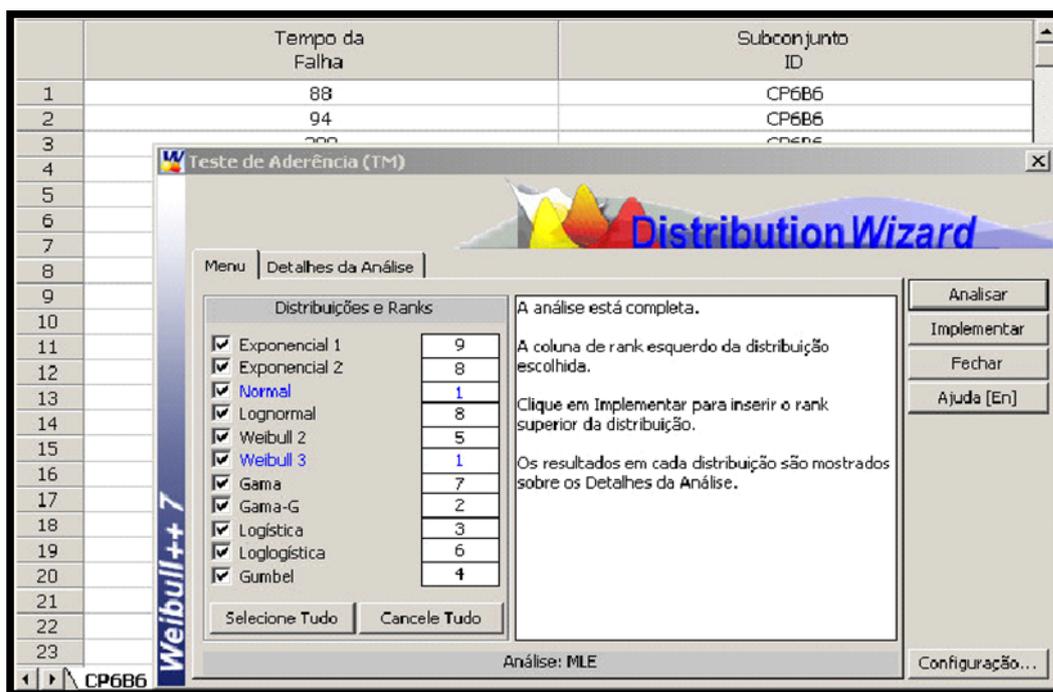
## 2.4 Conceitos de Gestão e Manutenção

Os conceitos de manutenção tiveram vários avanços nos últimos anos, desde a estratégia corretiva, até a aplicação de confiabilidade como forma de melhorias.

Como a maior parte das tarefas de manutenção é reativa às falhas ou interrupções de produção, o único foco da manutenção é a rapidez com que a máquina ou o sistema pode ser retornado ao serviço. Enquanto o aparelho funcionar a um nível mínimo aceitável, a manutenção será considerada eficaz.

Esta abordagem para a gestão da manutenção é ineficaz e extremamente cara. Manutenção Breakdown tem dois fatores que são os principais contribuintes para alta dos custos de manutenção: mau planejamento e reparação incompleta. Segundo HIGGINS, 2002, o primeiro colapso de limitação de manutenção é que a maioria

Figura 4 – Teste de Aderência



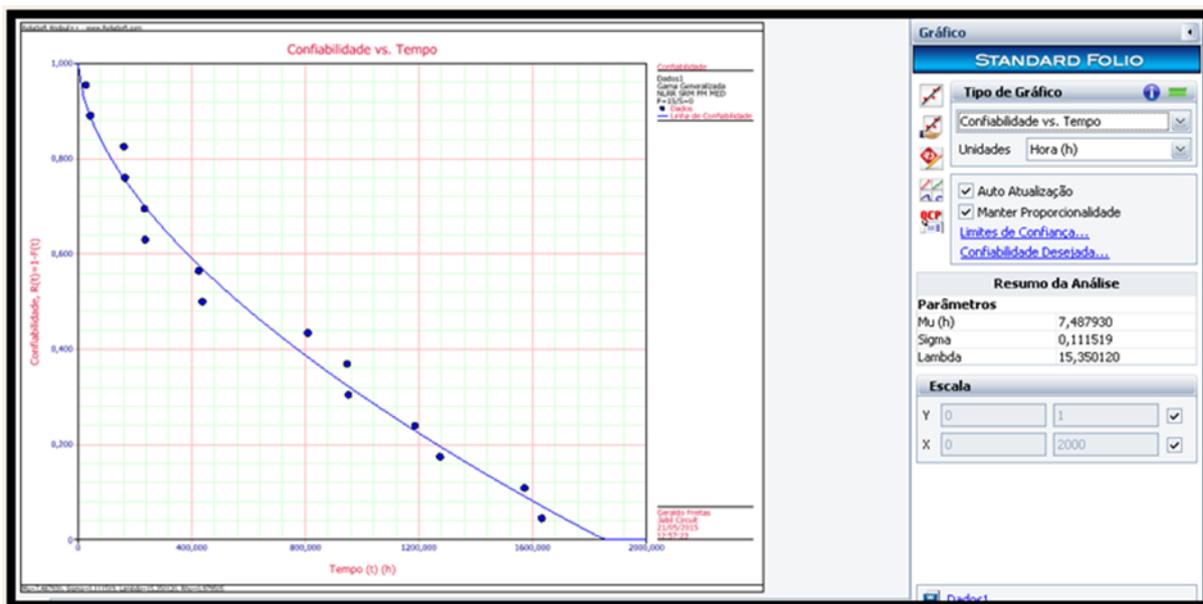
Fonte: ReliaSoft Corporation Weibull++ 6.0 Software Package

dos reparos é mal planejada por causa das restrições de tempo impostas pela produção e gestão de instalações. Como resultado, a utilização de recursos humanos e utilização eficaz de manutenção de recursos são mínimas. Normalmente, avaria ou manutenção reativa custa mais do que o mesmo reparo quando é bem planejada.

O segundo colapso de limitação de manutenção é que se concentram reparos em sintomas evidentes do fracasso, não na causa raiz. Como resultado, a fiabilidade da máquina ou do sistema é severamente reduzida. Os resultados normais de manutenção de repartição é um aumento na frequência de reparações e um aumento marcado nos custos de manutenção.

A manutenção preventiva tem sido reconhecida como extremamente importante na redução dos custos de manutenção e melhoria da confiabilidade do equipamento. Praticá-la assumem muitas formas. Dois principais fatores que devem controlar a extensão de um programa de prevenção estão em primeiro lugar, primeiro o custo do programa em comparação com o cuidado na redução medida em custos totais de reparação e melhora do desempenho do equipamento; segundo, o por cento de utilização do equipamento mantida. Se o custo de preparação para a inspeção de manutenção preventiva é essencialmente o mesmo que o custo de reparação após uma falha acompanhada por inspeções preventivas, a justificativa é pequena. Se, em outras mãos, a avaria pode resultar em graves danos ao equipamento e uma medida mais de reparação dispendiosa, o tempo de inspeção e programação devem

Figura 5 – Confiabilidade vs tempo



Fonte: ReliaSoft Corporation Weibull++ 6.0 Software Package

ser considerados.

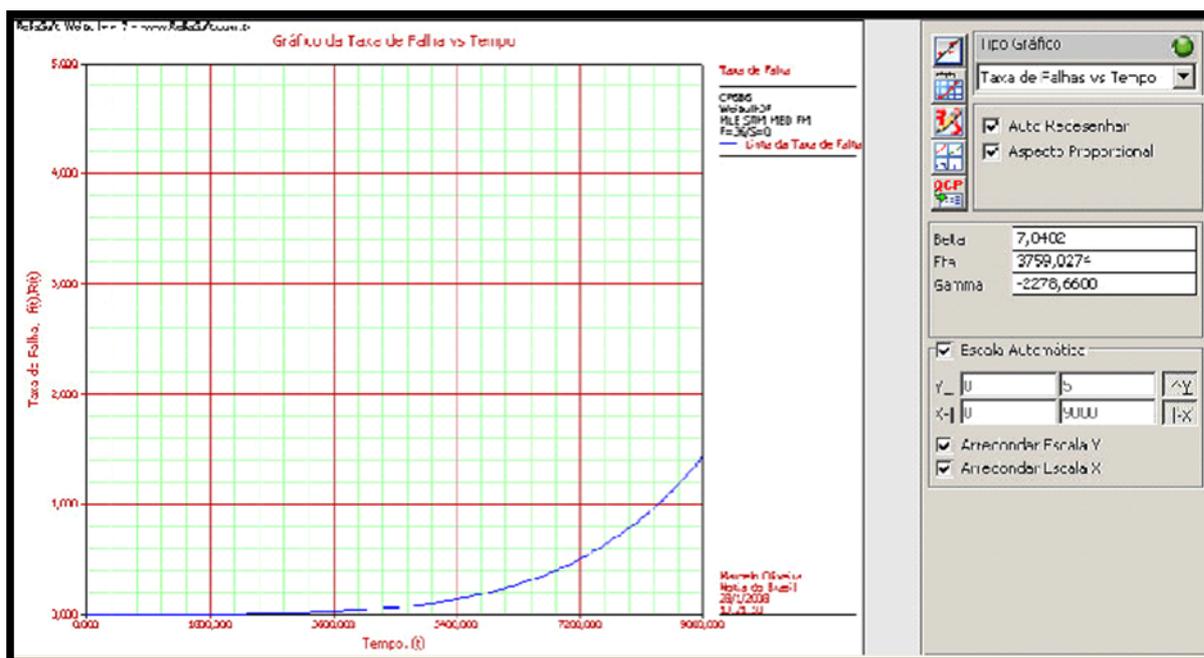
A principal diferença entre a manutenção corretiva e preventiva é que um problema deve existir antes da adoção de medidas corretivas. Tarefas preventivas destinam-se a evitar a ocorrência de um problema. E tarefas corretivas a corrigem os problemas existentes. Segundo OLIVEIRA, 2008, a manutenção preventiva, ao contrário, está focada em regular tarefas planejadas que irão manter todas as máquinas críticas da planta e sistemas em ótimas condições de funcionamento. A eficácia da manutenção é julgada sobre os custos do ciclo de vida da planta de sistemas de máquinas críticas, e não sobre o quão rápido uma máquina quebrada pode ser devolvida para o processo. Manutenção corretiva, como um subconjunto de um programa abrangente de manutenção preventiva, é uma abordagem proativa para gerenciamento de manutenção.

O objetivo fundamental desta abordagem é eliminar avarias, desvios, más condições de funcionamento, e reparos desnecessários e aperfeiçoar a eficácia de todos os sistemas críticos de plantas. O principal conceito de manutenção corretiva é que, adequadas, reparos completos de todos os problemas incipientes são feitas em uma base conforme necessário, conforme OLIVEIRAeCARDOSO, 2008.

Todos os reparos seriam bem planejados, implementados por técnicos devidamente treinados, e verificado antes da máquina ou do sistema ser retornado ao processo.

A Figura 8 apresenta os pontos chaves indicadores de desempenho em função da meta a ser atingida. As setas para cima ou para baixo indicam quais devem aumentar

Figura 6 – Taxa de falhas



Fonte: ReliaSoft Corporation Weibull++ 6.0 Software Package

Figura 7 – Confiabilidade da Linha

DEK	$R(t=1000) =$	0,294372
KOHYOUNG	$R(t=1000) =$	0,658542
NXT	$R(t=1000) =$	0,291537
FORNO	$R(t=1000) =$	0,391628
AOI	$R(t=1000) =$	0,674701

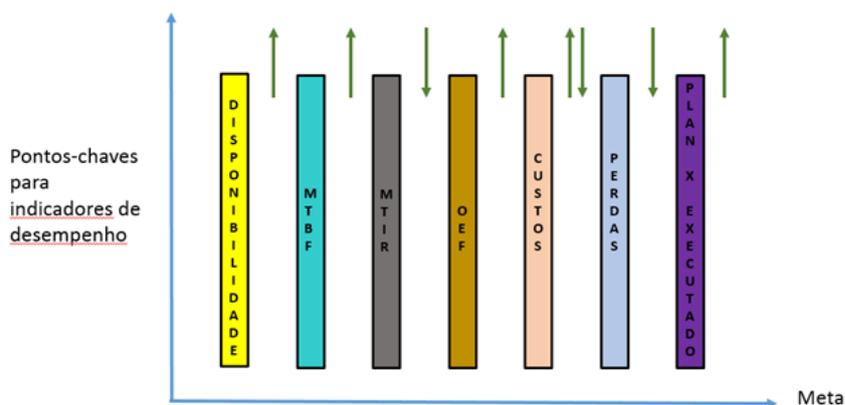
Confiabilidade(1000):	0,133
-----------------------	-------

Fonte: Autor

e quais devem diminuir para se atingir a uma determinada meta.

Um programa de manutenção abrangente incluirá manutenção preditiva, o tempo de manutenção de tarefas e manutenção corretiva para fornecer um suporte abrangente para todos os sistemas de produção ou de fabricação da planta. Segundo OLIVEIRAeCARDOSO, 2008, a manutenção preditiva é talvez a mais incompreendida e mal interpretada de todos os programas de melhoramento de plantas. A maioria dos usuários define-a como um meio para evitar uma falha catastrófica de máquinas críticas rotativas. Outros definem manutenção preditiva como uma ferramenta de agendamento de manutenção que usa vibrações e dados de análise de óleo infra-

Figura 8 – Indicadores de Performance de Manutenção



Fonte: Estudos de confiabilidade para uma linha de produção de telefones celulares

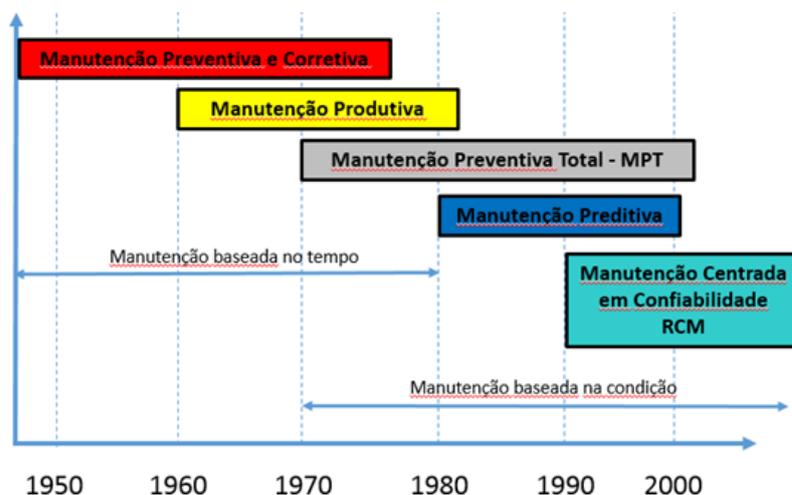
vermelhos ou lubrificantes para determinar a necessidade de ações de manutenção corretiva. Devido a esses equívocos, a maioria dos programas de manutenção preditiva estabelecidas não foi capaz de alcançar uma diminuição acentuada nos custos de manutenção ou a melhoria mensurável no desempenho geral da planta. Ainda segundo OLIVEIRAeCARDOSO, 2008, a manutenção preditiva é uma técnica de gestão que, em termos simples, usa regularmente avaliação da condição real de operação de equipamentos da fábrica, sistemas de produção e funções de gestão de fábrica para aperfeiçoar a operação total da planta. A saída de um programa preditivo de manutenção é de dados. Tecnologias de previsão podem ser usadas para mais do que apenas medir a condição operacional de máquinas críticas da planta. A tecnologia permite a avaliação precisa de todos os grupos funcionais, tais como manutenção, dentro da companhia. Usado corretamente, a manutenção preditiva pode identificar a maioria, se não todos, fatores que limitam a eficácia e eficiência do total da planta.

Ao longo dos anos a manutenção evoluiu significativamente, saindo de um conceito puramente corretivo para um conceito mais preventivo, conforme demonstrado na Figura 9.

Para alcançar esses objetivos, o programa de manutenção preventiva deve identificar corretamente a causa raiz de problemas incipientes. Muitos dos programas estabelecidos não atendem a esse requisito fundamental.

Uma das ferramentas mais importantes na minimização do tempo de parada é conhecida como engenharia preventiva. Embora esta pareça ser a aplicação de senso comum para equipamentos de engenharia de manutenção, é um campo muitas vezes negligenciado. Demasiadas vezes, os engenheiros não encontram oportunidade de analisar o que fazem, pela falha de se manterem completamente ocupados (OLI-

Figura 9 – Evolução dos conceitos de Manutenção



Fonte: Estudos de confiabilidade para uma linha de produção de telefones celulares

VEIRAeCARDOSO, 2008).

Enquanto a maioria dos engenheiros não foca em detalhes tais como melhores embalagens, melhoras nos sistemas de lubrificação etc., a verdadeira engenharia preventiva vai mais longe do que isso e, na verdade, consiste em por de lado uma quantidade específica de técnicos de mão de obra para analisar os incidentes de discriminação e de determinar onde é necessário o esforço real, reduzindo a frequência de falhas e o custo do reparo. Um dos melhores modelos de melhoria contínua é a aplicação de manutenção centrada em confiabilidade (RCM).

