

# **ANÁLISE DA FIABILIDADE E MELHORIA DO PROCESSO DE FABRICO: ESTUDO DE CASO EM UMA FÁBRICA DE COMPONENTES PARA AUTOMÓVEIS**

Gabriela Chaves Placca

**2017**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# **ANÁLISE DA FIABILIDADE E MELHORIA DO PROCESSO DE FABRICO: ESTUDO DE CASO EM UMA FÁBRICA DE COMPONENTES PARA AUTOMÓVEIS**

Gabriela Chaves Placca  
1160383

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica – Gestão Industrial, realizada sob a orientação da Professora Doutora Sandra Ramos e co-orientação da Professora Doutora Marjorie Belinelli.

**2017**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica – Gestão Industrial



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# JÚRI

## **Presidente**

Professora Doutora Maria Teresa Ribeiro Pereira

Professora adjunta do Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto - ISEP

## **Orientador**

Professor Doutora Sandra Ramos

Professora adjunta do Departamento de Matemática do Instituto Superior de Engenharia do Porto - ISEP

## **Co-orientador**

Professora Doutora Marjorie Belinelli

Professora adjunta do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

## **Arguente**

Professor Doutor José Duarte Ribeiro Marafona

Professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP



## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por me proporcionar a oportunidade de participar do programa de Dupla Titulação. Sem esse programa, nada disso teria sido possível.

Agradeço ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, por ter me recebido tão bem. A todos os professores e colegas que conheci aqui e que me acompanharam nessa etapa. Um especial e forte agradecimento ao coordenador do curso de Engenharia Mecânica, Engenheiro Francisco J. G. Silva, que me auxiliou e orientou nos momentos mais difíceis.

À minha querida orientadora de mestrado, Professora Doutora Sandra Ramos, por todos os conhecimentos compartilhados, por todas as ideias, tempo e dedicação.

À minha co-orientadora, Professora Doutora Marjorie Belinelli, que encontrou meios de me auxiliar mesmo à distância.

À empresa FicoCables, por tornar esse projeto real. Em especial, agradeço ao Engenheiro Vitor Brás, pela oportunidade de fazer parte da equipa e aos meus colegas de departamento Bruno Pinheiro, Antonio Gomes e Carina Vale, por todo o apoio e ajuda.

Ao Engenheiro Carlos Duarte, por todas as revisões e conhecimentos transmitidos.

Agradeço e dedico essa dissertação de mestrado à minha amada família que sonhou e acreditou nesse projeto junto comigo. Ao meu pai, minha mãe, minhas irmãs e avós, por confiarem no meu potencial e me motivarem a dar o meu melhor sempre.

Ao meu namorado, por todo o amor e paciência durante esse ano de total dedicação a esse projeto.





**PALAVRAS CHAVE**

Manutenção, Melhoria e otimização do processo, Gerenciamento estratégico, Fiabilidade, Disponibilidade, Falhas

**RESUMO**

A condução atual dos negócios, considerando uma economia globalizada e altamente competitiva, necessita de mudanças na mentalidade e posturas do setor industrial. O conceito de que a função da manutenção é restabelecer as condições originais dos equipamentos está ultrapassado. Na visão atual, a manutenção deve ser organizada, e deve evitar as ocorrências dos eventos de falha, objetivando reduzir custos industriais e maximizar a produtividade de máquinas e equipamentos.

Face ao exposto, o seguinte estudo deseja abordar com prontidão e de forma proactiva, a melhoria e otimização do processo de uma linha de produção específica, por meio do gerenciamento estratégico das atividades da manutenção. Este trabalho tem por finalidade estudar e analisar o comportamento da fiabilidade de um sistema industrial, visando obter informações para gerir as atividades da manutenção de uma maneira mais eficiente, propiciando a contenção de falhas e o aumento da disponibilidade operacional dos equipamentos produtivos.

Após a execução do estudo, pode-se concluir que as análises de falhas e da fiabilidade da linha foram essenciais para auxiliar na adequada seleção da estratégia de manutenção a ser adotada, e para a prevenção de falhas. Buscou-se ao invés da eliminação de todos dos problemas, agir criando um programa de ação para os problemas mais críticos, o que levou a diminuir rapidamente o número de ocorrência de falhas.



**KEYWORDS**

*Maintenance, Process Improvement and Optimization, Strategic Management, Reliability, Availability, Failures*

**ABSTRACT**

*The today's business driving, considering a globalized and highly competitive economy, requires changes in the mentality and attitudes of the industrial sector. The concept that the maintenance function is just to restore the original equipment conditions is overpast. In the current view, maintenance must be organized, and must avoid the occurrence of failure events, in order to reduce industrial costs and maximize the productivity of machines and equipment.*

*Considering that the following study intends to promptly approach in a proactive way the improvement and optimization of the process of a specific production line through the strategic management of the maintenance activities. This work aims to study and analyze the reliability behavior of an industrial system, and use this information to manage maintenance activities in a more efficient way, aiming to contain failures and increase the operational availability of the machinery.*

*After this study, it can be concluded that failure and reliability analysis were essential to assist the proper selection of the maintenance strategy that should be adopted and to prevent failures. It can also be concluded that, instead of seeking to eliminate all of the problems found in the production line, choosing to create a program of action for the most critical problems has led to a rapid decrease in the number of failures occurrences.*



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

|         |   |
|---------|---|
| ABRAMAN | Associação Brasileira de Manutenção             |
| AEM     | <i>Asociacion Española de Mantenimento</i>      |
| AFNOR   | <i>Association Française de Normalisation</i>   |
| CBM     | <i>Condition Based Maintenance</i>              |
| DFMEA   | <i>Desing Failure Mode and Effect Analysis</i>  |
| FMEA    | <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>         |
| ISEP    | Instituto Superior de Engenharia do Porto       |
| MTBF    | <i>Mean Time Between Failure</i>                |
| MTTF    | <i>Mean Time to Failure</i>                     |
| MTRR    | <i>Mean Time to Repair</i>                      |
| PFMEA   | <i>Process Failure Mode and Effect Analysis</i> |
| RC      | Região Crítica                                  |
| RPN     | <i>Risk Priority Number</i>                     |
| TBF     | <i>Time between failures</i>                    |
| TTR     | <i>Time to repair</i>                           |
| TP      | Tempo parado                                    |
| TPM     | <i>Total Productive Maintenance</i>             |
| TQM     | <i>Total Quality Maintenance</i>                |
| TU      | Tempo útil                                      |