As técnicas são uma consequência das investigações sobre a confiabilidade por parte dos fabricantes de aeronaves, companhias aéreas e do governo. O processo é geralmente um esforço de equipe com membros de ambas as operações e manutenção. Um especialista em RCM com bom conhecimento do processo facilita ao andamento do processo.

# 3

## Materiais e Métodos

### 3.1 Coleta dos dados das principais falhas no processo produtivo

Neste capítulo serão abordados, de maneira detalhada, cada etapa da metodologia utilizada neste projeto, e quais foram os materiais utilizados em cada etapa.

Primeiramente, foram feitas pesquisas bibliográficas na área de engenharia de confiabilidade, máquinas elétricas, equipamentos eletrônicos, processo produtivo, tecnologia de montagem de superfície (SMT), gestão e manutenção de equipamentos, manuseio dos softwares *Weibull* e *Blocksim* para apoio ao estudo da confiabilidade. Estas pesquisas foram apresentadas de forma sintética no capítulo do referencial teórico e serviram de base para esta pesquisa.

Os estudos em campo estarão sendo aplicados em fábrica para coleta de dados, buscando desenvolver análises com a ajuda de gráficos gerados por softwares para acompanhamento do comportamento das máquinas do processo produtivo. Quando a proposta de otimização estiver em funcionamento, estes dados servirão de embasamento para verificação de melhorias de confiabilidade, usabilidade, qualidade e investimento orçamentário.

A elaboração dos métodos de manutenção será dividida em quatro etapas:

A primeira será a coleta de dados dos tempos das falhas de cada equipamento. A coleta de dados será feita durante os meses de janeiro até abril. Esses dados se referem a duas variáveis principais: que são os tempos de cada parada de linha por equipamento e, especificamente, os motivos das paradas. Estes dados estarão sendo obtidos através de uma aplicação interna da fábrica chamada PRT – *Production Report Tool*, sendo este de controle da área de manufatura.

Em seguida, com os dados dos tempos de paradas, serão realizados na primeira metade do mês de abril, os cálculos da confiabilidade da linha inteira e os cálculos de confiabilidade de cada equipamento. Após este cálculo, com a ajuda dos softwares *Weibull* e *BlockSim* será estimada os valores de confiabilidade para uma linha otimizada com base num valor de confiabilidade estipulado como objetivo.

A terceira parte será constituída da implementação, em ambiente real de produção de PCB's, das novas providências definidas para manutenção dos equipamentos.

Além disso, serão elaborados projetos que terão como finalidade a otimização da linha de produção e, principalmente, a diminuição das paradas de linha e dos tempos de parada. Com os dados de falhas, que são as paradas de linha e os motivos das paradas, juntamente com os *downtimes*, serão feitas análises das possíveis causas-raízes das falhas do processo e elaboração de medidas a serem aplicadas a fim de que se diminuam ou que se evite que as falhas ocorram novamente.

A implementação desses projetos deverá ocorrer em maio.

A quarta parte é constituída da aquisição de dados para o cálculo da nova confiabilidade e verificação das melhorias de qualidade e econômicas para a empresa.

Após a coleta de dados, é necessário compreender a distribuição de falhas, por isso, uma análise baseada no *Weibull 7.0* será realizada.

Usando uma metodologia de estimativa, é possível encontrar a distribuição adequada que modelará os dados. O primeiro trabalho a ser feito após a coleta de dados é um teste de aderência. Este procedimento serve para identificar a distribuição que melhor se ajusta aos dados de falhas e serve também para encontrar os parâmetros da distribuição e, depois disso, podem ser feitas estimativas de Confiabilidade.

A linha de produção tem três etapas básicas como segue: processo de SMD, processo de teste e Processo de montagem. O primeiro tem um grupo de equipamentos de onde os dados vieram.

A área de SMD é agrupada por Inserção, Forno, Pasta de impressão, Dispensação e máquina de Inspeção Ótica Automatizada (AOI).

O processo começa com o processo de inserção de pasta. É um tipo de máquina responsável por aplicar a pasta de solda na superfície da placa de circuito impresso. Depois, a inspeção de qualidade é feita para evitar falhas relacionadas à distribuição de pasta de solda (curto-circuito, má colocação e *tombstone*).

O processo de inserção é configurado por um grupo de máquinas (neste estudo CP-7 e QP-3 séries). Eles são um tipo de máquinas que aplicam os componentes na placa em sequência seguindo um programa feito por um especialista em SMD. Os componentes são alimentados na máquina usando uma máquina *Feeder*.

O próximo passo é o que chamamos de processo de refusão da pasta de solda em forno. Neste passo, os componentes estão em solda na placa de circuito. Uma temperatura adequada é configurada de acordo com a curva de temperatura desenvolvida para cada produto ou componente. A Figura 10 mostra uma configuração típica para uma linha inteira.

Os passos para o lado *Bottom* do SMD, sobre o processo de impressão de pasta, inserção e de forno, são os mesmos relatados para o lado Top. Dois passos para o lado *Bottom* são adicionados e são chamados Inspeção Visual e Máquina dispensadora.

Figura 10 – Equipamentos de uma linha SMD



Fonte: Autor

A etapa da AOI é uma parte do processo em que a placa de circuito é analisada para mostrar os problemas do processo de inserção ou dos processos anteriores (fluxo, forno, transporte nos *conveyors* e assim por diante). Os problemas típicos estão em: componentes faltando, *tombstone* e componente deslocado.

A máquina Dispensadora é um sistema controlado por computador para a distribuição de uma variedade de material. O sistema é utilizado para dispensar pasta de solda, epóxis, adesivos, geles, e etc. para as indústrias eletrônica, automotiva e médicas. No processo estudado, o sistema carrega uma placa de circuito e distribui um Material líquido (adesivo) em um padrão pré-programado e descarrega-o. Um tempo de forno é necessário para este processo, mas segue-se de acordo com os critérios mencionados para o processo de inserção.

Logo após, temos uma série de etapas de teste. O primeiro é chamado *Flashing* e programas de usuários e alinhamentos são armazenados na memória. Ele permite a funcionalidade do produto final. Antes da segunda etapa do teste, temos um processo de roteamento, que é a estação responsável para cortar a placa de circuito de acordo com o projeto do produto.

Depois, temos a segunda fase de teste que é chamado como *Flashing Programming*. Esta etapa é um processo complementar inicializado na etapa do *flash* do painel. Um grupo de programas é armazenado no STB (*Setup Box*), *Cable Modem* ou telefone e permite a sua respectiva funcionalidade.

O próximo passo é referente a um processo de montagem e é chamado como processo *screw driving*. Nesta fase, temos uma montagem final do *Setup Box*.

A terceira etapa de teste é chamada de Programação Final. A RF, nível de potência, nível de sinal e teclado, radiodifusão e testes de recepção são feitas.

Várias falhas podem ser identificadas para cada equipamento instalado no processo e o próximo tópico cobrirá algumas delas.

### 3.1.1 Coleta dos dados das principais falhas no processo produtivo

Os principais dados que serão analisados são os dados dos tempos para as ocorrências das paradas de linha e as descrições dos motivos das mesmas por equipamento.

Considerando-se que a linha de produção terá início em um dado tempo  $t=0$  e, conforme forem ocorrendo as falhas no processo, serão coletados os tempos das paradas de cada equipamento. Por exemplo: se a primeira falha do equipamento ocorrer duas horas após o início do processo, anota-se  $t_1=2$ ; se a segunda falha deste mesmo equipamento ocorrer 10 horas após o início do processo, anota-se  $t_2=10$ ; e assim sucessivamente.

Os dados são coletados a partir de uma ferramenta da área de manufatura chamada PRT. Atualmente, esta é a única área que se preocupa em registrar as paradas de linha, bem como as durações das paradas, visto que as consequências destas impactam diretamente na produtividade do processo.

Não existe nenhuma ferramenta, aplicação, ou procedimento, nesta fábrica, de uso da engenharia, que permita tomadas de nota ou consulta de dados de falhas de equipamentos SMT. A implementação de alguma ferramenta que permita esse tipo de controle é uma sugestão para trabalhos futuros.

### 3.1.2 Procedimento para coleta dos dados

Na tela inicial da aplicação PRT, Figura 11, há uma opção chamada *Functional Report - Downtime*. A finalidade desta opção a geração de um relatório de todas as paradas de linha ocorridas em um determinado período de tempo: motivo, duração e setor responsável pela parada.

Figura 11 – Tela inicial do PRT



Fonte: Autor

Dentro da opção *Functional Report - Downtime*, Figura 12, são especificados o cliente (neste caso a fábrica possui vários clientes); o tipo da linha de processo (se é uma linha *Pin Through Hole*, *Surface Mounted Technology*, *Manual Insertion* ou *Final Assembly*); o nome da linha, e o período de tempo que se deseja analisar.

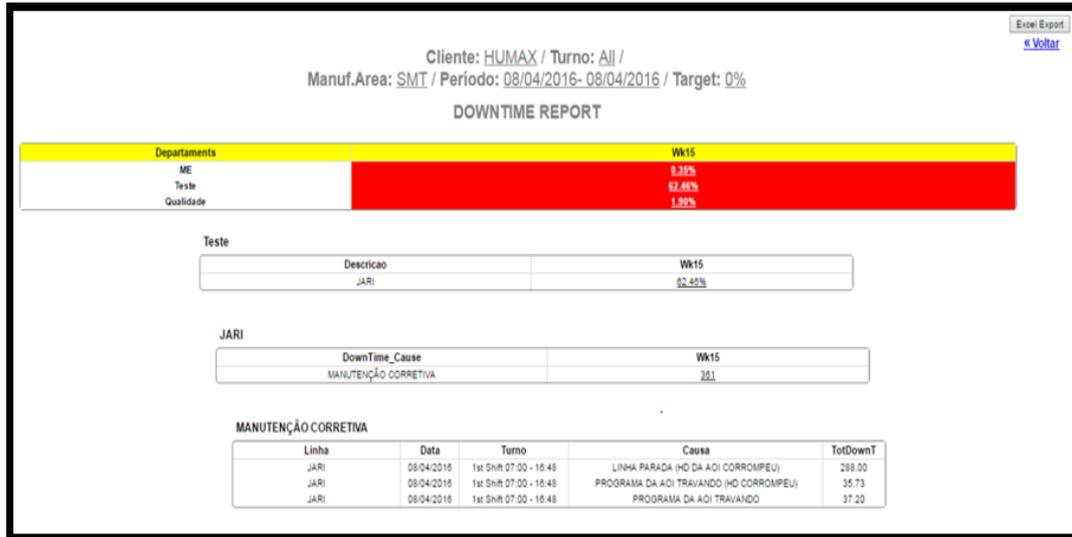
Figura 12 – Dados de entrada para geração de relatório

The image shows a web form titled 'DownTime' for generating a report. The form is titled 'Report Parameters' and contains several input fields: '-Cliente-' with a dropdown menu showing 'HUMAX'; '-Manufacturing Area-' with a dropdown menu showing 'SMT'; '-Linha-' with a dropdown menu showing 'JARI'; '-Período-' with 'Inicio:' and 'Fim:' date pickers showing '05/04/2016' and '07/04/2016' respectively; '-Turno-' with a dropdown menu showing 'All'; and a 'Target:' input field with the value '0'. A 'Generate Report' button is located at the bottom right of the form.

Fonte: Autor

Após informados todos os dados, o relatório é gerado, conforme se pode observar na Figura 13. Desta forma é possível ter acesso aos dados desejados.

Figura 13 – Relatório gerado a partir dos dados de entrada



### Reorganização e Tratamento dos dados

Cada falha apresentada na aplicação PRT é específica de um equipamento. Portanto, a partir desta aplicação, foi reunida em uma planilha, à parte, os motivos das paradas, os equipamentos a quem elas se referem e os respectivos tempos para uma melhor visualização dos problemas e um rearranjo que permita o cálculo da confiabilidade.

Para o setor de manutenção, e para o desenvolvimento do presente trabalho, é mais viável a organização dos dados de paradas de linha e os tempos de cada parada conforme o equipamento. Na figura, tirada da planilha de falhas, se pode observar quantas vezes o equipamento AOI falhou ocasionando parada do processo num determinado período de tempo, bem como os motivos das paradas e as durações de cada parada.

Na figura 14 se pode observar que a coluna Horas mostra as horas de cada parada, que foram estimadas a partir das datas em que ocorreram e contadas a partir de um marco 0 (zero), em 5 de janeiro.

Figura 14 – Dados de Falhas AOI

Hora	Turno	Falha	Máquina	Downtime
78	1st Shift 07:00 - 16:48	PROGRAMA DO HNB100BOT CORROMPEU	AOI	32
81	1st Shift 07:00 - 16:48	PROGRAMA DO HNB100 BOT CORROMPEU	AOI	32.28
101	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NA AOI (CONVEYOR DA AOI ENGATANDO PLACA)	AOI	14
102	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO TRANSFERÊNCIA NA AOI (CONVEYOR DA AOI ENGATANDO PLACA)	AOI	5.11
106	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NA AOI (CONVEYOR DA AOI ENGATANDO PLACA)	AOI	2.44
124	1st Shift 07:00 - 16:48	AOI NÃO ACOMPANHA RATE DA NXT	AOI	27.2
180	2nd Shift 16:48 - 02:36	AOI TRAVADA.	AOI	4
191	2nd Shift 16:48 - 02:36	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE.	AOI	2.74
193	2nd Shift 16:48 - 02:36	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE.	AOI	22.63
194	2nd Shift 16:48 - 02:36	AOI TRAVADA.	AOI	11.05
211	1st Shift 07:00 - 16:48	LINHA PARADA (AOI COM ERRO DE TRANSFERENCIA / CLAMP AMASSASOU A BORDA DA PLACA)	AOI	21.95
216	1st Shift 07:00 - 16:48	AOI EM SINGLE CLAMP NÃO ACOMPANHA O RATE	AOI	18.31
223	1st Shift 07:00 - 16:48	PLACA ENGATOU NA AOI	AOI	9.68
224	1st Shift 07:00 - 16:48	DEBUG DE FALSA FALHA NA AOI	AOI	2.58
224	1st Shift 07:00 - 16:48	AOI ENGATANDO PLACA NO CLAMP	AOI	20
225	1st Shift 07:00 - 16:48	AJUSTE NA AOI PARA DUAL CLAMP	AOI	17.16
226	2nd Shift 16:48 - 02:36	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE	AOI	7.37
227	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NO CONVEYOR DE SAÍDA DA AOI	AOI	18
233	2nd Shift 16:48 - 02:36	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE	AOI	12.42
234	1st Shift 07:00 - 16:48	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE DA NXT	AOI	21.37
235	2nd Shift 16:48 - 02:36	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE	AOI	33.47
236	1st Shift 07:00 - 16:48	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE DA NXT.	AOI	4
234	2nd Shift 16:48 - 02:36	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE DA LINHA	AOI	10
239	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NO CONVEYOR DE SAÍDA DA AOI	AOI	7.11
243	1st Shift 07:00 - 16:48	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE DA NXT	AOI	27.47

Fonte: Autor

Essa reorganização de dados foi feita para cada equipamento do processo SMT. São eles: Inserçora de pasta de solda, Figura 59; Insetora óptica da pasta, Figura 61; Inserçora automática de componentes, Figura 62; Forno, Figura 60. Todos estes dados podem ser observados no apêndice.

## 3.2 Análise das principais falhas - Inserção Manual

- Confiabilidade da Etapa de Inserção Manual;
- Reconhecimento das falhas;
- Análise das possíveis causas dos problemas;
- Desenvolvimento e implementação de providências;
- Desenvolvimento de Procedimento para Monitoramento dos Sinais de RF oriundos da sala central de servidor

### 3.2.1 Confiabilidade da etapa de Inserção Manual

A Figura 15 mostra os tempos de parada de linha na área de Inserção Manual. Esta linha de processo é composta de estações de inserção manual feita por operadores de produção, em seguida a PCB passa pela máquina de solda, em seguida pelas estações de teste de funcionalidade.

Os dados da Figura 15 foram inseridos no software *Weibull*, conforme Figura 16.

Utilizando-se dos recursos do software *Weibull++*, com os dados obtidos de parada de linha do processo, foi realizado um teste de aderência para a escolha da função que melhor se encaixa com os dados, Figura 17.

O painel da esquerda exibe os ranques das distribuições consideradas. Ranque = 1 é a melhor aderência para os dados.

Clicando na aba 'Detalhes da Análise' observa-se os resultados dos cálculos, Figura 18.

Clicando-se em 'Implementar' retorna-se à planilha e aplicando-se a distribuição com o melhor ranqueamento na análise dos dados.

Conforme os dados inseridos, também é possível observar o gráfico Probabilidade vs Tempo de falhas, Figura, e calcular a confiabilidade estimada para o tempo desejado, Figura 19.

Enfim, pôde-se calcular os dados de confiabilidade dos dados inseridos e estimar o valor de confiabilidade para um período de tempo  $t=1000$  hs.