### Lista de Unidades

|    |           |
|----|-----------|
| mm | milímetro |
|    |           |
|    |           |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1 – ESPECIFICAÇÃO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE E MELHORIA DO PROCESSO. ADAPTADO DE ÁVILA ET AL. (1999).....   | 28 |
| FIGURA 2 - PERSPECTIVA DO PAPEL DA MANUTENÇÃO AO LONGO DO TEMPO DENTRO DAS ORGANIZAÇÕES (KOBACZY, MURTHY, 2008).....  | 34 |
| FIGURA 3 - MODELO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO. ELABORADO PELO AUTOR (2017).....   | 36 |
| FIGURA 4 - TIPOS DE MANUTENÇÃO. ELABORADO PELO AUTOR (2017).....  | 37 |
| FIGURA 5 - DIAGRAMA DE CAUSA-EFEITO (BEN-DAYA, 2009). ....  | 39 |
| FIGURA 6 - DIAGRAMA CAUSA-EFEITO PARA UM PROBLEMA DE MANUFATURA (PEINADO; GRAEML, 2007). ....   | 40 |
| FIGURA 7 - EXEMPLO PRÁTICO DO DIAGRAMA DE PARETO (PEINADO; GRAEML, 2007). ....  | 41 |
| FIGURA 8 – FORMULÁRIO FMEA. FONTE: ADAPTADO DE FMEA <i>HANDBOOK</i> (2004). ....  | 43 |
| FIGURA 9 - ATUAÇÃO DOS CONTROLES DE PREVENÇÃO E DETECÇÃO (RODRIGUES <i>ET AL.</i> ,2010). ....  | 44 |
| FIGURA 10 - FIABILIDADE VS INFIABILIDADE (RAMOS, 2017). ....  | 46 |
| FIGURA 11 - TAXA DE OCORRÊNCIA DE FALHAS (RAMOS, 2017). ....  | 48 |
| FIGURA 12 - CURVA DA BANHEIRA (RAMOS, 2017). ....   | 49 |
| FIGURA 13 - TEMPOS ENTRE AVARIAS (PEREIRA, 1996).....   | 51 |
| FIGURA 14 - SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES DO DESENVOLVIMENTO. ELABORADO PELO AUTOR (2017). ....   | 59 |
| FIGURA 15 - REPRESENTAÇÃO DA LINHA. FONTE: MANUAL DA LINHA DE MONTAGEM <i>SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE</i> (2012). ....   | 60 |
| FIGURA 16 - DESENHO DO CONJUNTO DA LINHA DE MONTAGEM <i>SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE</i> . FONTE: MANUAL DA LINHA DE MONTAGEM <i>SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE</i> (2012). ....      | 61 |
| FIGURA 17 - PEÇA FINAL PRODUZIDA PELA LINHA EM ESTUDO. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017). ....   | 62 |
| FIGURA 18 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DA LINHA DE MONTAGEM <i>SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE</i> . FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017).....   | 62 |
| FIGURA 19 - CONJUNTO DO CARREGADOR DE ARAMES. FONTE: MANUAL DA LINHA DE MONTAGEM <i>SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE</i> (2012). ....   | 63 |
| FIGURA 20 - DIAGRAMA DE PARETO – Nº TOTAL DE FALHAS NOS POSTOS DE TRABALHO DA LINHA DE MONTAGEM <i>SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE</i> (6 MESES). FONTE: ELABORADA PELO AUTOR (2017). .... | 64 |
| FIGURA 21 - DIAGRAMA DE PARETO - HORAS DE IMOBILIZAÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM <i>SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE</i> (6 MESES). FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017).....                      | 65 |
| FIGURA 22 - MODOS DE FALHA NO POSTO DA ESPINHA. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017). ....  | 66 |
| FIGURA 23 - MODOS DE FALHA NO POSTO DOS AGRAFOS. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017)....   | 67 |
| FIGURA 24 - DIAGRAMA DE CAUSA-EFEITO: FALHA FUNCIONAL DO POSTO ESPINHA. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017). ....  | 68 |
| FIGURA 25 - FMEA POSTO DA ESPINHA. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017). ....   | 71 |
| FIGURA 26 - REGIÃO CRÍTICA PARA A=5%. FONTE: ADAPTADO DE LOPES <i>ET AL</i> (2014). ....  | 74 |

|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 27 – CONJUNTO MECÂNICO DO SISTEMA DE TAMPAS DO CARREGADOR DE ARAMES. FONTE: MANUAL DA LINHA DE MONTAGEM SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE (2012). .....   | 78  |
| FIGURA 28 - CRONOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017). .....   | 79  |
| FIGURA 29 - MODELO UTILIZADO PARA AS LIÇÕES APRENDIDAS. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017). .....   | 80  |
| FIGURA 30 - RÉGUAS E LÍNGUAS ANTIGAS DO CARREGADOR DE ARAME DO POSTO DAS ESPINHAS. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017). .....  | 81  |
| FIGURA 31 - NOVO CONJUNTO DE RÉGUAS PARA O CARREGADOR DE ARAMES. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017). .....  | 82  |
| FIGURA 32 - NOVAS LÍNGUAS PARA O SISTEMA PASSA NÃO PASSA. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017). .....   | 82  |
| FIGURA 33 - ANÁLISE SEMANAL – TEMPOS DE PARAGEM DA LINHA DE MONTAGEM SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017). .....  | 83  |
| FIGURA 34 - SEMANA 15 - HORAS DE PARAGEM DA LINHA DE MONTAGEM SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017). FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017). .....   | 84  |
| FIGURA 35 - ARAME COM REBARBA. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR (2017). .....  | 87  |
| FIGURA 36 - CRITÉRIOS GENÉRICOS PARA AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE NO MFMEA (ESCALA QUALITATIVA). FONTE: GUIDELINES FOR FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS FOR AUTOMOTIVE, AEROSPACE AND GENERAL MANUFACTURING INDUSTRIES (2003). ..... | 105 |
| FIGURA 37 - CRITÉRIOS GENÉRICOS PARA AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA NO MFMEA (ESCALA QUALITATIVA). FONTE: GUIDELINES FOR FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS FOR AUTOMOTIVE, AEROSPACE AND GENERAL MANUFACTURING INDUSTRIES (2003). ..... | 106 |
| FIGURA 38 - CRITÉRIOS GENÉRICOS PARA AVALIAÇÃO DA DETECÇÃO NO MFMEA (ESCALA QUALITATIVA). FONTE: GUIDELINES FOR FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS FOR AUTOMOTIVE, AEROSPACE AND GENERAL MANUFACTURING INDUSTRIES (2003). .....   | 107 |



## ÍNDICE DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| TABELA 1 - DESCRIÇÃO DO CONJUNTO  | 61  |
| TABELA 2 - MODOS DE FALHA IDENTIFICADOS NOS POSTOS DA ESPINHA E AGRAFOS.  | 66  |
| TABELA 3 - ANÁLISE DOS TEMPOS NO POSTO 1.   | 73  |
| TABELA 4 - RESULTADOS DO TESTE DE LAPLACE BILATERAL.  | 74  |
| TABELA 5 - RESULTADOS DO TESTE DE CROW.   | 75  |
| TABELA 6 - INDICADORES DA FIABILIDADE E MANUTENÇÃO PARA OS POSTOS COM TAXA DE AVARIAS NÃO CONSTANTE.                              | 76  |
| TABELA 7 - INDICADORES DA FIABILIDADE E MANUTENÇÃO PARA OS POSTOS COM TAXA DE AVARIAS CONSTANTE.                                  | 76  |
| TABELA 8 - FORMULÁRIO PARA PLANEJAMENTO DE MELHORIA.  | 77  |
| TABELA 9 – ANÁLISE GERAL DOS POSTOS DE TRABALHO DA LINHA DE MONTAGEM <i>SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE</i> .                    | 85  |
| TABELA 10 - ANÁLISE DOS POSTOS DE TRABALHO APÓS IMPLEMENTAÇÃO DAS ACÇÕES DE MELHORIAS.  | 85  |
| TABELA 11 - FALHAS NO POSTO DA ESPINHA APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DAS ACÇÕES DE MELHORIA.   | 86  |
| TABELA 12 - FALHAS NO POSTO DE ENROLAMENTO APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DAS ACÇÕES DE MELHORIA.   | 87  |
| TABELA 13 - FALHAS NO POSTO DOS AGRAFOS APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DAS ACÇÕES DE MELHORIA.  | 88  |
| TABELA 14 - RESULTADOS DO TESTE DE LAPLACE APÓS IMPLEMENTAÇÃO DAS ACÇÕES MELHORIAS.   | 88  |
| TABELA 15 - RESULTADOS DOS INDICADORES DA FIABILIDADE E MANUTENÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM <i>SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE</i> . | 89  |
| TABELA 16 – ANÁLISE DOS TEMPOS NO POSTO 2.  | 108 |
| TABELA 17 – ANÁLISE DOS TEMPOS NO POSTO 3.  | 110 |
| TABELA 18 – ANÁLISE DOS TEMPOS NO POSTO 4.  | 110 |
| TABELA 19 – ANÁLISE DOS TEMPOS NO POSTO 5.  | 110 |
| TABELA 20 – ANÁLISE DOS TEMPOS NO POSTO 6.  | 111 |
| TABELA 21 – ANÁLISE DOS TEMPOS NO POSTO 7.  | 112 |



# ÍNDICE

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>   | <b>25</b> |
| <b>1.1</b> | <b>ENQUADRAMENTO</b> .....  | <b>25</b> |
| <b>1.2</b> | <b>OBJETIVOS</b> .....  | <b>26</b> |
| <b>1.3</b> | <b>APRESENTAÇÃO DO GRUPO FICOSA INTERNACIONAL</b> .....   | <b>27</b> |
| 1.3.1      | APRESENTAÇÃO DA EMPRESA FICOCABLES, LDA.  | 27        |
| <b>1.4</b> | <b>METODOLOGIA</b> .....  | <b>28</b> |
| <b>1.5</b> | <b>ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO</b> .....   | <b>29</b> |
| <b>2</b>   | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>  | <b>33</b> |
| <b>2.1</b> | <b>CONCEITOS GERAIS</b> .....   | <b>33</b> |
| <b>2.2</b> | <b>MANUTENÇÃO</b> .....   | <b>34</b> |
| 2.2.1      | GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL   | 35        |
| 2.2.2      | TIPOS DE MANUTENÇÃO   | 37        |
| <b>2.3</b> | <b>FERRAMENTAS UTILIZADAS NA ANÁLISE DO PROCESSO</b> .....                                      | <b>39</b> |
| 2.3.1      | DIAGRAMA DE CAUSA-EFEITO  | 39        |
| 2.3.2      | DIAGRAMA DE PARETO  | 41        |
| <b>2.4</b> | <b>ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHA (FMEA)</b> .....   | <b>42</b> |
| <b>2.5</b> | <b>FIABILIDADE</b> .....  | <b>45</b> |
| 2.5.1      | FUNÇÃO INTENSIDADE DE FALHA   | 46        |
| 2.5.2      | FUNÇÃO GERAL DE FIABILIDADE   | 47        |
| 2.5.3      | TAXA DE OCORRÊNCIA DE FALHAS  | 47        |
| 2.5.4      | CURVA DA BANHEIRA   | 49        |
| 2.5.5      | INDICADORES DE FIABILIDADE E MANUTENÇÃO   | 50        |
| 2.5.6      | MODELOS ESTATÍSTICOS DE FIABILIDADE   | 52        |
| 2.5.7      | TESTE DE LAPLACE  | 53        |
| 2.5.8      | TESTE DE CROW   | 54        |
| <b>3</b>   | <b>DESENVOLVIMENTO</b>  | <b>59</b> |
| <b>3.1</b> | <b>SELEÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM <i>SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE</i> COMO ESTUDO DE CASO</b> | <b>59</b> |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>3.2</b>  | <b>DESCRIÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM <i>SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE</i>.....</b> | <b>60</b>  |
| 3.2.1       | DESENHO DO CONJUNTO  | 61         |
| 3.2.2       | PRODUTO FINAL  | 62         |
| 3.2.3       | FUNIONAMENTO   | 62         |
| <b>3.3</b>  | <b>IDENTIFICAÇÃO DO POSTO CRÍTICO E SEUS MODOS DE FALHA .....</b>                  | <b>64</b>  |
| <b>3.4</b>  | <b>IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS.....</b>   | <b>67</b>  |
| <b>3.5</b>  | <b>ANÁLISE DE RISCO .....</b>  | <b>69</b>  |
| <b>3.6</b>  | <b>ANÁLISE DA FIABILIDADE.....</b>   | <b>72</b>  |
| 3.6.1       | TAXA DE OCORRÊNCIA DE FALHAS NÃO CONSTANTE   | 75         |
| 3.6.2       | TAXA DE OCORRÊNCIA DE FALHAS CONSTANTE   | 76         |
| <b>3.7</b>  | <b>PROPOSTA DE MELHORIAS .....</b>   | <b>77</b>  |
| <b>3.8</b>  | <b>APLICAÇÃO DO PLANO DE MELHORIAS .....</b>                                       | <b>79</b>  |
| 3.8.1       | CRONOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO  | 79         |
| 3.8.2       | IMPLEMENTAÇÃO  | 79         |
| <b>3.9</b>  | <b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>  | <b>83</b>  |
| 3.9.1       | ANÁLISE GERAL DA LINHA DE ESTUDO   | 83         |
| 3.9.2       | ANÁLISE DOS POSTOS DE TRABALHO   | 85         |
| <b>3.10</b> | <b>ANÁLISE DA FIABILIDADE APÓS APLICAÇÃO DE MELHORIAS .....</b>                    | <b>88</b>  |
| <b>4</b>    | <b>CONCLUSÕES</b>  | <b>93</b>  |
| <b>4.1</b>  | <b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>  | <b>93</b>  |
| <b>4.2</b>  | <b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>                                      | <b>94</b>  |
| <b>5</b>    | <b>BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO</b>                                  | <b>97</b>  |
| <b>6</b>    | <b>ANEXOS</b>  | <b>105</b> |
| <b>6.1</b>  | <b>TABELAS UTILIZADAS NA ANÁLISE FMEA.....</b>                                     | <b>105</b> |
| 6.1.1       | ÍNDICE DE SEVERIDADE   | 105        |
| 6.1.2       | ÍNDICE DE OCORRÊNCIA   | 106        |
| 6.1.3       | ÍNDICE DE DETECÇÃO   | 107        |
| <b>6.2</b>  | <b>DADOS PARA A ANÁLISE DA FIABILIDADE.....</b>                                    | <b>108</b> |
| 6.2.1       | Dados Posto 2  | 108        |
| 6.2.2       | Dados Posto 3  | 110        |
| 6.2.3       | Dados Posto 4  | 110        |