Figura 15 – Tempos de paradas de linha IM em minutos

Hora	Turno	Falha	Máquina	Downtime
10	3rd Shift 23:40 - 07:00	EXCESSO DE FALSA FAHA NO TESTE	IM	11
112	1st Shift 07:00 - 15:20	PROGRAMA TRAVADO	IM	3
159	1st Shift 07:00 - 15:20	QUEDA DE ENERGIA	IM	15
211	2nd Shift 15:20 - 23:40	SEM SISTEMA MES	IM	6
216	1st Shift 07:00 - 15:20	TEMPERATURA FORA DOS PARAMETROS MAQUINA DE SOLDA	IM	6
260	2nd Shift 15:20 - 23:40	PROGRAMA TRAVADO	IM	6
261	1st Shift 07:00 - 15:20	EXCESSO DE FALSA FAHA NO TESTE	IM	21
264	2nd Shift 15:20 - 23:40	TEMPERATURA FORA DOS PARAMETROS MAQUINA DE SOLDA	IM	4
305	2nd Shift 15:20 - 23:40	QUEDA DE ENERGIA	IM	10
396	2nd Shift 15:20 - 23:40	EXCESSO DE FALSA FAHA NO TESTE	IM	24
402	3rd Shift 23:40 - 07:00	EXCESSO DE FALSA FAHA NO TESTE	IM	82
426	2nd Shift 15:20 - 23:40	TEMPERATURA FORA DOS PARAMETROS MAQUINA DE SOLDA	IM	17
496	2nd Shift 15:20 - 23:40	SEM SISTEMA MES	IM	27
500	2nd Shift 15:20 - 23:40	SEM SISTEMA MES	IM	59
504	2nd Shift 15:20 - 23:40	EXCESSO DE FALSA FAHA NO TESTE	IM	14
592	2nd Shift 15:20 - 23:40	PROGRAMA TRAVADO	IM	10

Fonte: Autor

### 3.2.2 Reconhecimento das falhas

Se reorganizarmos a ordem como foram listadas as falhas na IM, obteremos a disposição como a da Figura 21, que juntam as falhas semelhantes e, assim, temos uma ideia de quantas vezes o processo foi interrompido por cada motivo. As quantidades de paradas de linha são mostradas na Figura 22, bem como o tempo total de parada.

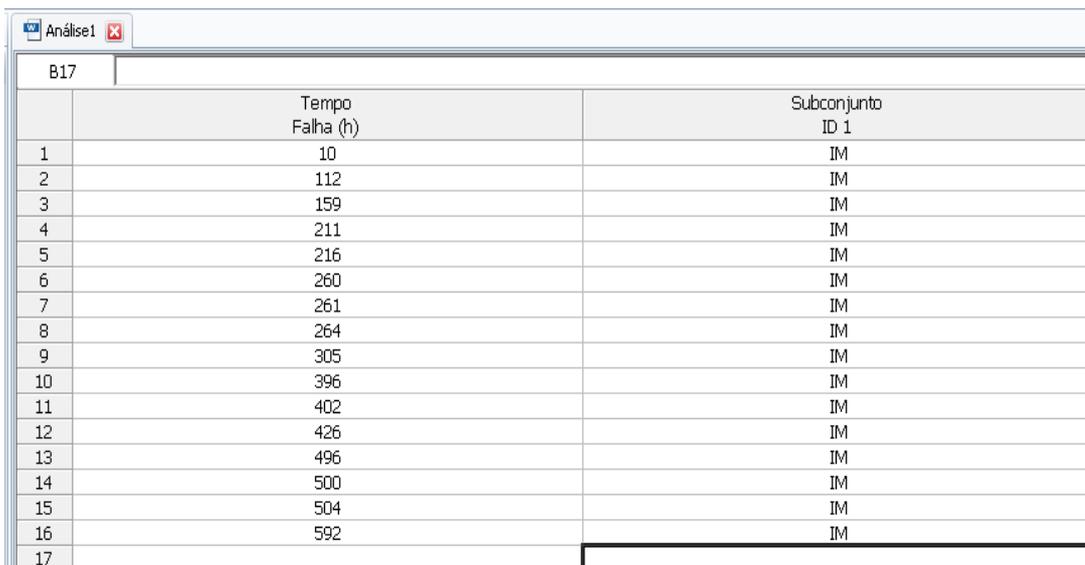
Como se pode observar na Figura 22, o maior motivo de parada de linha que se teve no período de janeiro a março é a sentença a seguir descrita pelo time de manufatura: “Excesso de falsa falha no teste”. Isto significa excesso de falsas reprovações nos testes de funcionalidades das placas. Conforme procedimento do setor de qualidade, a cada 10 reprovações por hora, ou 3 reprovações seguidas, em um único testador, a linha inteira pára para que o motivo dessas falhas sejam analisados.

Somando-se todo o tempo de parada de linha por esse motivo, tem-se um tempo total de 152 minutos de linha parada. Isto significa um grande desperdício para a fábrica.

### 3.2.3 Análise das possíveis causas dos problemas

Como se pode observar nos dados, o maior índice de paradas de linha na IM é por excesso de falsas reprovações nas estações de teste funcional das placas.

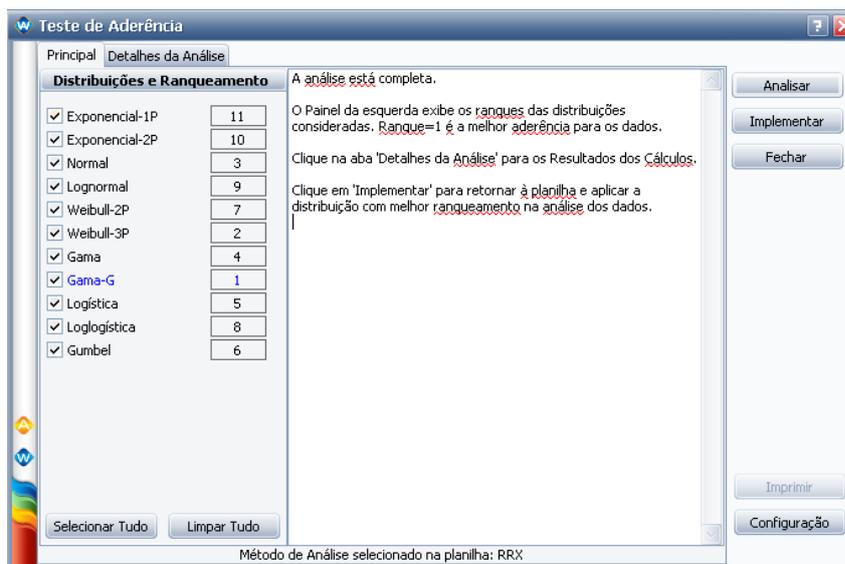
Figura 16 – Dados Inseridos no Weibull++



	Tempo Falha (h)	Subconjunto ID 1
1	10	IM
2	112	IM
3	159	IM
4	211	IM
5	216	IM
6	260	IM
7	261	IM
8	264	IM
9	305	IM
10	396	IM
11	402	IM
12	426	IM
13	496	IM
14	500	IM
15	504	IM
16	592	IM
17		

Fonte: Autor

Figura 17 – Teste de Aderência - IM



Fonte: Autor

Conforme gráfico da Figura 23, pode-se analisar o problema de diversos pontos de vista: do ponto de vista material, do ponto de vista das medições, e do ponto de vista das máquinas.

Do ponto de vista material, pode-se citar a baixa qualidade do cabeamento, computadores ou *Jigs* de teste, já que qualquer problema em algum desses itens comprometeria a confiabilidade das estações de teste.

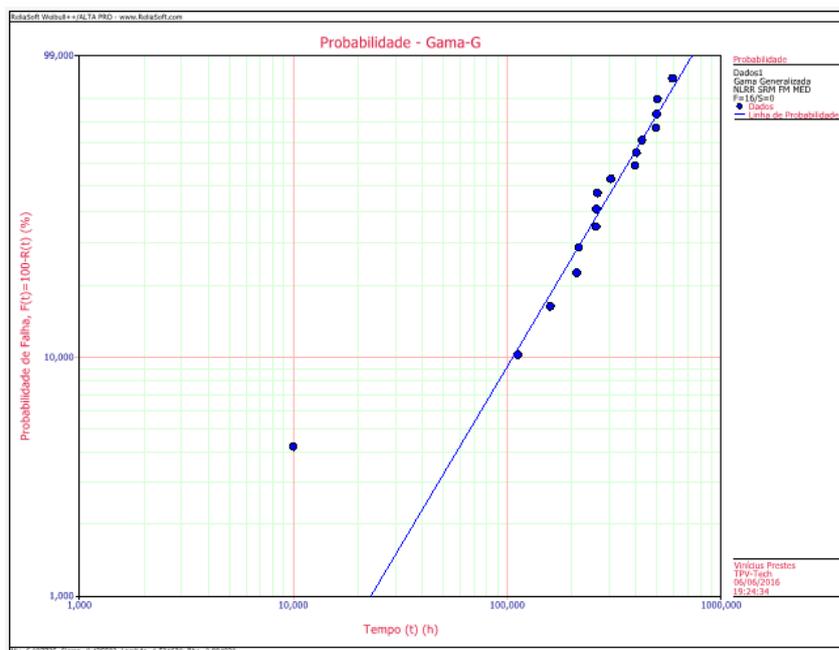
Do ponto de vista das medições, podemos citar a alta variação na intensidade dos

Figura 18 – Parâmetros de Distribuição

Parâmetros			
Distribuição:	Gama-G-3P		
Análises:	NLRR		
Método do IC:	FM		
Ranqueando:	MED		
Mu (h)	6,027735		
Sigma	0,435582		
Lambda	1,52163		
Valor da LK	-103,598286		
Rho	0,99483		
F \ S	16 \ 0		
LOCAL VAR/COV MATRIX			
	Var-Mu=0,025051	CV Média-Desvio=-0,013383	CV Média-Lambda=0,069351
	CV Média-Desvio=-0,013383	Var-Sigma=0,023451	CV Desvio-Lambda=-0,077618
	CV Média-Lambda=0,069351	CV Desvio-Lambda=-0,077618	Var-Lambda=0,459231

Fonte: Autor

Figura 19 – Gráfico Probabilidade vs Tempo



Fonte: Autor

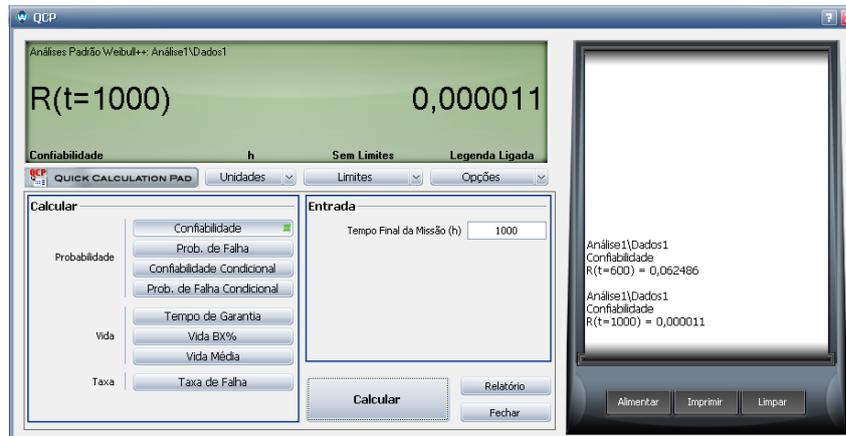
sinais de RF oriundos da sala central de servidor existente na fábrica uma vez que, se a variação da intensidade do sinal de RF estiver além dos limites superior ou inferior do range aceitável para o correto teste da placa, a mesma pode não ser devidamente testada, ocasionando falsas reprovações.

Por fim, do ponto de vista da máquina, pode-se considerar o alto índice de travamento nos computadores que realizam os testes.

Todos esses pontos de vista podem ser observados no diagrama de Ishikawa da Figura 23.

Na etapa de inserção manual, puderam-se observar várias paradas de processo por

Figura 20 – Confiabilidade para t=600 e t=1000



Fonte: Autor

Figura 21 – Dados de Falhas IM

Hora	Turno	Falha	Máquina	Downtime
216	1st Shift 07:00 - 15:20	TEMPERATURA FORA DOS PARAMETROS MAQUINA DE SOLDA	IM	6
264	2nd Shift 15:20 - 23:40	TEMPERATURA FORA DOS PARAMETROS MAQUINA DE SOLDA	IM	4
426	2nd Shift 15:20 - 23:40	TEMPERATURA FORA DOS PARAMETROS MAQUINA DE SOLDA	IM	17
10	3rd Shift 23:40 - 07:00	EXCESSO DE FALSA FALHA NO TESTE	IM	11
261	1st Shift 07:00 - 15:20	EXCESSO DE FALSA FALHA NO TESTE	IM	21
396	2nd Shift 15:20 - 23:40	EXCESSO DE FALSA FALHA NO TESTE	IM	24
402	3rd Shift 23:40 - 07:00	EXCESSO DE FALSA FALHA NO TESTE	IM	82
504	2nd Shift 15:20 - 23:40	EXCESSO DE FALSA FALHA NO TESTE	IM	14
112	1st Shift 07:00 - 15:20	PROGRAMA TRAVADO	IM	3
260	2nd Shift 15:20 - 23:40	PROGRAMA TRAVADO	IM	6
592	2nd Shift 15:20 - 23:40	PROGRAMA TRAVADO	IM	10
159	1st Shift 07:00 - 15:20	QUEDA DE ENERGIA	IM	15
305	2nd Shift 15:20 - 23:40	QUEDA DE ENERGIA	IM	10
211	2nd Shift 15:20 - 23:40	SEM SISTEMA MES	IM	6
496	2nd Shift 15:20 - 23:40	SEM SISTEMA MES	IM	27
500	2nd Shift 15:20 - 23:40	SEM SISTEMA MES	IM	59

Fonte: Autor

conta de problemas nas estações de testes ou por excesso de falsas reprovações de placas.

Os testes funcionais, em uma linha de produção, são estações que normalmente possuem um computador e um, ou mais, Jig's de teste. Estes possuem a finalidade de fazer todos os testes necessários para verificação do correto funcionamento da PCB. Estão dispostos em série e em paralelo, ao mesmo tempo. Normalmente, há duas ou mais estações de teste, onde dois ou mais operadores de produção testam as PCB's ao mesmo tempo, paralelamente, e as devolvem em seguida para esteira para ser liberada para empacotamento, conforme a Figura 24.

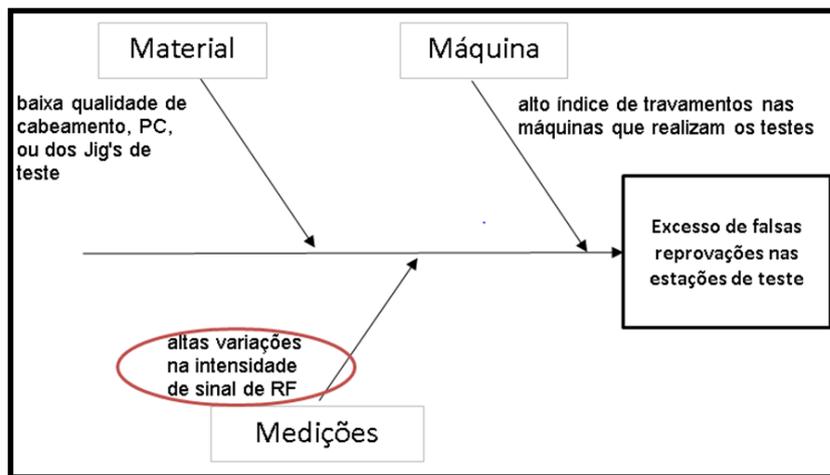
Neste caso específico, como temos mais de uma estação que executam a mesma função, e cada estação testa mais de uma PCB ao mesmo tempo, uma falha em uma

Figura 22 – Quantidade de paradas por tipo de falhas

Qty	Falha	Máquina	Downtime
5	EXCESSO DE FALSA FALHA NO TESTE	IM	152
3	PROGRAMA TRAVADO	IM	19
3	TEMPERATURA FORA DOS PARAMETROS MAQUINA DE SOLDA	IM	27
2	QUEDA DE ENERGIA	IM	25
3	SEM SISTEMA MES	IM	92

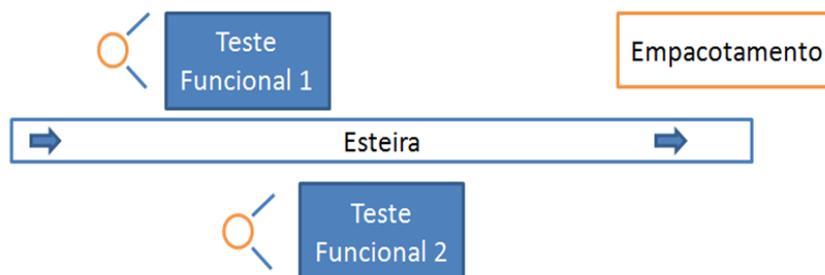
Fonte: Autor

Figura 23 – Diagrama de Ishikawa Excesso de Reprovações



Fonte: Autor

Figura 24 – Estações de Teste numa Linha de Processo



Fonte: Autor

das estações pode não necessariamente parar a linha inteira, visto que temos duas estações e, apenas uma pára. Porém, problemas em sua estrutura podem acarretar em falsas reprovações de placas. E, uma vez que uma PCB boa é tomada como defeito, muito tempo é perdido até que uma análise seja feita e seja encontrado o real motivo da placa ter sido reprovada.