---

|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 6.2.4 | Dados Posto 5 | 110 |
| 6.2.5 | Dados Posto 6 | 111 |
| 6.2.6 | Dados Posto 7 | 112 |



# INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

1.2 OBJETIVOS

1.3 APRESENTAÇÃO DO GRUPO FICOSA INTERNACIONAL

1.4 METODOLOGIA

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO





# 1 INTRODUÇÃO

A condução atual dos negócios, considerando uma economia globalizada e altamente competitiva, necessita de mudanças na mentalidade e posturas do setor industrial. O conceito de que a função da manutenção é restabelecer as condições originais dos equipamentos está ultrapassado. Na visão atual, a manutenção deve ser organizada para evitar as ocorrências dos eventos de falha, objetivando reduzir custos industriais e maximizar a produtividade de máquinas e equipamentos.

As falhas têm um impacto direto no desempenho das máquinas, diminuindo a sua fiabilidade e tornando-as impróprias para uso, além de interferir e aumentar os custos da sua manutenção. Sondaline (2006) enfatiza que o custo da avaria de uma máquina e/ou equipamento inclui: perda de lucro, custo de manutenção corretiva, custos operacionais, fixos e variáveis, provocados pelo tempo de inatividade; além de uma série de custos indiretos que impactam os negócios, como a perda de produção com o período de *downtime*, atrasos de encomendas, fabricação de produtos defeituosos, acidentes de trabalho, entre outros.

Nesse âmbito, torna-se vital a contenção de falhas em máquinas e equipamentos industriais visando evitar a acumulação de custos e aumentar a disponibilidade operacional do equipamento. O aumento da disponibilidade pode ser obtido através do gerenciamento estratégico da manutenção, envolvendo vários aspectos na condução de atividades, como planeamento das acções baseado nos objetivos globais da empresa, controle eficaz do processo, e análise e melhoria contínua do processo baseada nos cenários almejados (Wendland; Tauchen, 2010).

Face ao exposto, seja qual for a situação econômica e financeira de uma empresa, é fundamental que os equipamentos estejam sempre em boas condições de operacionalidade, uma vez que a concorrência entre mercados é cada vez mais significativa. Nesta perspectiva, é importante que as organizações possuam uma gestão das atividades de manutenção adequada, com o objetivo de maximizar a disponibilidade e fiabilidade dos recursos e equipamentos, de forma a atender a demanda do mercado, produzindo produtos com as especificações de qualidade requeridas e dentro do período de tempo estipulado (Jorge, 2011).

## 1.1 ENQUADRAMENTO

A presente dissertação de mestrado foi desenvolvida no âmbito da Engenharia Mecânica, no ramo de Gestão Industrial, no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). A dissertação apresenta-se como um estudo de caso por tratar-se de um estudo de eventos reais de falhas ocorridas no maquinário empregado em uma indústria do setor automotivo. Este trabalho foi desenvolvido com vínculo de estágio (no período de nove meses) em uma empresa localizada na cidade da Maia, empresa a qual produz cablagens metálicas e sistemas de conforto para automóveis.

O estágio foi realizado no Departamento de Manutenção, especificamente na área de negócio Sistemas de Conforto. A pesquisa foi desenvolvida a partir da identificação da linha de produção crítica da empresa FicoCables. A classificação da linha foi fundamentada pela compreensão do processo produtivo e de dados do histórico de manutenção de máquinas e equipamentos que a compõe. Logo, selecionou-se a Linha de Montagem *Suspension Mat 3 lordose/massage* para realizar a análise da fiabilidade e assim propor melhorias, as quais apontadas por uma equipa multidisciplinar.

Este trabalho tem por finalidade estudar e analisar o comportamento da fiabilidade de um processo produtivo de uma industria automotiva, visando estabelecer informação para gerir as atividades de manutenção de uma maneira proactiva e mais eficiente, objetivando como resultado a redução dos eventos de falhas e aumento da disponibilidade dos ativos. Aplicam-se nesse estudo ferramentas para auxiliar a análise do processo, como: a análise de Pareto e o diagrama de causa-efeito, para estruturar o cenário das falhas identificadas. Analisa-se também o risco intrínseco às operações, por meio da análise FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), sob o ponto de vista da manutenção do equipamento, para auxiliar a seleção adequada da estratégia de manutenção a ser adotada. Utiliza-se o Teste de Laplace e o Teste de Crow para estimar os indicadores da fiabilidade e descrever o desempenho do processo.

## 1.2 OBJETIVOS

As atividades desenvolvidas nesta dissertação de mestrado tiveram como base os seguintes objetivos:

- a) Efetuar uma revisão da literatura sobre o tema de pesquisa;
- b) Compreender o processo de produção e manutenção de máquinas e equipamentos aplicados na fabricação de sistemas lombares de conforto para automóveis;
- c) Selecionar a linha de produção crítica para desenvolvimento do estudo de caso;
- d) Mapear o processo produtivo atual e identificar as operações que são desenvolvidas em cada posto de trabalho da linha de produção estudada;
- e) Levantar e tabelar os dados do histórico de manutenção de máquinas e equipamentos da linha crítica em estudo;
- f) Aplicar as ferramentas de qualidade para analisar o processo produtivo, visando identificar as causas e problemas que apresentam menor impacto na produtividade;
- g) Aplicar a ferramenta de análise de risco, FMEA, com o objetivo de identificar as etapas do processo que são mais críticas;

- h) Analisar a fiabilidade da linha de produção e calcular os seus indicadores;
- i) Propor um plano de medidas para aumentar a disponibilidade dos ativos e maximizar a sua produtividade;
- j) Avaliar os resultados obtidos por meio da análise, baseando-se nos indicadores da fiabilidade e manutenção.

### 1.3 APRESENTAÇÃO DO GRUPO FICOSA INTERNACIONAL

A Ficosa Internacional é um grupo multinacional envolvido na investigação, desenvolvimento, produção e comercialização de sistemas e componentes para veículos comerciais e industriais. Atualmente, o grupo Ficosa está presente em 19 países, nos continentes: Europa, América do Norte, América do Sul e Ásia, totalizando mais de 9.700 trabalhadores (Ficosa, 2017).

A Ficosa Internacional é líder na concepção e fabricação de componentes automotivos, criando e desenvolvendo tecnologias próprias, com patentes e registro dos sistemas de peças que incorporam a maioria dos fabricantes de veículos em todo o mundo (Ficocables, 2012).

#### 1.3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA FICOCABLES, LDA.

A Ficocables foi o primeiro investimento do Grupo Ficosa em Portugal, sendo a sua principal atividade o fabrico de componentes para a indústria automotiva. A empresa iniciou as suas atividades com apenas três funcionários, em uma garagem arrendada em Vila Nova de Gaia, no final de 1971, sob a denominação de Teledinâmica (Ficocables, 2012).

Em 3 de agosto de 1972, a empresa associou-se à firma Pujol e Tarragó, hoje denominada Grupo Ficosa Internacional, S.A., com sede em Barcelona. A Teledinâmica passou então a beneficiar das capacidades e da assistência técnica de cabos de comando e transmissões de conta-quilómetros para automóveis. Em 1980, começaram a venda para o mercado exterior, exportando para a Fiat Italiana e para vários construtores europeus. Devido ao seu crescimento para o mercado externo, em finais de 1981, a empresa passou a desenvolver as suas actividades na cidade da Maia. Em 1993, a empresa alterou o seu nome para Ficocables, Lda., e atualmente conta com mais de 1000 colaboradores (Ficocables, 2012).

A unidade fabril da Maia apresenta duas áreas de negócios: Sistemas de Conforto e Sistemas de Porta e Assentos. Nos Sistemas de Conforto são produzidos sistemas lombares de conforto para as costas e banco de assento, já nos Sistemas de Porta e Assentos são fabricados cabos de acionamento mecânico para aplicação em sistemas de

elevadores de janela, travão de mão, acelerador, abertura de porta, capot e mala (Ficocables, 2012).

#### 1.4 METODOLOGIA

Recorrendo à representação “IDEFO”, a Figura 1 mostra-nos a representação genérica da metodologia de análise e melhoria de processo utilizada nesse projeto.

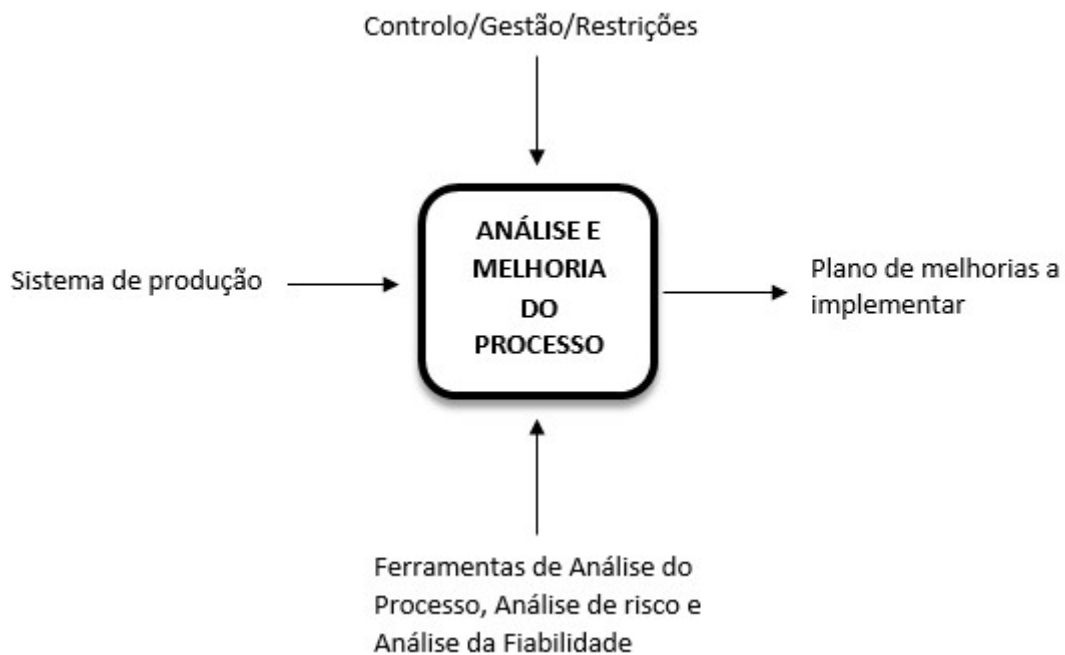


Figura 1 – Especificação da metodologia de análise e melhoria do processo. Adaptado de Ávila et al. (1999).

Como entrada, tem-se o sistema de produção que se deseja melhorar. Este sistema será tratado por ferramentas da qualidade para auxiliar a análise do processo, como: o diagrama de Pareto e o diagrama de causa-efeito. Faz-se então uma análise de risco sobre o processo, para avaliar a criticidade dos modos de falha encontrados, levando-se em consideração os mecanismos de controlo, gestão e restrições existentes no processo em análise.

O sistema também será avaliado com base nos indicadores de fiabilidade e desempenho da manutenção, visando verificar a melhoria da funcionalidade do processo. A análise e melhoria do processo deverá ter como saída um plano de melhorias, que após ser validado, será implementado na empresa.

A metodologia aplicada neste projeto, pode ser resumida em cinco etapas fundamentais:

- 1º Seleção dos produtos/processos a analisar;
- 2º Identificação dos principais problemas e as suas causas;

- 3º Obtenção e avaliação de indicadores de desempenho;
- 4º Proposta de um plano de melhoria;
- 5º Validação do plano de melhoria e a sua implementação.

Na primeira etapa, selecionou-se dentro da área de negócio de Sistemas de Conforto, a linha crítica que será estudo de caso neste projeto, considerando os interesses internos da empresa. Definiu-se como elemento de estudo e posterior aplicação de ações de melhoria, a Linha de Montagem *Suspension Mat 3 lordose/massage*.