Vale ressaltar que muitas reprovações falsas é tempo significativamente perdido em análises e perda de produtividade.

Na linha estudada, seis reprovações falsas por hora ou três reprovações falsas seguidas acarreta em parada de linha por excesso de falsas reprovações. E então o técnico é acionado para a correção do problema na estação.

Possíveis causas de parada linha em uma estação de teste são diversas. Podem ser desde qualquer travamento no computador, problemas em alguns conectores do Jig ou na intensidade do sinal de RF que chega, ou até mesmo algum cabo danificado.

#### Falsas Reprovações em testes que utilizam de sinais de RF

Conforme já foi mencionado, falsas reprovações podem acarretar em paradas de linha devido a seus excessos e devido à perda de produtividade. Três reprovações seguidas ou dez reprovações alternadas e por hora, por procedimento, culminam em parada de linha para que sejam tomadas as devidas providencias quanto a causa do problema.

Durante dois meses, foi observado nos testadores um alto índice de falsas reprovações em testadores funcionais de PCB's que se utilizam especificamente de sinais de rádio frequência oriundos de uma sala central de servidor, Figura 25.

Figura 25 – Servidor de Sinais



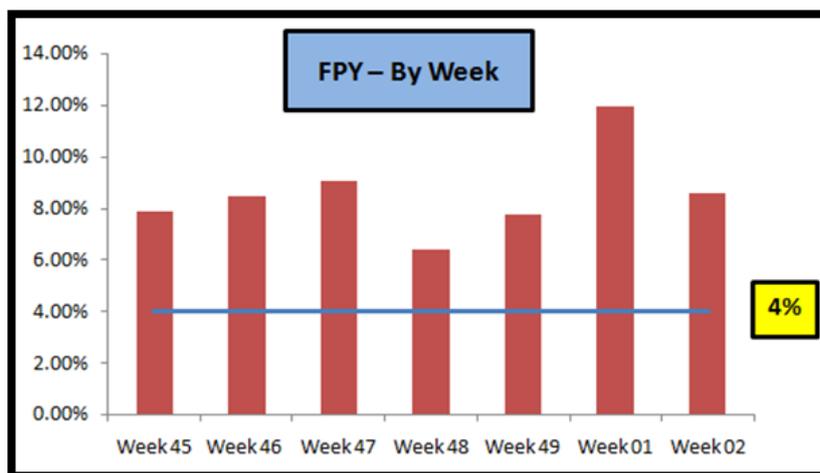
Fonte: Autor

Um alto índice de falsas reprovações na estação de teste funcional gera, por procedimento, paradas de linha por excesso de falsos defeitos e, por consequência, perda de produtividade. A perda de produtividade pode comprometer a linha de produto acabado, podendo gerar não suprimento e, conseqüentemente, parada de linha.

O setor de qualidade, que também é responsável por expor as métricas de FPY (*First Pass Yield*), apresentou-nos o seguinte gráfico, mostrado na Figura 26, referente às

porcentagens de falsas reprovações por semana, da *week* 45 de 2015 até a *week* 2 de 2016 na estação de teste funcional. No gráfico pode-se observar que o índice de defeitos ou falsos defeitos de placa estão sempre fora do target, que é 4%. A média é 7,5%, que não é interessante para empresa.

Figura 26 – Métrica Semanal de FPY



Fonte: Autor

Calculando-se a confiabilidade desta estação de teste, tem-se:

No apêndice, se pode observar a lista completa de falsas reprovações na estação de teste funcional.

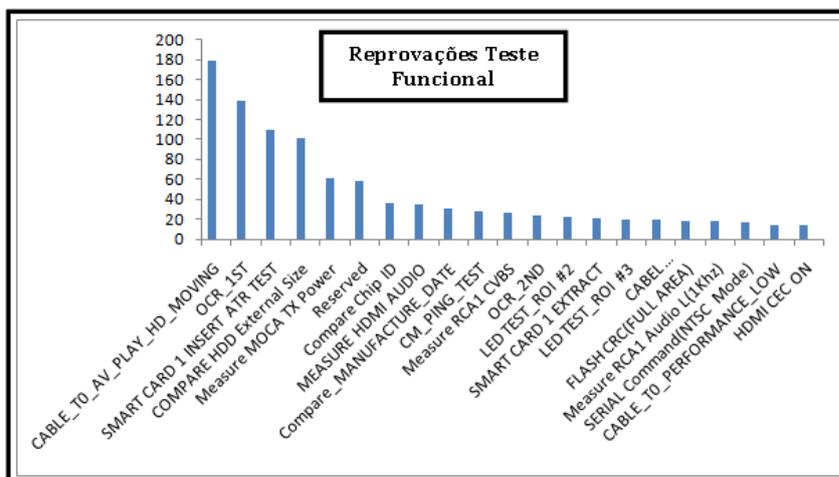
Na Figura 27, pode-se observar um gráfico com um relatório mais profundo dos maiores ofensores relacionados às falsas reprovações nas estações dos testes funcionais das placas. Os dois maiores índices de reprovação, Cable T0 AV PLAY (179 reprovações) e OCR 1ST (139 reprovações), são referentes à intensidade e qualidade da recepção e aplicação do sinal de RF no aparelho. Os dados coletados são referentes ao período de agosto de 2015 a novembro de 2015.

O alto índice de falsas reprovações, Figura 27, referente aos testes relacionados ao Sinal de RF que chega à placa leva-nos a tomar alguma providência sobre a estrutura que permite a transmissão do sinal.

A Figura 28 mostra o percentual de falhas por etapas de teste. Analisando o processo pode-se identificar facilmente que 30% das falhas estão relacionadas à transmissão do sinal de RF que provém da sala de servidor.

O objetivo principal das implementações é reduzir as reprovações nas estações de teste de 7,5% para 4%, para que as métricas estejam dentro do target, conforme Figura 26.

Figura 27 – Reprovações por Etapa na Estação de Teste



Fonte: Autor

Figura 28 – Taxa de Falsas Reprovações por etapa de teste



Fonte: Autor

Altas variações na intensidade de sinal de RF usado nos testadores

Como ferramenta de auxílio à análise das possíveis causas raízes do problema, foi utilizado o diagrama de Ishikawa.

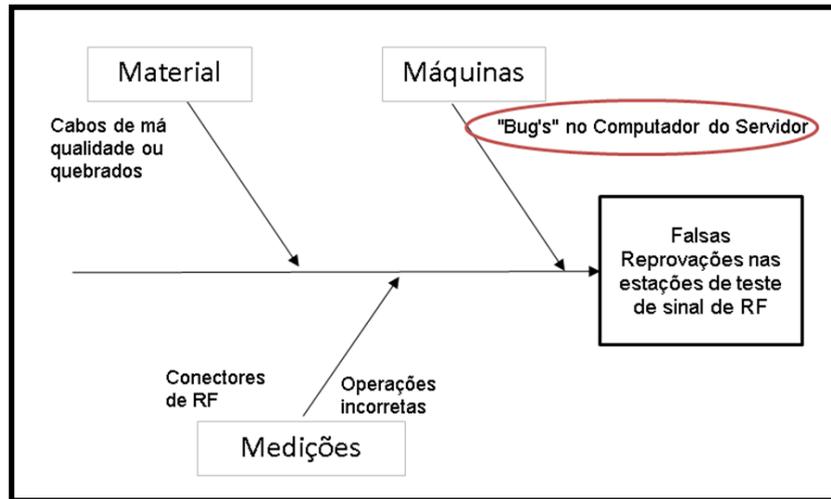
Como se pode observar, foram listadas várias possíveis causas para este problema. As causas podem estar relacionadas ao material utilizado nas estações, no maquinário ou nas medições.

Em relação ao material utilizado, as causas podem estar relacionadas à má qualidade dos cabos de transmissão de sinal de RF, ou esses mesmos cabos danificados; em relação às medições, pode-se citar possível má qualidade nos conectores de RF utilizado nos testadores ou, até mesmo, operações incorretas por parte da manufatura; em relação ao maquinário, pode-se citar, e este com uma maior atenção,

possíveis Bug's no computador do servidor, já que o mesmo funciona 24 horas por dia e nunca é desligado.

Tudo isto pode ser observado no diagrama da figura 29.

Figura 29 – Diagrama de Ishikawa Falsas Reprovações



Fonte: Autor

### 3.2.4 Desenvolvimento e implementação de providências

Sobre a análise das possíveis causas dos problemas, algumas providências foram tomadas para a diminuição das ocorrências das falhas. Dentre elas, pode-se listar as seguintes:

- Análise diária da intensidade do Sinal de RF;
- Análise das condições do computador da sala de servidor;
- Análises dos cabos e das conexões;
- Criação de uma aplicação em Java para reinício automático e diário do computador do servidor;
- Análise diária da intensidade do Sinal de RF;
- Análise das condições do computador da sala de servidor;

Estas atividades foram planejadas e passaram a ser executadas conforme a tabela

1.1:

Causa Raiz	Ações Providenciais
	Análise diária da intensidade do Sinal
	Condições do PC do Servidor
Bugs no PC do Servidor	Análises dos cabos e conexões
	Criação de um programa em Java para reinício do computador
	Implementação da nova aplicação no PC

A ideia é coletar o valor de intensidade de sinal em cada estação de teste. E isto será feito com a ajuda do Analisador de Espectro, conforme se pode observar na Figura 30. Em seguida deverá ser feita a validação do sinal nas estações funcionais, conforme mostrado no fluxograma da Figura.

Figura 30 – Spectrum Analyzer



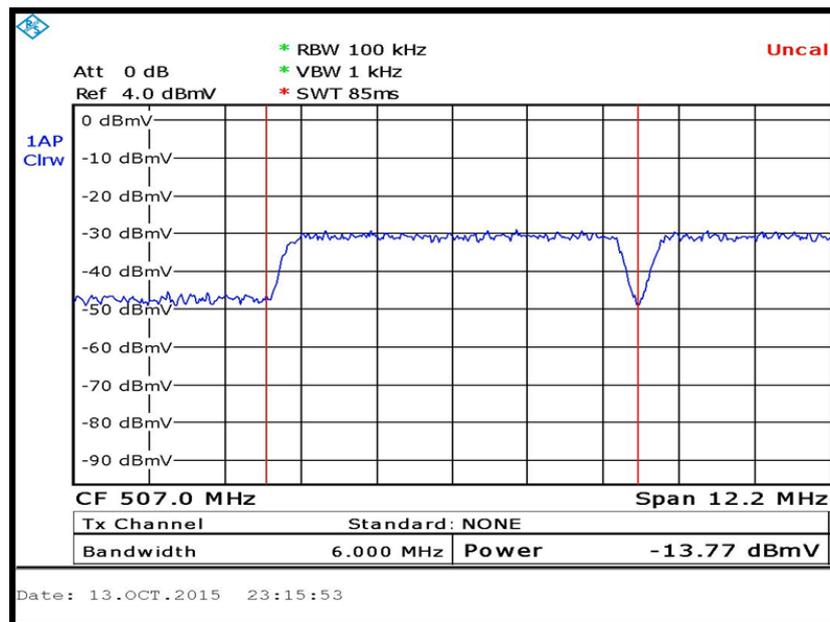
Fonte: Autor

Os dados observados no Analisador de Espectro pode ser visto na Figura 31. O parâmetro analisado é o *Power* que, neste caso, deverá estar entre 13 e 15 dBmV em valores absolutos, para a correta utilização dos testadores das PCB?s.

O computador da central de sinais, Figura 25 está programado para gerar as frequências corretas e intensidades específicas para a correta utilização nas linhas de teste. Porém, ele nunca para. Está sempre ligado e conectado com as linhas. Este trabalho constante pode acarretar em problemas no envio de sinais. Com o tempo, pôde-se perceber que o simples reinício diário da máquina traria de volta o PC a trabalhar nas condições iniciais tal qual foi configurado.

Sendo assim, iniciou-se o hábito de reiniciar a máquina todos os dias. Sendo assim, tornou-se viável a criação de uma aplicação que, ao ser instalada no computador, comandasse diariamente a sua reinicialização sempre no mesmo horário.

Figura 31 – Dados do Spectrum Analyzer



Fonte: Autor

A aplicação foi feita em C, e o código é o que segue:

Código C

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Diagnostics;
using System.Threading.Tasks;
namespace Shutdown
public partial class Form1 : Form
public static string datePatt = @"HH-mm-ss";
public Form1()
```