Na segunda etapa, foi realizada uma análise aprofundada sobre os principais eventos de falha, causas e seus efeitos enfrentados pela Linha de Montagem *Suspension Mat 3 lordose/massage*. As falhas foram agrupadas e classificadas em categorias e posteriormente suas causas foram evidenciadas por meio da utilização do Diagrama de Causa-Efeito. O Diagrama de Pareto foi utilizado para identificar o posto crítico da linha em estudo e os modos de falhas que mais afetam a sua disponibilidade. A análise FMEA foi realizada com o intuito de analisar a criticidade do processo, possibilitando visualizar as etapas do processo com maior probabilidade de falha.

Na terceira etapa, fez-se um estudo e análise da fiabilidade da linha, visando descrever a sua funcionalidade. Utilizou-se o Teste de Laplace para identificar a tendência dos eventos de falha, e o Teste de Crow para estimar os indicadores de desempenho. A análise da fiabilidade evidencia os principais pontos que devem ser trabalhados pelo plano de melhoria a ser desenvolvido.

Na quarta etapa, formulou-se uma proposta de plano de melhorias com base nos resultados das etapas anteriores. Para isso, foi necessário formar uma equipa multidisciplinar para trabalhar na procura de soluções em resposta aos problemas evidenciados.

Na última etapa, a proposta de plano de melhorias é validada com base na sua potencialidade de melhorar o sistema e a viabilidade econômica. Concluída a validação, o plano de melhoria pode ser implementado. O controle e acompanhamento das ações implementadas também fazem parte dessa última fase e são essenciais para os resultados finais desse estudo.

## 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida em quatro capítulos, com a seguinte estrutura de tópicos:

- I. Capítulo 1: Contempla a introdução ao tema da dissertação, seguido do seu enquadramento. Conjuntamente, apresentam-se os principais objetivos e a empresa onde será desenvolvido o projeto. Na sequência, a metodologia utilizada na pesquisa é apresentada, sequenciando as etapas de desenvolvimento, e a estrutura da tese é estabelecida.

- II. Capítulo 2: Engloba a revisão da literatura sobre os principais conceitos acerca do tema, possibilitando um suporte teórico. Este capítulo apresenta todas as ferramentas e metodologias utilizadas na parte do desenvolvimento da análises de falhas e da fiabilidade deste trabalho.
- III. Capítulo 3: Apresenta o estudo de caso em análise. Esta etapa descreve a sequência de tarefas realizadas, que integra as análises de falha e de fiabilidade da linha. Neste capítulo, também são apresentados os resultados do plano de melhorias proposto, conjuntamente com a análise e a discussão acerca dos indicadores de fiabilidade e manutenção avaliados.
- IV. Capítulo 4: Desenvolve as considerações finais e conclusões encontradas com relação a todas as etapas do trabalho elaborado, além de recomendações para trabalhos futuros.

Poderão ainda encontrar-se nos Anexos deste documento os vários elementos de trabalho utilizados e referenciados ao longo desta dissertação.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITOS GERAIS

2.2 MANUTENÇÃO

2.3 FERRAMENTAS UTILIZADAS NA ANÁLISE DO PROCESSO

2.4 ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA (FMEA)

2.5 FIABILIDADE





## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma breve revisão bibliográfica relativa aos temas abordados nesta dissertação de mestrado, visando o suporte científico apropriado aos conceitos e métodos utilizados.

### 2.1 CONCEITOS GERAIS

Neste tópico deseja-se apresentar alguns conceitos gerais relacionados com noções de Manutenção, Fiabilidade e Falha, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho (Ramos, 2017).

- Fiabilidade – é expressa pela probabilidade de um equipamento, sistema ou componente desempenhar seu propósito adequadamente, durante o tempo desejado, sob as condições operativas encontradas.
- Falha ou avaria – é a interrupção da capacidade de um item de realizar a sua função específica. Existem definições diferentes para falha e avaria, no entanto, neste trabalho utilizaremos a mesma para as duas.
- Manutenção – define o conjunto de atividades realizadas em um item para mantê-lo ou restaurá-lo a um estado específico.
- Manutibilidade – é a capacidade de um equipamento ser mantido em boas condições, de forma a poder realizar as funções requeridas, quando a manutenção (preventiva ou corretiva) é realizada.
- Disponibilidade – é a probabilidade de um item ou equipamento se encontrar operacional durante um intervalo de tempo determinado.
- Sistema reparável – é aquele que, após a falha e sob condições determinadas, consegue voltar a desenvolver a função que lhe é requerida. Este tipo de sistema caracteriza-se pelo fato da ocorrência de uma avaria não representar o fim da vida do sistema.
- Sistema não reparável – é um conjunto de elementos, que formam um todo que, por razões econômicas ou tecnológicas, não se reparam; ou é um item formado por um único elemento (componente), cuja ocorrência de avaria significa o seu fim de vida.

## 2.2 MANUTENÇÃO

Todas as organizações, seja com ou sem fins lucrativos, indústria ou serviços, têm activos que utilizam para alcançar os seus objectivos. Para que esses activos possam desempenhar adequadamente as funções para as quais foram adquiridos, necessitam de ser mantidos ou repostos nas condições adequadas para o fazer. O papel da manutenção é assegurar que os activos estão em condições de desempenhar as funções que se pretende que desempenhem (Higgins, 1995).

A manutenção pode ser definida como um conjunto de todas as acções conduzidas com o fim de garantir o bom funcionamento dos equipamentos e instalações, de forma a assegurar a regularidade da produção, nas melhores condições de qualidade, segurança, fiabilidade e disponibilidade, com o mínimo de custos totais (Kardec, 2002; Brito 2003).

A evolução do papel da manutenção industrial é uma consequência da mudança de paradigma, trazida pelo desenvolvimento tecnológico e empresarial do ambiente industrial. A manutenção de máquinas e equipamentos antes, era considerada como um mal necessário, uma parte inevitável da produção, que envolvia reparos e substituições de peças em caso de falhas. Atualmente, a manutenção trata-se de um parceiro maduro no desenvolvimento da estratégia de negócios e possui um impacto financeiro significativo dentro das organizações (Kobbacy; Murthy, 2008). A Figura 2 ilustra a evolução da manutenção nas últimas décadas.



Figura 2 - Perspectiva do papel da manutenção ao longo do tempo dentro das organizações (Kobbacy, Murthy, 2008).

A globalização e o aumento da concorrência entre as empresas, aliados ao maior nível tecnológico e exigência de qualidade do mercado, levaram a manutenção industrial a evoluir rapidamente, à medida que respondia a desafios que nunca havia tido antes, tais como: o aumento do custo do capital, a maior pressão do mercado, a crescente necessidade de se produzir mais em menos tempo, e as maiores preocupações com a segurança e o meio ambiente, criaram necessidades de mudança na postura da manutenção industrial (Márquez, 2007).

Moubray (1997) divide a evolução da manutenção na história em três gerações. Na primeira geração, a manutenção engloba acções de carácter corretivo (reparação do item após a falha). Na segunda geração, a manutenção já possui um carácter preventivo, sendo capaz de evitar ou prever falhas, com o objetivo de aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos. Na terceira geração, a manutenção possui uma visão a longo prazo das situações, buscando soluções que minimizem os custos ao longo da vida total do produto.

Pode-se listar como objetivos das atividades da manutenção: aumentar a disponibilidade e capacidade dos equipamentos, atualização tecnológica, minimizar custos, reduzir emergências e número de avarias, melhorar a qualidade da produção, aumentar a segurança e aumentar o tempo de vida dos equipamentos (Ben-daya *et al.*, 2009).

### 2.2.1 GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

O objetivo de uma organização, na maior parte dos casos, é aumentar a rentabilidade dos seus processos, ou seja, aumentar a sua lucratividade. A gestão da manutenção, de forma adequada, pode potencializar a utilização dos recursos nos processos produtivos, diminuindo custos de funcionamento e aumentando a sua capacidade de produção (Britto; Pereira, 2003; Khanlari; Mohammadi; Sohrabi, 2007; Márquez *et al.*, 2009).

A fiabilidade dos processos tornou-se um problema crítico nas operações industriais de capital intensivo. Para que a manutenção possa cumprir a sua missão, reduzir custos e maximizar o tempo de atividade dos equipamentos, a gestão da manutenção deve passar de uma organização altamente reativa para uma organização proactiva (Murthy; Atrens; Eccleston, 2002; Reiter, 2015).

Para Dhillon (2002) e Sellito e Fachini (2014), a gestão da manutenção industrial pode ser definida por um conjunto de atividades estrategicamente desenvolvidas e integradas, que servem para orientar as atividades de manutenção, criando um padrão ótimo de prestação de serviço dentro dos recursos existentes, visando atuar na causa dos problemas, antecipando-se às falhas.

De acordo com Tsang (2002), o processo de gerenciamento da manutenção industrial tem início definindo-se a estratégia da manutenção. A escolha da estratégia de manutenção correta é fundamental; e esta depende de vários fatores, tais como: objetivos, prioridades e metas da empresa, características dos equipamentos e condições de funcionamento das instalações, necessidade de produção, recomendações do fabricante, segurança do trabalho e meio ambiente, custos envolvidos, entre outros (Viana, 2014).

Após definida a estratégia, a gestão da manutenção é responsável pela sua implementação, envolvendo basicamente as etapas de planeamento, programação, execução, controle e melhoria dos processos. A Figura 3 ilustra um modelo simplificado de gestão da manutenção.

Na etapa do planeamento é definido um plano de manutenção genérico, com base nos *inputs* obtidos e sempre considerando as prioridades organizacionais. Nesta etapa, são tomadas decisões de como alcançar os objetivos e que tipo de estratégias utilizar nos sistemas. A etapa de programação cria um apoio às decisões tomadas no planeamento: prepara os recursos que serão utilizados, programa e organiza as tarefas que deverão ser realizadas. Na fase da execução, a programação é executada, garantindo que as tarefas estão sendo realizadas corretamente, na altura certa e seguindo os procedimentos adequados. A etapa de controlo fecha o ciclo da gestão da manutenção,

organizando as informações, controlando os resultados, e através do *feedback* dado para o planeamento, permite identificar melhorias aos métodos implementados.

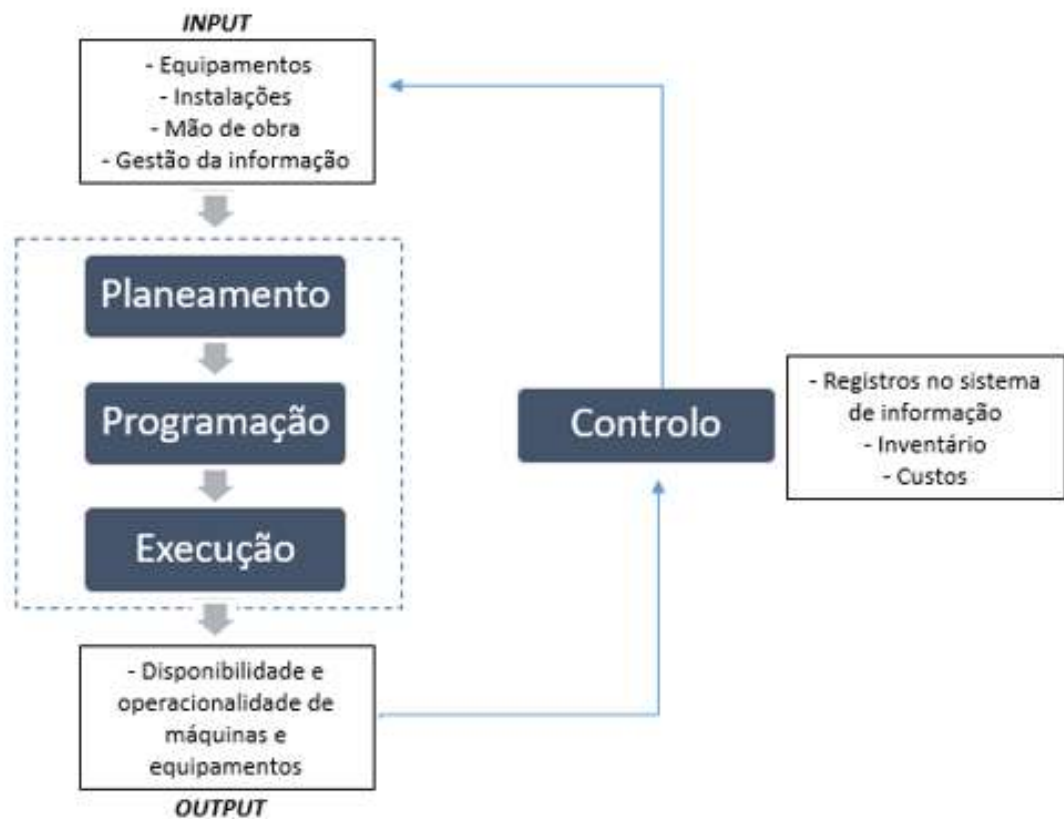


Figura 3 - Modelo de gestão da manutenção. Elaborado pelo autor (2017).

Não há metodologia universal para desenhar sistemas de gestão da manutenção, porém, o objetivo desta deve estar sempre alinhado com os objetivos da organização. Segundo Ferreira (2003), a determinação de qual a estratégia de manutenção que deve ser aplicada, consiste em responder à seguinte questão: “Como otimizar o *output* global de um sistema, diminuindo os seus riscos de funcionamento (segurança, ambiente, operação), com a contribuição da manutenção?”.