```
InitializeComponent();
private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
    timer1.Enabled = true;
    timer1.Start();
    private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
    {
        DateTime Time = DateTime.Now;
        string dtString = Time.ToString(datePatt);
        label3.Text = dtString;
        if (dtString == "06-00-00")
        {
            System.Diagnostics.Process.Start("cmd.exe", "/k"+ @"shutdown -r -t 00");
        }
    }
}
```

### 3.2.5 Desenvolvimento de Procedimento para Monitoramento dos Sinais de RF oriundos da sala central de servidor

Para a análise e monitoramento da intensidade do sinal, foi elaborada uma planilha de controle dos valores de intensidade de dois tipos de sinais RF que provém da sala de servidor de sinais da empresa cliente. Esses sinais vêm para as estações de teste.

A ideia, com essa planilha, é monitorar o nível de intensidade de sinal para verificar tendências e prever possíveis paradas de linha nas estações de teste. Conforme as tendências, são possíveis tomadas de decisão sobre como proceder na sala de sinais para que os níveis de sinal se mantenham dentro do range adequado.

Conforme observado, dos problemas existentes, pode-se citar a alta variação de intensidade dos sinais *CMTS* e *DVB-C* provenientes do servidor; e a falta de monitoramento das variações diárias das intensidades de sinais.

Com isso, as metas a se alcançar é o desenvolvimento de um método de controle para o monitoramento diário da intensidade dos sinais de RF que vêm da sala de servidor; além disso, busca-se prever e eliminar a possibilidade de uma variação do sinal para um nível insuficiente de intensidade para a estação testadora que possa causar falsas reprovações.

#### Importância para melhoria de confiabilidade

Tem-se este projeto como uma entrega proposta para melhoria da manutenção. O que se pretende fazer é uma espécie de monitoramento, de modo a evitar o aparecimento de falhas. Este monitoramento visa acompanhar a evolução de um modo de falha num componente especificamente. Nesse caso, uma falha ou diminuição do

nível de sinal poderá provocar distintas falhas, em distintos equipamentos e, claro, com distintos efeitos e modos de falha.

Por exemplo: O modo de falha de um rolamento, usando a curva P-F, vai desde o aquecimento, ruído, desgaste até a ruptura final (fase F da curva). Para cada fase desta curva distintos efeitos poderão ser observados, com distintas implicações no processo. O que o monitoramento ajuda é que você pode intervir no momento mais adequado, levando em consideração custos e etc.. De repente, trocar a peça quando ela começa aquecer pode ser uma decisão, como trocar quando começar a fazer ruído ou liberar partículas.

Essa política de decisão é estabelecida de forma mais concreta quando se usa os preceitos do RCM. De maneira mais pragmática deseja-se atuar antes que a falha funcional ocorra, ou seja, antes que o rolamento estoure.

A ideia é o desenvolvimento de um procedimento de monitoramento do nível de intensidades de sinal que permite a entrada de dados e permite verificar se os sinais são utilizados dentro do intervalo de valores aceitáveis.

O impacto financeiro está na taxa de placas aprovadas na primeira tentativa, taxa de *downtime*, e satisfação do cliente.

### Procedimento de Monitoramento

A ideia é coletar o valor de intensidade de sinal em cada estação de teste. E isto será feito com a ajuda do Analisador de Espectro. Em seguida deve-se preencher uma planilha para verificação das tendências e tomadas de decisões sobre o que fazer para manter a intensidade do sinal dentro do intervalo especificado. E por fim, deverá ser feita a validação do sinal nas estações funcionais, conforme mostrado no fluxograma da Figura 32.

Figura 32 – Fluxograma



Fonte: Autor

Passos

- Primeiramente, o colaborador se dirigirá até o ponto físico onde se é transmitido o sinal de RF;
- Em seguida ele irá conectar um cabo transmissor de sinal do ponto de teste até o equipamento medidor de sinal *Spectrum Analyzer*, conforme Figura 30;
- Ele encherá os dados na tela do analisador, Figura 31, e em seguida observará a intensidade do sinal medido;
- Por fim será tomado nota do valor numérico em dB da intensidade do sinal em uma planilha de tendência, conforme Figura 33.

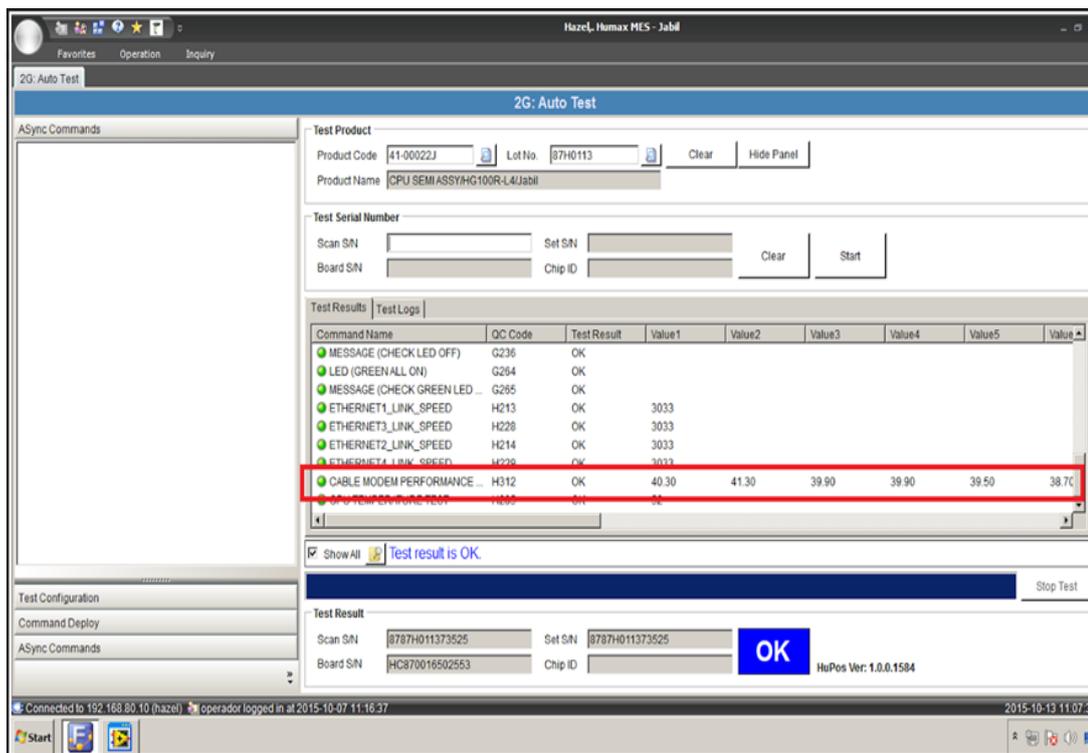
Se o valor absoluto da intensidade medida estiver dentro dos limites superior e inferior, neste caso 13dB e 16dB, o testador trabalhará normalmente e as placas serão devidamente aprovadas na estação de teste funcional, como mostra a tela de um computador da estação de teste na Figura 34.

Figura 33 – Planilha de Monitoramento

HG100R-L4		HNB100				HG100R-L4										
CABLE MODEM SIGNAL		CMTS SIGNAL		DVB-C SIGNAL		B/L	B/L	B/L	B/L	B/L	B/L	B/L	B/L	B/L	Date	
Expected	Potency	Expected	Potency	Expected	Potency	DUT 01	DUT 02	DUT 03	DUT 04	DUT 05	DUT 06	DUT 07	DUT 08	DUT 09		
15	dBmV	15	dBmV			14.76	14.46	14.54	13.80	14.01	14.00	14.10	13.69	14.01	1-Jun-15	Monday
						14.52	14.50	14.74	14.10	14.30	14.31	14.87	14.53	14.70	2-Jun-15	Tuesday
						14.72	14.93	14.90	14.10	14.35	14.37	14.10	13.90	14.22	3-Jun-15	Wednesday
						HOLIDAY									4-Jun-15	Thursday
						14.50	14.75	14.80	14.10	14.96	15.27	14.66	14.10	14.37	5-Jun-15	Friday
						14.37	14.23	14.37	14.25	15.01	14.35	14.10	14.40	14.78	6-Jun-15	Saturday
						SUNDAY									7-Jun-15	Sunday
						15.46	15.20	15.38	14.30	14.40	14.80	14.57	14.37	14.90	8-Jun-15	Monday
						14.50	14.74	14.10	14.30	14.31	14.87	14.10	14.10	14.52	9-Jun-15	Tuesday
						14.87	15.54	15.2	14.52	14.74	14.72	15.2	14.92	15.1	10-Jun-15	Wednesday
						15.5	15.6	15.1	15.15	15.25	15.4	16.3	15.9	16	11-Jun-15	Thursday
						14.74	14.10	15.5	15.6	15.1	15.15	15.25	15.4	15.15	12-Jun-15	Friday
						14.31	14.87	14.10	14.70	14.52	14.50	14.74	14.10	14.30	13-Jun-15	Saturday
						SUNDAY									14-Jun-15	Sunday
						14.74	14.80	15.30	14.76	14.10	15.46	14.76	14.96	14.80	15-Jun-15	Monday
						14.82	14.70	15.78	14.86	14.10	15.9	14.52	15.01	14.70	16-Jun-15	Tuesday
						14.60	15.20	15.50	14.56	14.52	14.87	14.72	14.01	14.74	17-Jun-15	Wednesday
						15.20	14.89	15.27	15.80	14.10	15.5	14.01	14.30	15.54	18-Jun-15	Thursday
						14.80	15.00	15.30	15.20	14.10	14.74	14.70	14.35	15.1	19-Jun-15	Friday
						15.35	15.15	14.87	14.98	15.1	15.9	14.22	14.37	14.52	20-Jun-15	Saturday
						SUNDAY									21-Jun-15	Sunday
						15.50	15.20	15.42	15.40	15.48	15.30	15.50	15.37	15.60	22-Jun-15	Monday
						15.40	15.10	15.40	15.50	15.90	15.80	14.60	15.20	15.90	23-Jun-15	Tuesday
						14.22	13.95	14.05	14.15	13.95	14.67	14.05	13.83	14.32	24-Jun-15	Wednesday
						14.81	14.30	14.70	14.50	14.63	14.46	14.62	14.23	14.50	25-Jun-15	Thursday
						14.80	14.60	15.10	14.70	14.70	14.70	14.90	14.40	14.80	26-Jun-15	Friday
						14.50	14.25	14.95	14.60	15.10	14.65	14.23	14.79	14.17	27-Jun-15	Saturday
						SUNDAY									28-Jun-15	Sunday
						14.61	14.27	14.63	14.30	14.50	14.61	14.50	14.21	14.61	29-Jun-15	Monday
						14.70	14.65	14.70	15.10	15.25	14.72	14.65	14.26	14.89	30-Jun-15	Tuesday

Fonte: Autor

Figura 34 – Tela de PC de Teste com Intensidade de Sinal Dentro dos Limites



Fonte: Autor

### 3.3 Análise das principais falhas - AOI Machine

- Confiabilidade da etapa de Inspeção Visual Automatizada;
- Reconhecimento das falhas;
- Análise das possíveis causas dos problemas;
- Desenvolvimento e implementação de providências;
- Desenvolvimento de Procedimento para Monitoramento das falhas reais do processo SMT.

#### 3.3.1 Confiabilidade da etapa de Inspeção Visual Automatizada

A Figura 14 mostra os tempos de parada de linha na etapa de Inspeção Visual Automatizada. Nesta etapa do processo é realizada a inspeção ótica da placa pela máquina AOI, em seguida a PCB passa para a linha de Inserção Manual.

Os dados da Figura 14 foram inseridos no software *Weibull*, conforme Figura 35.

Utilizando-se dos recursos do software *Weibull++*, com os dados obtidos de parada de linha do processo, foi realizado um teste de aderência para a escolha da função que melhor se encaixa com os dados, Figura 36.

O painel da esquerda exibe os ranques das distribuições consideradas. Ranque = 1 é a melhor aderência para os dados.

Clicando na aba ‘Detalhes da Análise’ observa-se os resultados dos cálculos, Figura 37.

Clicando-se em ‘Implementar’ retorna-se à planilha e aplicando-se a distribuição com o melhor ranqueamento na análise dos dados.

Conforme os dados inseridos, também é possível observar o gráfico Probabilidade vs Tempo de falhas, Figura, e calcular a confiabilidade estimada para o tempo desejado, Figura 38.

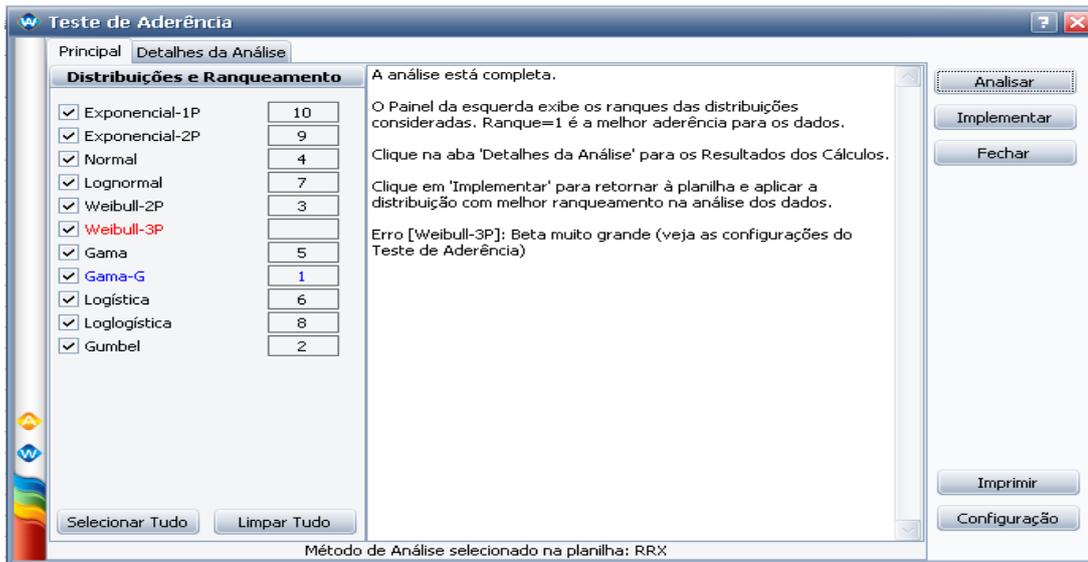
Enfim, pôde-se calcular os dados de confiabilidade dos dados inseridos e estimar o valor de confiabilidade para um período de tempo  $t=1000$  hs.

Figura 35 – Dados Inseridos - AOI

B25		AOI
	Tempo Falha (h)	Subconjunto ID 1
1	78	AOI
2	81	AOI
3	101	AOI
4	102	AOI
5	106	AOI
6	124	AOI
7	180	AOI
8	191	AOI
9	193	AOI
10	194	AOI
11	211	AOI
12	216	AOI
13	223	AOI
14	224	AOI
15	224	AOI
16	225	AOI
17	226	AOI
18	227	AOI
19	233	AOI
20	234	AOI
21	235	AOI
22	236	AOI
23	234	AOI
24	239	AOI
25	243	AOI
26		

Fonte: Autor

Figura 36 – Teste de Aderência AOI



Fonte: Autor

Figura 37 – Parâmetros - AOI

Distribuição:	Gama-G-3P	
Análises:	NLRR	
Método do IC:	FM	
Ranqueando:	MED	
Mu (h)	5,497173	
Sigma	0,030411	
Lambda	7,247479	
Valor da LK	-127,792546	
Rho	0,919953	
F \ S	25 \ 0	
<b>LOCAL VAR/COV MATRIX</b>		
	Var-Mu=0,010406	CV Média-Desvio=0,000598
	CV Média-Desvio=0,000598	Var-Sigma=0,000083
	CV Média-Lambda=0,071216	CV Desvio-Lambda=-0,004055
	CV Desvio-Lambda=-0,004055	Var-Lambda=2,945953

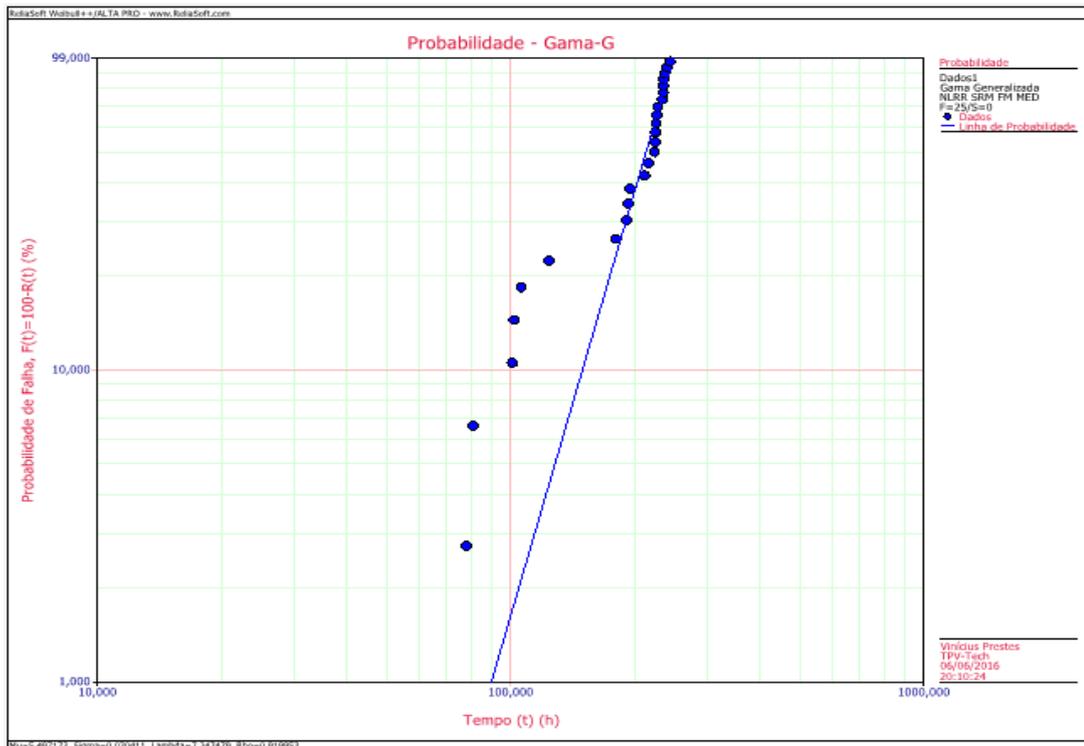
Fonte: Autor

### 3.3.2 Reconhecimento das falhas

Se reorganizarmos a ordem como foram listadas as falhas na AOI, obteremos a disposição como a da Figura 40, que juntam as falhas semelhantes e, assim, temos uma ideia de quantas vezes o processo foi interrompido por cada motivo. As quantidades de paradas de linha são mostradas na Figura 41, bem como as quantidades de *downtimes*.

Como se pode observar na Figura 41, a maior quantidade de parada de linha que

Figura 38 – Gráfico Probabilidade vs Tempo - AOI

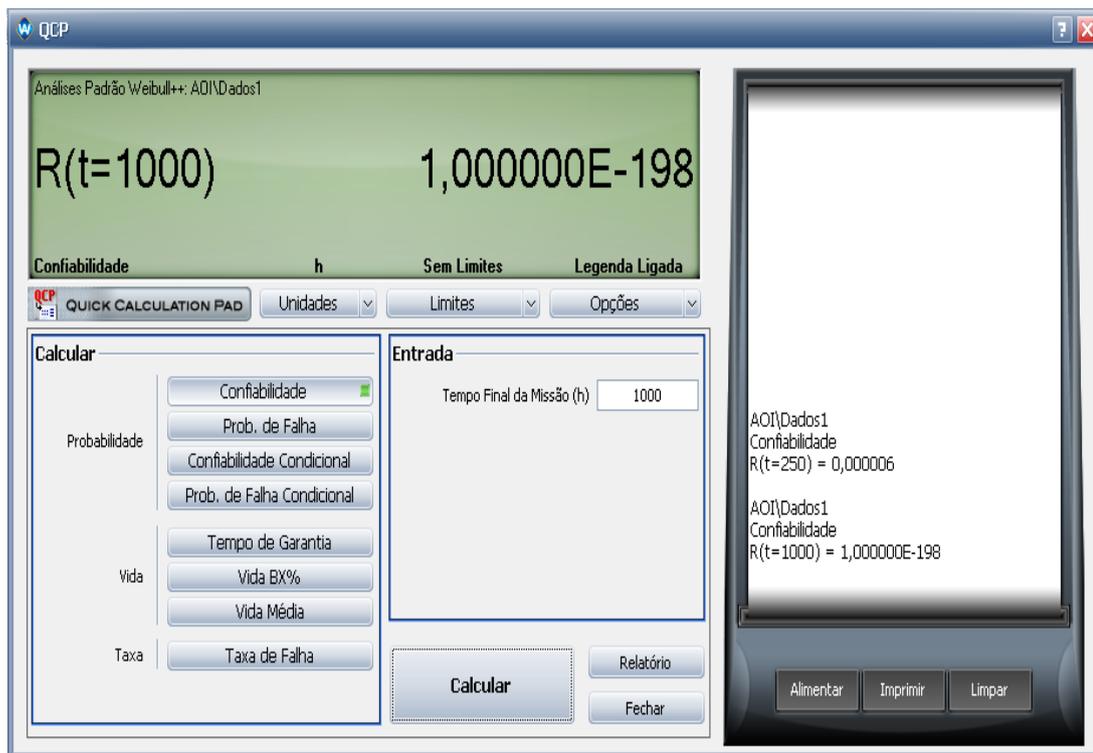


Fonte: Autor

se teve no período de janeiro a março é a sentença a seguir descrita pelo time de manufatura: ?AOI não acompanha o rate?. Isto significa que o tempo de ciclo de uma placa ao passar pela inspeção automática é maior que o tempo de ciclo da linha inteira, ocasionando acúmulo de placas na entrada da máquina. Assim, com o tempo, é sempre necessária a parada de linha para que se passe o acúmulo e não seja gerado desperdício de super-processamento. Somando-se todo o tempo de parada de linha por esse motivo, tem-se um tempo total de 204.14 minutos de linha parada. Isto significa um grande desperdício para a fábrica.

Ainda conforme a Figura 41, o segundo maior motivo de parada de linha é o erro de transferência de um *conveyor* para outro. O erro de transferência do *conveyor* consiste em algum problema na passagem da placa de um *conveyor* para outro. Com este problema, a placa não irá prosseguir da maneira devida, e então o processo terá de parar, antes ou após a AOI. Em três meses, a linha parou 9 vezes por esse motivo e por um tempo total de 93,34 minutos.

O terceiro maior motivo de parada de linha é o excesso de falsas reprovações. Quando, em uma inspeção visual, existem mais de 2% de reprovações em uma placa, a máquina sofre uma parada para que um técnico analise o porquê de tantas reprovações. Se forem componentes faltando, ou deslocados, então há algum problema no processo; se forem falsas reprovações, então há algum problema na AOI.

Figura 39 – Confiabilidade para  $t=250$  e para  $t=1000$  - AOI

Fonte: Autor

O foco então deverá estar nesses dois problemas, pois são os maiores impactantes. Juntos somam 21 paradas de linha e 297.48 minutos, 77.36% de todo o tempo parado da AOI.

### 3.3.3 Análise das possíveis causas dos problemas

Conforme tópico anterior, será dado foco em dois problemas:

- AOI não acompanha *rate*, o qual gera desperdício de super-produção;
- e erro de transferência das placas no *conveyor*.

#### AOI não acompanha *Rate*

Conforme já foi mencionado, este problema consiste no fato de o tempo de ciclo de uma placa ao passar pela inspeção automática é maior que o tempo de ciclo da linha inteira, ocasionando acúmulo de placas na entrada da máquina. Em uma das placas, o tempo de ciclo dentro da AOI é de 15s, e o tempo de ciclo de processo é de 14s. Então sempre será necessária parada de linha devido ao acúmulo de placas que se dará com o tempo.

Figura 40 – Reorganização dos dados de Falhas AOI - downtime em min

Hora	Falha	Máquina	Downtime
224	DEBUG DE FALSA FALHA NA AOI	AOI	2.58
224	AOI ENGATANDO PLACA NO CLAMP	AOI	20
78	PROGRAMA DO HNB100BOT CORROMPEU	AOI	32
81	PROGRAMA DO HNB100 BOT CORROMPEU	AOI	32.28
180	AOI TRAVADA.	AOI	4
194	AOI TRAVADA.	AOI	11.05
223	PLACA ENGATOU NA AOI	AOI	9.68
101	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NA AOI (CONVEYOR DA AOI ENGATANDO PLACA)	AOI	14
102	ERRO TRANSFERÊNCIA NA AOI (CONVEYOR DA AOI ENGATANDO PLACA)	AOI	5.11
106	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NA AOI (CONVEYOR DA AOI ENGATANDO PLACA)	AOI	2.44
227	ERRO DE TRASFERÊNCIA NO CONVEYOR DE SAIDA DA AOI.	AOI	18
239	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NO CONVEYOR DE SAIDA DA AOI	AOI	7.11
211	LINHA PARADA (AOI COM ERRO DE TRASNSFERENCIA / CLAMP AMASSASOU A BORDA DA PLACA)	AOI	21.95
225	AJUSTE NA AOI PARA DUAL CLAMP	AOI	17.16
124	AOI NÃO ACOMPANHA RATE DA NXT	AOI	27.2
191	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE.	AOI	2.74
193	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE.	AOI	22.63
216	AOI EM SINGLE CLAMP NÃO ACOMPANHA O RATE	AOI	18.31
226	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE	AOI	7.37
233	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE	AOI	12.42
236	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE DA NXT.	AOI	4
234	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE DA LINHA	AOI	10
243	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE DA NXT	AOI	27.47
234	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE DA NXT	AOI	21.37
235	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE	AOI	33.47

Fonte: Autor

Figura 41 – Quantidade de paradas por falha - downtime em min

Máquina	Falha	Qty	Downtime
AOI	DEBUG DE FALSA FALHA NA AOI	1	2.58
AOI	AOI ENGATANDO PLACA NO CLAMP	1	20
AOI	PROGRAMA DO HNB100BOT CORROMPEU	2	64.28
AOI	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NA AOI (CONVEYOR DA AOI ENGATANDO PLACA)	9	93.34
AOI	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE.	12	204.14

Fonte: Autor

Conforme gráfico da Figura 42, pode-se analisar o problema de diversos pontos de vista: do ponto de vista material, do ponto de vista das inspeções em si, e do ponto de vista da máquina.

Do ponto de vista material, pode-se listar a *belt* como um item que pode causar o alto tempo de ciclo da placa, pois uma *belt* de má qualidade pode não transportar a placa da melhor maneira possível. O motor dos *conveyors* podem estar a 100 rpm, mas se a *belt* não for boa, ocorrerá deslizamentos da placa no *conveyor*.

Do ponto de vista das inspeções, podemos citar o alto tempo de inspeção e o alto

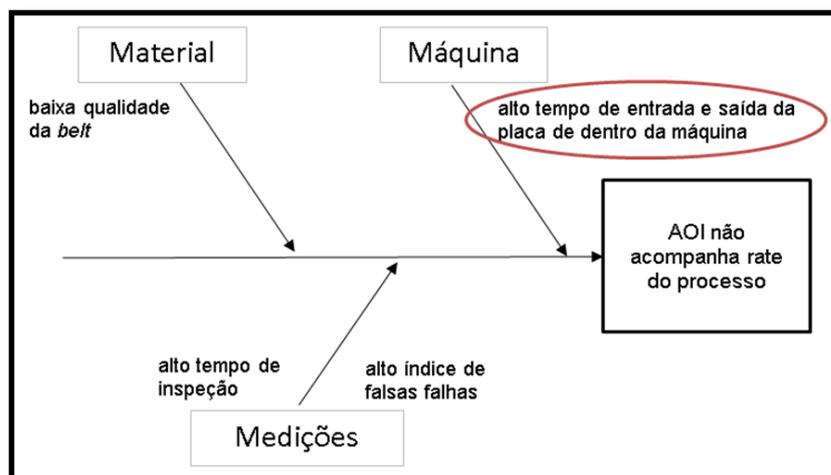
índice de falsas reprovações como itens a se atentar, já que, se o tempo de inspeção for alto, o tempo de ciclo será também alto e, e houver muitas reprovações de componentes na inspeção, o tempo de processamento será maior, conseqüentemente o tempo de ciclo também será maior.

Por fim, do ponto de vista da máquina, pode-se considerar o tempo de entrada e saída da placa de dentro da máquina.

Todos esses pontos de vistas podem ser observados no gráfico no diagrama de Ishikawa da Figura 42.

Para o tempo de ciclo da máquina, pode-se considerar 3 tempos: o tempo de entrada da placa até a posição de inspeção, o tempo de inspeção e o tempo de saída da placa. A próxima placa apenas entrará na máquina após a saída da placa presente. Observa-se então uma oportunidade de melhoria no tempo de espera da próxima placa. Por isso, circula-se o alto tempo de entrada e saída da placa de dentro da máquina?, conforme mostra o gráfico.

Figura 42 – Diagrama de Ishikawa - AOI não acompanha Rate



Fonte: Autor

#### Erro de transferência das placas no conveyor

O erro de transferência do *conveyor* consiste em algum problema na passagem da placa de um *conveyor* para outro. Com este problema, a placa não irá prosseguir da maneira devida, e então o processo terá de parar.

Conforme diagrama da Figura 43, pode-se analisar o problema de diversos pontos de vista: do ponto de vista material, do ponto de vista de medições, e do ponto de vista da máquina.

Do ponto de vista material, pode-se listar a *belt* como um item que pode causar erro na transferência das placas, pois uma *belt* de má qualidade pode não transportar a

placa da melhor maneira possível. O motor dos *conveyors* podem estar a 100 rpm, mas se a *belt* não for boa, ocorrerá deslizes da placa no *conveyor*.

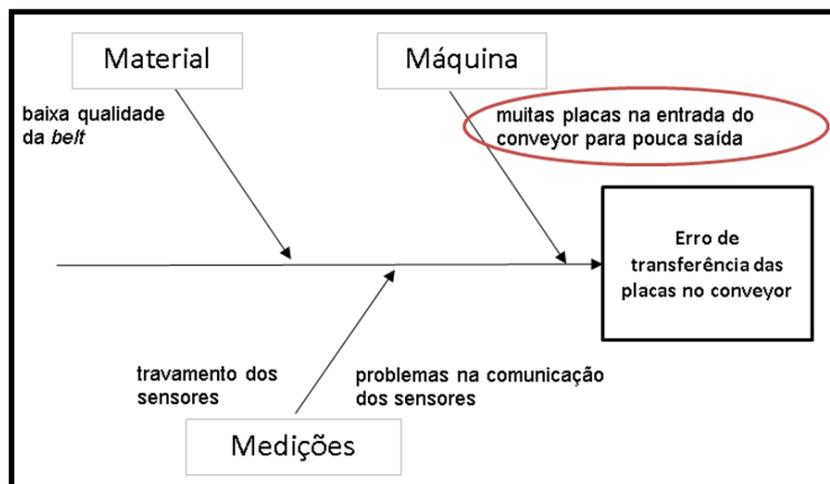
Do ponto de vista das medições, podemos citar travamento dos sensores ou algum problema na comunicação dos mesmos, já que, se houver alguma falha em alguma comunicação de algum sensor, a placa não será devidamente transportada.

Por fim, do ponto de vista da máquina, pode-se considerar o alto índice de placas na entrada do *conveyor*, visto que, por cada *conveyor*, passa-se apenas uma placa, então, se houver muitas placas, ocorrerá acúmulo e uma empurrará a outra gerando, assim, problemas no caminho das placas.

Todos esses pontos de vistas podem ser observados no gráfico ?espinha de peixe? da Figura 43.

Observa-se uma oportunidade de melhoria no índice de placas que passam pelos *conveyors*. Por isso, circula-se esta opção no gráfico da Figura 43.

Figura 43 – Diagrama de Ishikawa - Erro de Transferência



Fonte: Autor

### Excesso de falsas reprovações

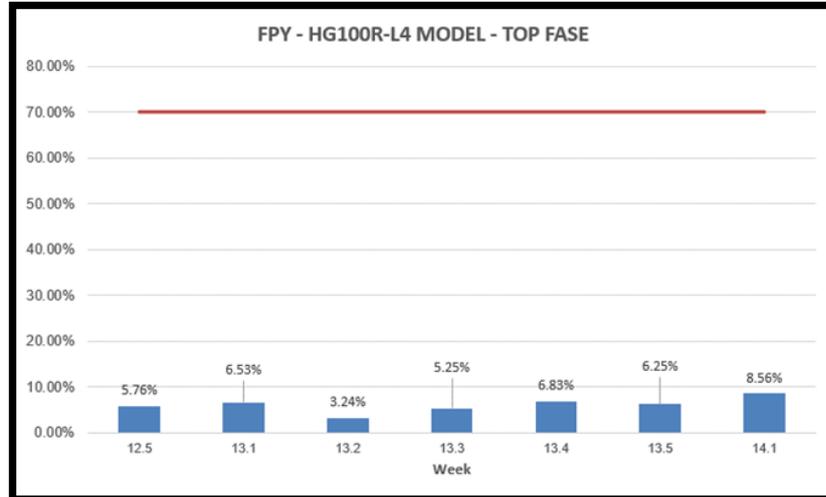
Quando, em uma inspeção visual, existe mais de 2% de reprovações em uma placa, a máquina sofre uma parada para que um técnico analise o porquê de tantas reprovações. Se forem componentes faltando, ou deslocados, então há algum problema no processo; se forem falsas reprovações, então há algum problema na AOI.

No caso da AOI, pode-se trabalhar no excesso de falsas reprovações nas inspeções óticas das PCB's.

Na linha estudada, percebe-se um índice altíssimo de falsas reprovações. Conforme se pode observar no gráfico da Figura 44, nas semanas 12, 13 e 14 do ano de 2016,

o índice de placas aprovadas não atingia nem 10% de aprovações, sendo que o *target* era 70%, e o ideal era que fosse 100% de placas aprovadas.

Figura 44 – Placas aprovadas na primeira passada - FPY

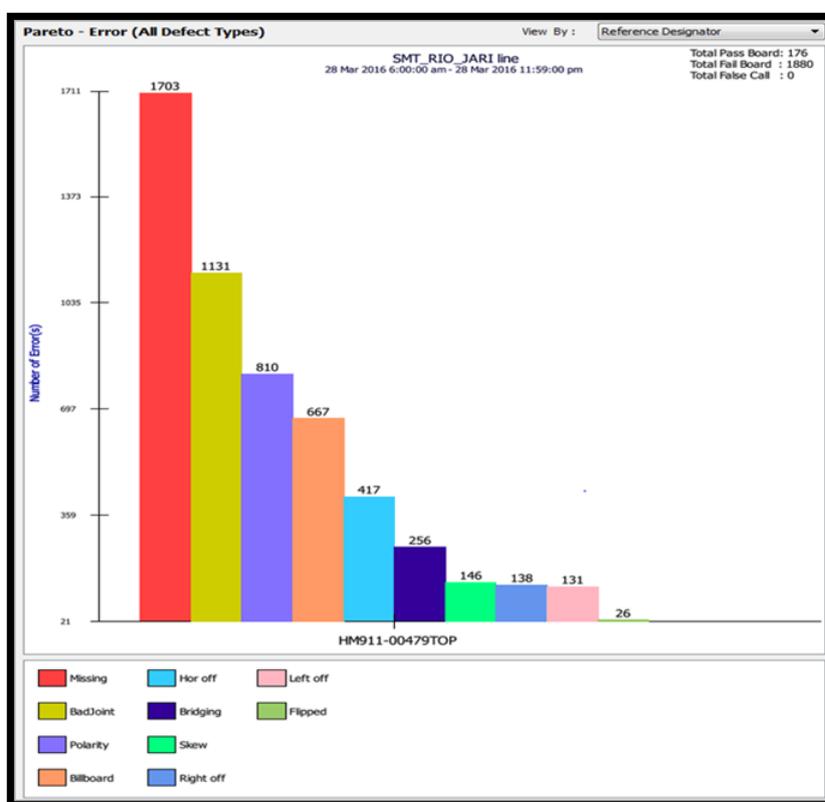


Fonte: Autor

Este gráfico da Figura 45 mostra os dados tirados no dia 28 de março dos maiores impactantes no quesito falsa reprovação na AOI. Como se pode observar, o maior índice deste dia é o *missing*, ou componente faltando; o segundo maior é o *badJoint*, ou má junção de soda.

Quanto a este motivo de parada de linha, os projetos a serem pensados têm como objetivo a melhoria do FPY de 8,5% para 70%, ainda no primeiro semestre do ano de 2016.

Figura 45 – Maiores reprovações na AOI



Fonte: Autor

## 4

# Resultados Obtidos

Estes procedimentos estão atualmente sendo aplicados em apenas um setor da fábrica e para, apenas, um modelo de placa. Com a melhoria da confiabilidade nas etapas do processo, convém replicar este procedimento para os outros 10 modelos de placa em toda a fábrica.

A seguir pode-se observar os dados obtidos nos meses de abril e maio, bem como os cálculos das novas confiabilidade após as implementações das providências para cada problema focado.

### 4.1 Dados da IM após implementação de providências

Conforme procedimento de coleta de dados descrita no capítulo de desenvolvimento, foram coletados os dados de parada de linha da etapa de inserção manual.

Os dados foram organizados em uma planilha do Excel e são mostrados na Figura 46.

Da mesma forma, os dados da Figura 46 foram inseridos no software *Weibull*, conforme Figura 47.

Utilizando-se dos recursos do software *Weibull++*, com os dados obtidos de parada de linha do processo, foi realizado um teste de aderência para a escolha da função que melhor se encaixa com os dados, Figura 48.

O painel da esquerda exibe os ranques das distribuições consideradas. Ranque = 1 é a melhor aderência para os dados.

Clicando na aba ‘Detalhes da Análise’ observa-se os resultados dos cálculos, Figura 49.

Clicando-se em ‘Implementar’ retorna-se à planilha e aplicando-se a distribuição com o melhor ranqueamento na análise dos dados.

Conforme os dados inseridos, também é possível observar o gráfico Probabilidade vs Tempo de falhas, Figura, e calcular a confiabilidade estimada para o tempo desejado, Figura 50.

Enfim, pôde-se calcular os dados de confiabilidade dos dados inseridos e estimar o valor de confiabilidade para um período de tempo  $t=1000$  hs, Figura 51.

Figura 46 – Dados IM - Pós Implementação

Hora	Turno	Falha	Máquina	Downtime
24	04/01/2016	Excesso de Falsa Falha no Teste	IM	4,08
192	04/08/2016	Programa Travado	IM	1
456	19/04/2016	Pico de Energia	IM	15
840	05/03/2016	Sem Sistema MES	IM	20
1128	17/05/2016	Temperatura Fora dos Parâmetros Máquina de Solda	IM	15
1176	19/05/2016	Falta de Material	IM	576
1200	20/05/2016	Programa Travado	IM	2

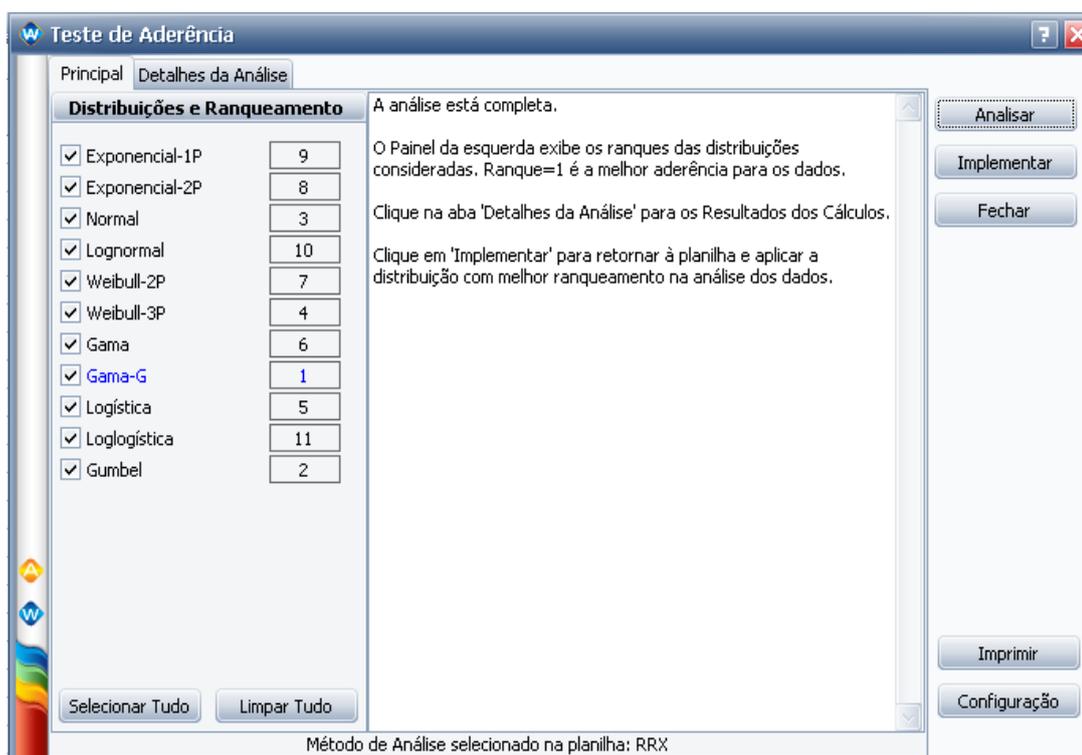
Fonte: Autor

Figura 47 – Dados IM - Pós Implementações

B7		IM
	Tempo Falha (h)	Subconjunto ID 1
1	24	IM
2	192	IM
3	456	IM
4	840	IM
5	1128	IM
6	1176	IM
7	1200	IM

Fonte: Autor

Figura 48 – Teste de Aderência IM - Pós



Fonte: Autor

## 4.2 Dados da AOI após implementação de providências

Conforme procedimento de coleta de dados descrita no capítulo de desenvolvimento, foram coletados os dados de parada de linha da etapa de Inspeção Ótica Automatizada.

Os dados foram organizados em uma planilha do Excel e são mostrados na Figura 52.

Da mesma forma, os dados da Figura 52 foram inseridos no software *Weibull*, conforme Figura 53.

Utilizando-se dos recursos do software *Weibull++*, com os dados obtidos de parada de linha do processo, foi realizado um teste de aderência para a escolha da função que melhor se encaixa com os dados, Figura 54.

O painel da esquerda exibe os ranques das distribuições consideradas. Ranque = 1 é a melhor aderência para os dados.

Clicando na aba 'Detalhes da Análise' observa-se os resultados dos cálculos, Figura 55.

Clicando-se em 'Implementar' retorna-se à planilha e aplicando-se a distribuição com o melhor ranqueamento na análise dos dados.

Figura 49 – Parâmetros IM - Pós Implementações

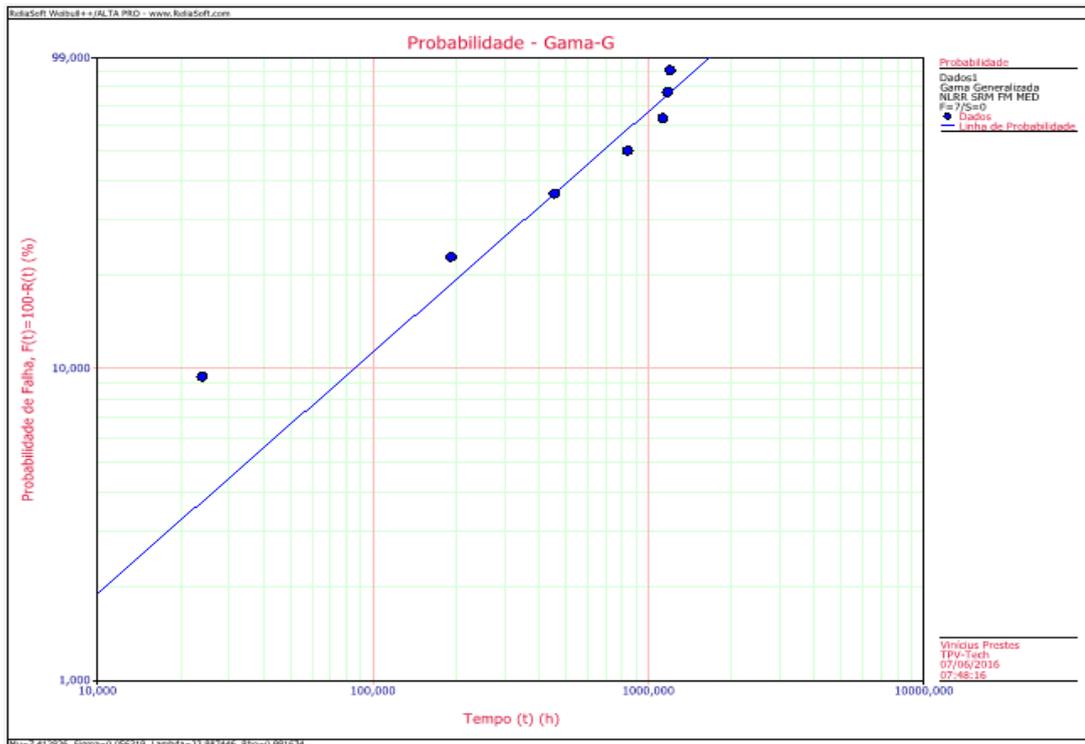
<b>Parâmetros</b>	
<b>Distribuição:</b>	<b>Gama-G-3P</b>
<b>Análises:</b>	<b>NLRR</b>
<b>Método do IC:</b>	<b>FM</b>
<b>Ranqueando:</b>	<b>MED</b>
<b>Mu (h)</b>	<b>7,412826</b>
<b>Sigma</b>	<b>0,056319</b>
<b>Lambda</b>	<b>22,987446</b>
<b>Valor da LK</b>	<b>-51,63123</b>
<b>Rho</b>	<b>0,981674</b>
<b>F \ S</b>	<b>7 \ 0</b>

Fonte: Autor

Conforme os dados inseridos, também é possível observar o gráfico Probabilidade vs Tempo de falhas, Figura, e calcular a confiabilidade estimada para o tempo desejado, Figura 56.

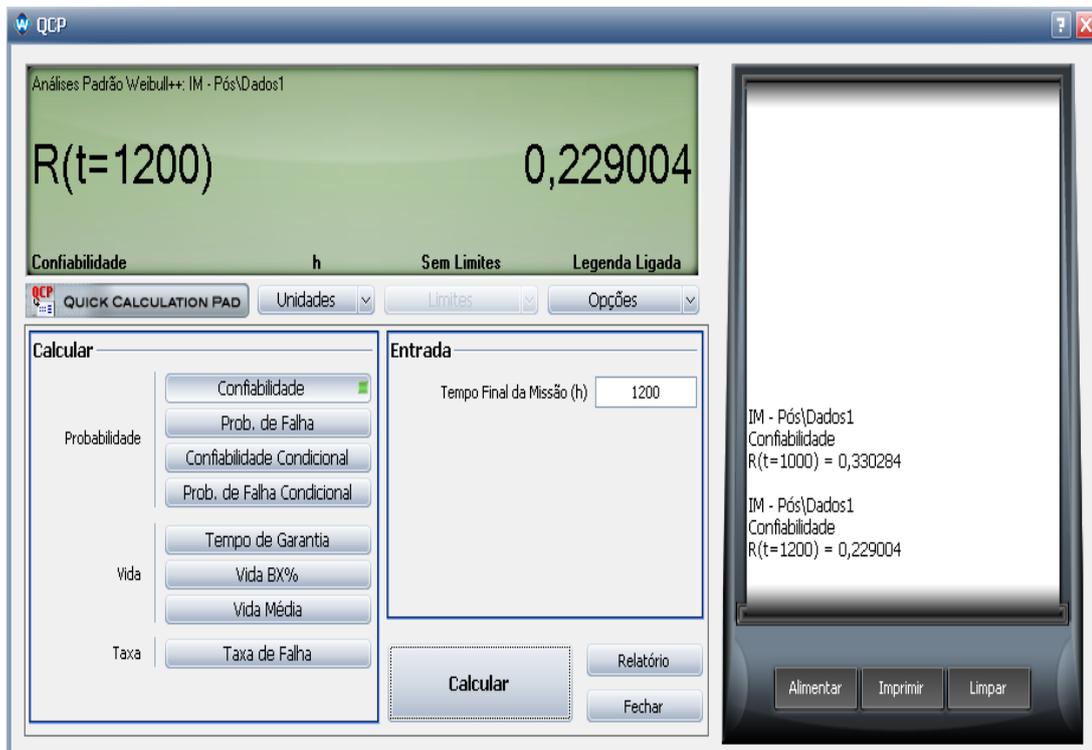
Enfim, pôde-se calcular os dados de confiabilidade dos dados inseridos e estimar o valor de confiabilidade para um período de tempo  $t=1000$  hs, Figura 57.

Figura 50 – Grafico Probabilidade vs Tempo IM - Pos Implementações



Fonte: Autor

Figura 51 – Confiabilidade IM para  $t=1000$  e para  $t=1200h$



Fonte: Autor

Figura 52 – Dados AOI - Pós Implementação

Hora	Turno	Falha	Máquina	Downtin
4	04/01/2016	ERRO DE TRASNFERÊNCIA NO CONVEYOR DE SAIDA DA AOI.	AOI	18
8	04/01/2016	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE	AOI	12,42
12	04/01/2016	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE DA NXT	AOI	21,37
16	04/01/2016	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE	AOI	33,47
20	04/01/2016	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE DA NXT.	AOI	4
24	04/01/2016	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE DA LINHA	AOI	10
60	04/04/2016	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NO CONVEYOR DE SAÍDA DA AOI	AOI	7,11
96	04/04/2016	AOI NÃO ACOMPANHA O RATE DA NXT	AOI	27,47
120	04/08/2016	LINHA PARADA (HD DA AOI CORROMPEU)	AOI	288
150	04/08/2016	PROGRAMA DA AOI TRAVANDO (HD CORROMPEU)	AOI	35,73
192	04/08/2016	PROGRAMA DA AOI TRAVANDO	AOI	37,2
456	19/04/2016	PLACA ENGATOU NO CONVEYOR DE SAIDA DA AOI	AOI	6,42
624	26/04/2016	AOI TRAVOU SOFTWARE (ENGATOU PLACAS NA SHUTTLE)	AOI	5,89
840	05/03/2016	DEBUG AOI	AOI	4,58
1128	17/05/2016	AOI TRAVANDO O SOFTWARE (REINICIADO O PROGRAMA)	AOI	12,84
1296	24/05/2016	DEBUG AOI DO COMPONENTE CRD:L959	AOI	17
1320	25/05/2016	PLACA ENGATANDO NA AOI (ENGATOU NO CLAMP)	AOI	4,08

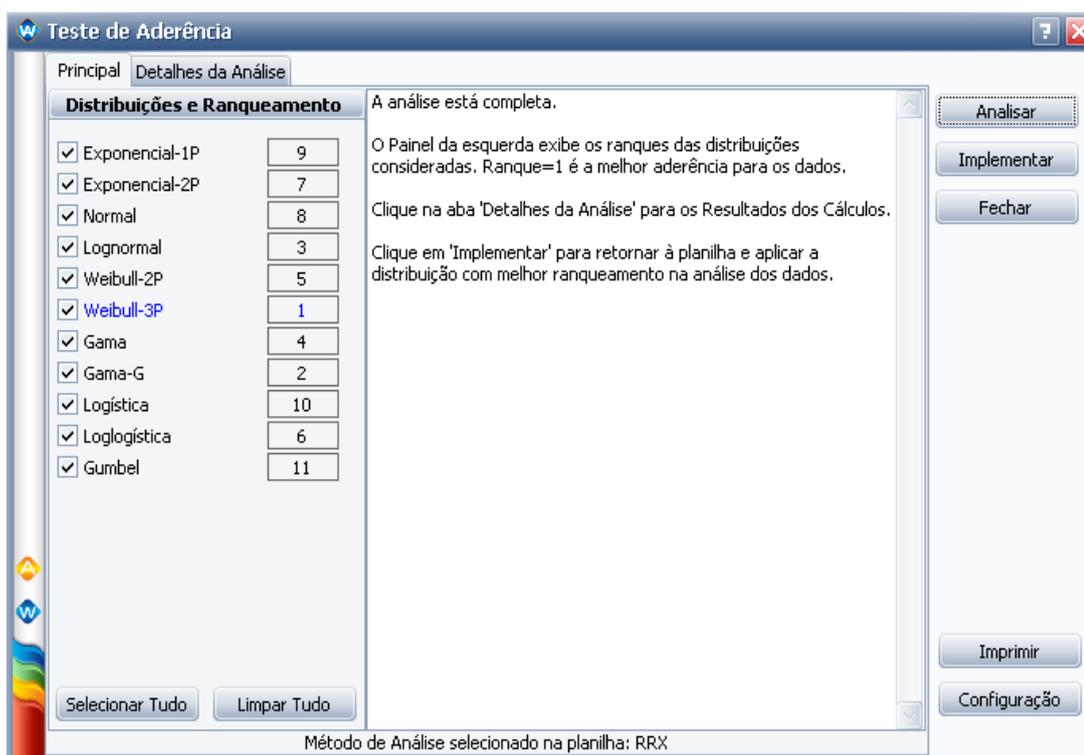
Fonte: Autor

Figura 53 – Dados AOI - Pós Implementações

B18	
Tempo Falha (h)	Subconjunto ID 1
1	AOI
2	AOI
3	AOI
4	AOI
5	AOI
6	AOI
7	AOI
8	AOI
9	AOI
10	AOI
11	AOI
12	AOI
13	AOI
14	AOI
15	AOI
16	AOI
17	AOI
18	

Fonte: Autor

Figura 54 – Teste de Aderência AOI - Pós



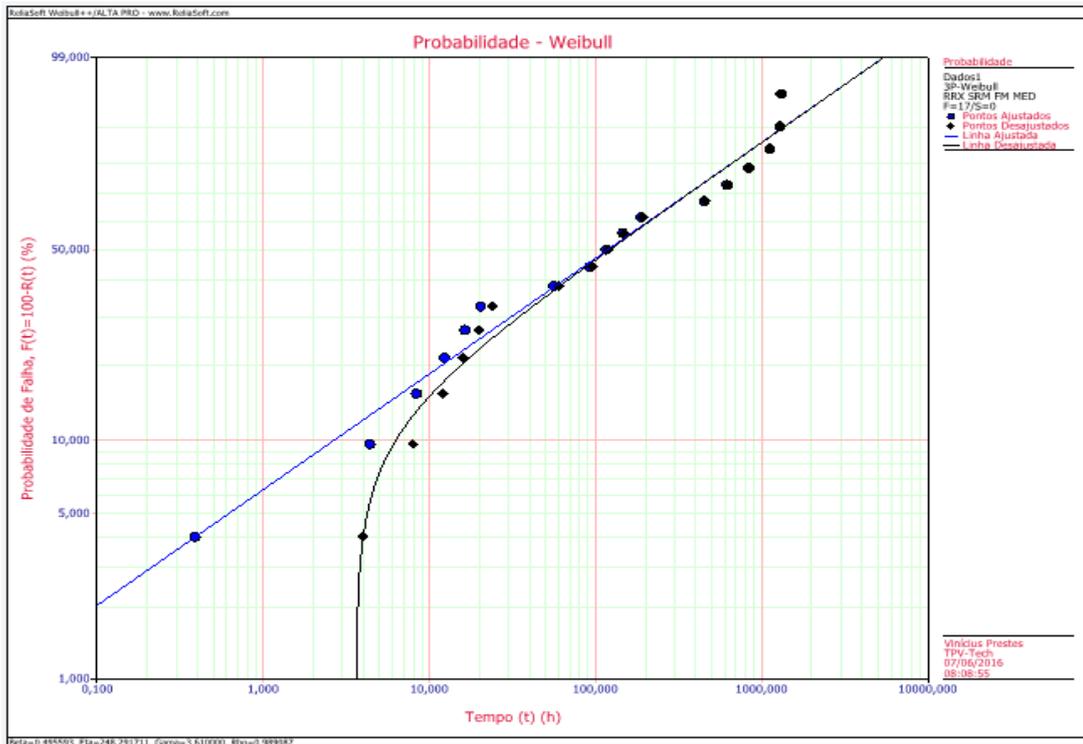
Fonte: Autor

Figura 55 – Parâmetros AOI Pós

<b>Parâmetros</b>		
Distribuição:	Weibull-3P	
Análises:	NLRR	
Método do IC:	FM	
Ranqueando:	MED	
Beta	0,495593	
Eta (h)	248,291711	
Gama (h)	3,61	
Valor da LK	-112,286579	
Rho	0,989087	
F \ S	17 \ 0	
<b>LOCAL VAR/COV MATRIX</b>		
	Var-Beta=0,009845	CV Eta Beta=2,519057
	CV Eta Beta=2,519057	Var-Eta=18710,517733

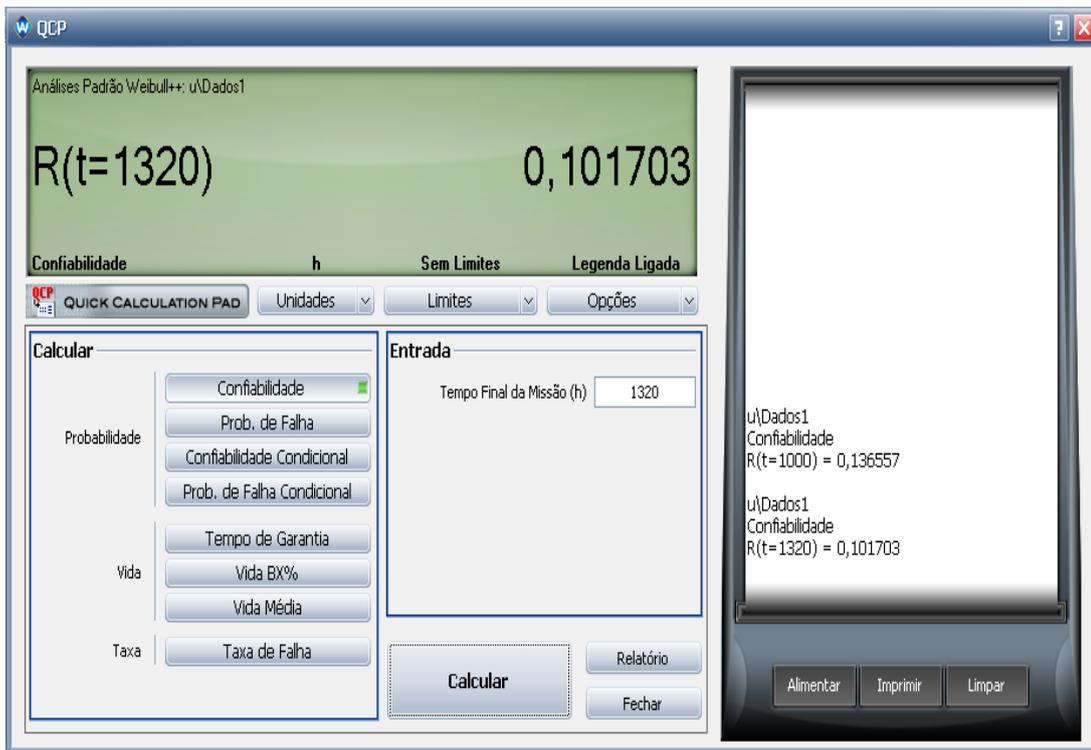
Fonte: Autor

Figura 56 – Grafico Probabilidade vs Tempo AOI - Pos Implementações



Fonte: Autor

Figura 57 – Confiabilidade AOI para  $t=1000$  e para  $t=1320h$



Fonte: Autor

# 5

## Conclusões

Este estudo nos permitiu apresentar uma análise utilizando os conceitos de confiabilidade.

Usando este critério, pudemos determinar quão capaz foi, a linha, de alcançar os resultados esperados e quais melhorias seriam necessárias para atingir os objetivos.

Portanto, como sugestões imediatas de melhoria, temos:

1. Adequar a linha de acordo com o número de unidades paralelas equivalentes para se atingir a confiabilidade proposta.
2. Reforçar o orçamento de manutenção incluindo peças de reposição, calibrações, remodelações, insuficiência de análises e gestão de manutenção.
3. Reforçar competências técnicas em matérias de gestão de manutenção e resolução de problemas.
4. Implementar conceito de RCM na fábrica.
5. Fazer investimentos para renovação das máquinas para se ter uma melhor confiabilidade e baixos custos de manutenção.

Uma solução baseada em N.E.P.U. faz com que o projeto saia muito caro. Além disso, o conceito de linha não apoia a implementação de novas unidades de máquinas.

Uma boa opção seria fazer investimentos por novas tecnologias que são capazes de garantir o rendimento desejado com um bom nível de confiabilidade.

Fazer investimentos para remodelações, manutenção preditiva e calibrações podem melhorar o desempenho da linha e das máquinas também.

Do lado da gestão, é muito importante envolver a equipe de manutenção para fazer estudos para encontrar a causa raiz de falhas e apoiar as tarefas de manutenção com soluções que impedem o processo e as máquinas contra avarias.

Usando ferramentas como FMEA, exemplificado na Figura 58, FRACAS, FMECA são uma boa maneira de encontrar soluções.

A ideia principal é investir na otimização das práticas de manutenção ora adotadas, o que significa dizer que se deve utilizar mais ferramentas de análise de causa raiz das falhas e realimentar as conclusões para os planos de manutenção, ou seja, revisá-los com mais frequência de modo a combater as causas das falhas e não nos efeitos e,

Figura 58 – Otimização de linha de produção



Função #	Função	Item #	Nome do Item
1	Paste Printing	1	Start Up
2	Placement	1	Start Up
3	Reflow	1	Start Up
4	AOI - Inspeção Automática	1	Start Up
5	Underfill	1	Start Up
6	Router	1	Start Up
7	Panel Flash	1	Start Up
8	FLALI	1	Start Up
9	FINUI	1	Start Up
10	Parafusadeira	1	Start Up
11	Label	1	Start Up
12	Produzir Telefone	1	Start Up

Fonte: Autor

além disso, melhorar a capacitação da equipe de manutenção sobre o conhecimento técnico dos equipamentos, como calibrações e manutenções complexas.

Além disso, do ponto de vista de gestão, reforçar a cultura de Engenharia de Manutenção e fazer estudos para implementar a Metodologia RCM o mais rapidamente possível para uma melhora na gestão da manutenção.

Um ponto deve ser reforçado e se refere à qualidade dos dados adquiridos. Alguns equipamentos mostrou uma escassez de dados durante o tempo observado porque não havia registro suficiente para determinar a correta distribuição de falha. E isso acarretaria um alto impacto sobre as conclusões e recomendações deste estudo.

## Referências

- HARTMANN, M.; MOALA, F. A.; MENDONÇA, M. A. . Nenhuma citação no texto.
- ASSIS F. N. DE., A. H. P. A. R. Aplicações estatísticas à climatologia. *Pelotas, Ed. Universitária/UFPel*, p. 161p, 1996. . Nenhuma citação no texto.
- CASTRO F. H. F.; SILVEIRA, H. P. Modelagem das distribuições das taxas de retorno dos índices ibovespa e s&p500. *Revista de Administração Mackenzie*, v. 10,, p. n. 1,, 2009. . Nenhuma citação no texto.
- CATALUNHA M. J SEDIYAMA, G. C. L. B. G. S. C. P. B. R. A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no estado de minas gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria*, v.10, n.1, p. p.153–162, 2002. Citado na página 22.
- COUTO, H. T. Z. *Distribuições de diâmetro em plantações de pinus caribaea morelet, Tese de Mestrado*. Dissertação (Mestrado) — ESALQ, 1980, 79p. . Nenhuma citação no texto.
- HARTMANN M.; MOALA, F. A. M. M. A. Estudo das precipitações máximas anuais em presidente prudente. *Revista Brasileira de Meteorologia*., p. 26(4):561–568, ., 2011. Citado na página 23.
- LEVITT, J. *The Handbook of Maintenance Management*. [S.l.]: 1.ed. Nova Yorque, 1997. Citado na página 20.
- THOM, H. A note on the gamma distribution. *Monthly Weather Review, Washington*, v86, p. p.117–122, 1958. Citado na página 22.

# APÊNDICE A – Falhas do Processo Produtivo

Quisque facilisis auctor sapien. Pellentesque gravida hendrerit lectus. Mauris rutrum sodales sapien. Fusce hendrerit sem vel lorem. Integer pellentesque massa vel augue. Integer elit tortor, feugiat quis, sagittis et, ornare non, lacus. Vestibulum posuere pellentesque eros. Quisque venenatis ipsum dictum nulla. Aliquam quis quam non metus eleifend interdum. Nam eget sapien ac mauris malesuada adipiscing. Etiam eleifend neque sed quam. Nulla facilisi. Proin a ligula. Sed id dui eu nibh egestas tincidunt. Suspendisse arcu.

Figura 59 – Dados de falhas DEK

Hora	Turno	Falha	Máquina	Downtime
9	1st Shift 07:00 - 16:48	PASTA AGUARDANDO TEMPO DE USO.	DEK	300
21	1st Shift 07:00 - 16:48	DEK NÃO LIGA.	DEK	15
30	1st Shift 07:00 - 16:48	Insuficiência de solda na Deck	DEK	3.69
45	1st Shift 07:00 - 16:48	INSUFICIÊNCIA DE SOLDA. / LIMPEZA DO STENCIL MANUAL.	DEK	5
49	1st Shift 07:00 - 16:48	INSUFICIÊNCIA DE SOLDA. / LIMPEZA DO STENCIL MANUAL.	DEK	2.77
55	1st Shift 07:00 - 16:48	TROCA DE PAPEL NA DEK. / TROCA DO MESMO.	DEK	2.22
62	1st Shift 07:00 - 16:48	DE TRAVADA. / REINICIALIZAÇÃO DO SOFT.	DEK	6.22
89	1st Shift 07:00 - 16:48	AJUSTE NO PROGRAMA DA DEK PARA OTIMIZAR O PROCESSO	DEK	12
105	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NO CONVEYOR DA DEK	DEK	5.2
137	1st Shift 07:00 - 16:48	DEK TRAVOU O PROGRAMA	DEK	10.2
139	1st Shift 07:00 - 16:48	AJUSTE NOS PARÂMETROS DA DEK (DEK NÃO ALCANÇA RATE DA LINHA)	DEK	9.4
141	1st Shift 07:00 - 16:48	AJUSTE NOS PARÂMETROS DA DEK (DEK NÃO ALCANÇA O RATE)	DEK	7.6
144	1st Shift 07:00 - 16:48	DEK NÃO ACOMPANHA O RATE DA NXT	DEK	2.8
168	1st Shift 07:00 - 16:48	DEK TRAVOU (ERRO DE TRANSFERÊNCIA)	DEK	12.83
203	1st Shift 07:00 - 16:48	AJUSTE NA DEK (EXCESSO DE CURTO E PASTA)	DEK	50.34
218	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NA DEK	DEK	21.79

Fonte: Autor

Figura 60 – Dados de Falhas Forno

Hora	Turno	Falha	Máquina	Downtime
5	1st Shift 07:00 - 16:48	FORNO COM RUÍDO ESTRANHO. / AJUSTE DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO AGUARDANDO ESTABILIZAÇÃO.	FORNO	18
14	1st Shift 07:00 - 16:48	FORNO DISPARANDO AJUSTE NO SENSO	FORNO	30
90	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NO CONVEYOR DE SAÍDA DO FORNO	FORNO	8
112	1st Shift 07:00 - 16:48	PLACA ENGATANDO NA SHUTTLE	FORNO	26.42
121	1st Shift 07:00 - 16:48	AJUSTE NO PERFIL DO FORNO PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO	FORNO	22

Fonte: Autor

Figura 61 – Dados de Falhas Inspetora de Pasta de Solda

Hora	Turno	Falha	Máquina	Downtime
1	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NA KOHYOUNG. / RESET NO SISTEMA.	KOHYOUNG	5
23	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSF. LINE 2 KOHYOUNG. / REPOSIÇÃO DA BELT E AJUSTE.	KOHYOUNG	8.53
61	1st Shift 07:00 - 16:48	FALSA FALHA KOHYOUNG. / AJUSTE / ALTERAÇÃO DO PROGRAMA.	KOHYOUNG	1.56
98	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NA KOHYOUNG (PLACA ENGATOU)	KOHYOUNG	24.54
119	1st Shift 07:00 - 16:48	AJUSTE NA CORBERTURA DE INSPEÇÃO DA KOHYOUNG PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO	KOHYOUNG	15.4
123	1st Shift 07:00 - 16:48	AJUSTE NA KOHYOUNG	KOHYOUNG	13.2
202	1st Shift 07:00 - 16:48	AJUSTE NO PROGRAMA DA KOHYOUNG	KOHYOUNG	17.11

Figura 62 – Dados de Falhas Inserçora Automática de Componentes

Hora	Turno	Falha	Máquina	Downtime
3	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE CONVEYOR MÓD. 24. / FOI AJUSTADO LINE 1 E RETIRADA DA PLACA.	NXT	9
7	1st Shift 07:00 - 16:48	FEEDER TRAVANDO. / TROCA DO MESMO.	NXT	4.53
25	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE PICK-UP MÓD.24 SLOT 5. / AJUSTE NO FEEDER.	NXT	1.09
33	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSF. MÓD.1 2X. / RETIRADA DAS PLACAS.	NXT	6.69
51	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSF. MÓD.01. / ALINHAMENTO DO CONVEYOR DE ENTRADA.	NXT	2.77
53	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSF. MÓD. 1 INTERMITENTE. / TROCA DA BELT LINE 2 NXT MÓD. 1 E CALIBRAÇÃO.	NXT	28.38
54	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSF. MÓD. 1 INTERMITENTE. / TROCA DA BELT LINE 2 NXT MÓD. 1 E CALIBRAÇÃO.	NXT	7.62
56	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE PICK-UP QUEBRA DE EMENDA. / AJUSTE NAO MOD. 25 SLOT 5 HM200550-ENF.	NXT	4
59	1st Shift 07:00 - 16:48	COMPONENTE REJEITANDO NA MTU HM00000-00129. / AJUSTE DO SHAPE DO BGA.	NXT	5
60	1st Shift 07:00 - 16:48	COMPONENTE REJEITANDO MTU HM00000-00129. / LIMPEZA DA CÂMERA.	NXT	6
61	1st Shift 07:00 - 16:48	COMPONENTE FALTANDO E JOGADO MÓD.15 SLOT 9 HM000106-321. / TROCA DOS PACKING.	NXT	26.78
62	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE HEAD MÓD.15. / RETIRADA DA HEAD E REPOSIÇÃO DO CABO IN/OUT.	NXT	22
63	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE HEAD MÓD.15. / RETIRADA DA HEAD E REPOSIÇÃO DO CABO IN/OUT.	NXT	10
63	1st Shift 07:00 - 16:48	COMPONENTE REJEITANDO MTU HM00000-00129.	NXT	1.56
69	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE PICK-UP MÓD. 24 SLOT 9 HM00020-00031-ENF. / AJUSTE NA EMENDA.	NXT	6.89
72	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE SERVO AXIS MÓD.11. / RETIRADA DA HEAD E REPOSIÇÃO DO CABO IN/OUT.	NXT	53.66
83	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE NOZZELES MOD 19;22	NXT	13.22
85	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE NOS MODULOS 23 E 24	NXT	8.22
94	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSFERÊNCIA MOD 14; 15	NXT	8.18
96	1st Shift 07:00 - 16:48	MODULO 23 e 24 COM ERRO DE NOZZLLES	NXT	30
97	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSFERÊNCIA NOS MODULOS 14; 15	NXT	25.23
99	1st Shift 07:00 - 16:48	COMPONENTE REJEITANDO (23.8 HM00906-00047)	NXT	26.93
103	1st Shift 07:00 - 16:48	COMPONENTE REJEITANDO MODULO 14	NXT	12.8
108	1st Shift 07:00 - 16:48	IC COM POLARIDADE INVERTIDA (HM00090-00024 - ENF)	NXT	26
117	1st Shift 07:00 - 16:48	AJUSTE NO OFF SET DO MODULO 23.7 COMPONENTE REJEITANDO (HM00906-00047)	NXT	10.26
128	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE PICK UP MOD 18.6 COMPONENTE REJEITANDO	NXT	27.05
129	1st Shift 07:00 - 16:48	ERRO DE TRANSFERÊNCIA E ERRO DE HEAD NO MODULO 23	NXT	10.89
131	1st Shift 07:00 - 16:48	ATRASO NA ALIMENTAÇÃO DE MATERIAL (HM00004-00103)	NXT	14.66
133	1st Shift 07:00 - 16:48	MATERIAL AMASSADO (HM000107-00058 / HM000107-00057)	NXT	9.89
134	1st Shift 07:00 - 16:48	MATERIAL AMASSADO (HM00107-00058 / HM00107-00057)	NXT	10.57

Fonte: Autor