Entre as diversas estratégias de manutenção que existem, destacam-se: o TPM (*Total Productive Maintenance*), o CBM (*Condition Based Maintenance*) o RCM (*Reliability Centred Maintenance*) e o TQM (*Total Quality Maintenance*). Todas essas estratégias possuem uma gestão proactiva da manutenção, com seus focos em diferentes aspectos: a máxima produtividade, o condicionamento dos equipamentos, a fiabilidade do processo e a máxima qualidade, respectivamente (Prabhakar; Raj, 2014; Reither, 2015).

## 2.2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Existem várias formas de se intervir nos sistemas, equipamentos, instalações e máquinas. O tipo de atividade ou nível de manutenção é definido pela maneira como essas intervenções acontecem, ou seja, pelo tipo de trabalho realizado. Encontra-se na literatura três classificações ou tipos de trabalho principais para as ações de manutenção, sendo elas: manutenção preventiva, manutenção corretiva ou de emergência e manutenção preditiva.



Figura 4 - Tipos de Manutenção. Elaborado pelo autor (2017).

### 2.2.2.1 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva pode ser descrita como a atividade que busca manter os equipamentos/instalações em estado de funcionamento satisfatório, corrigindo falhas incipientes antes da sua ocorrência ou do seu desenvolvimento para falhas maiores. A manutenção preventiva tem como principais objetivos: melhorar a vida produtiva de equipamentos, reduzir a falha de equipamentos críticos, permitir um melhor planejamento e agendamento de trabalhos de manutenção necessários, minimizar as perdas de produção devido às falhas de equipamentos, e promover a saúde e segurança do pessoal de manutenção (Dhillon, 2002; Bertoline *et al.*, 2004; Parida *et al.* 2015).

De acordo com Eti *et al.* (2006), as atividades da manutenção preventiva são baseadas em planejamento e programação, considerando intervalos de tempo fixos e o condicionamento dos equipamentos. A determinação correta dos intervalos de tempo das atividades da manutenção preventiva é essencial, caso contrário, esta provocará grandes custos com paragens desnecessárias e substituição de peças prematuramente, apesar de ainda terem vida útil remanescente (Sortrakul; Nachtmann; Cassady, 2005; Salerno; Aulicino, 2008).

Smith e Mobley (2003) caracterizam a manutenção preventiva como um investimento no futuro, mais especificamente, um futuro sem grandes períodos de *downtime* de equipamentos críticos. De forma simplificada, a manutenção preventiva, como o próprio nome indica, deseja prevenir a falha e paragens aleatórias na produção por falha de equipamentos. Dessa forma, a manutenção preventiva é uma intervenção prevista, e é sempre programada antes do provável aparecimento da falha.

### 2.2.2.2 *Manutenção Corretiva*

A manutenção corretiva consiste em ações que visam restaurar as condições de funcionamento de um equipamento ou instalação, que perderam sua capacidade de exercer sua função ou que tiveram essa capacidade reduzida. Trata-se de uma atividade reativa, que espera pela falha da máquina ou equipamento, antes que qualquer ação de manutenção seja tomada, ou seja, suas atividades não podem ser pré-planejadas ou programadas com base em ocorrências anteriores (Mobley, 2004; Almeida, 2010).

Para Bevilacqua e Braglia (2000), as operações de manutenção corretiva, que só são executadas em situações de emergências, não são mais aceitáveis no ambiente de produção, por causa de certos elementos críticos, tais como a qualidade do produto, a segurança dos trabalhadores e o aumento considerável dos custos na manutenção.

A manutenção corretiva é, na maioria das vezes, o método mais caro de gestão da manutenção. Os maiores prejuízos associados a este tipo de manutenção são: elevadas perdas decorrentes da indisponibilidade do equipamento, elevado tempo de paralização da máquina (gerando uma baixa disponibilidade de produção), alto custo de stocks de peças sobressalentes, não cumprimento dos prazos, além dos altos custos de trabalho extra (Souza, 2008).

A manutenção corretiva corresponde a uma resposta imediata à falha de um equipamento, mas a sua ocorrência excessiva pode gerar a diminuição da vida útil do equipamento e das instalações, além de provocar paragens aleatórias na produção. Este tipo de manutenção, por ter um impacto na disponibilidade e fiabilidade de máquinas e equipamentos, deve ser evitado com técnicas de gestão da manutenção adequadas.

### 2.2.2.3 *Manutenção Preditiva*

A manutenção preditiva baseia-se na determinação do momento ideal para executar a manutenção em um equipamento ou sistema, ou seja, o momento a partir do qual a probabilidade do equipamento falhar assume valores indesejáveis. Por meio da monitorização regular da condição mecânica real e do rendimento operacional, através de medições da temperatura, vibração, análise físico-química de óleos, ensaios por ultra-som, termografia, é possível definir o intervalo probabilístico máximo entre as reparações (Almeida, 2005).

Segundo Araújo e Câmara (2010), a manutenção preditiva tem como principais objetivos: aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos, reduzir o trabalho de emergência não planejado, impedir o aumento dos danos e falhas, aproveitar a vida útil total dos componentes e de um equipamento, aumentar o grau de confiabilidade de um equipamento ou instalação, determinar previamente as interrupções de fabricação para cuidar dos equipamentos, redução de custos de manutenção e aumento da produtividade.

De acordo com Marcorin e Lima (2003), a manutenção preditiva é uma atividade de controle e acompanhamento, que exige uma mão-de-obra mais qualificada para o trabalho e alguns aparelhos e instrumentos de medição. Aparentemente, é uma atividade que implica elevado custo (aparelhos caros e mão-de-obra qualificada), no entanto esses custos são recompensados, pois as políticas de inspeção e manutenção visam manter a confiabilidade em níveis aceitáveis, enquanto o componente permanecer em operação.

### 2.3 FERRAMENTAS UTILIZADAS NA ANÁLISE DO PROCESSO

Utiliza-se nessa dissertação de mestrado algumas ferramentas para auxiliar a análise do processo, visando descrever o cenário de falhas e paragens da linha em estudo, bem como identificar os que possuem maior impacto na disponibilidade dos ativos. Neste tópico, descreve-se a metodologia utilizada para a aplicação de cada ferramenta e quais são os seus objetivos principais.

#### 2.3.1 DIAGRAMA DE CAUSA-EFEITO

O diagrama de causa-efeito, também conhecido como diagrama espinha de peixe, em virtude de ter a forma semelhante ao esqueleto de um peixe, é uma ferramenta de qualidade muito utilizada no processo de análise de problemas e suas causas. Esta ferramenta permite identificar, organizar, agrupar e explorar as causas principais e as possíveis sub-causas de um problema como a falha de um equipamento. O objetivo dessa técnica é mapear os principais factores que afetam um problema (efeito negativo) ou resultado desejado. A Figura 5 mostra genericamente um desses diagramas.

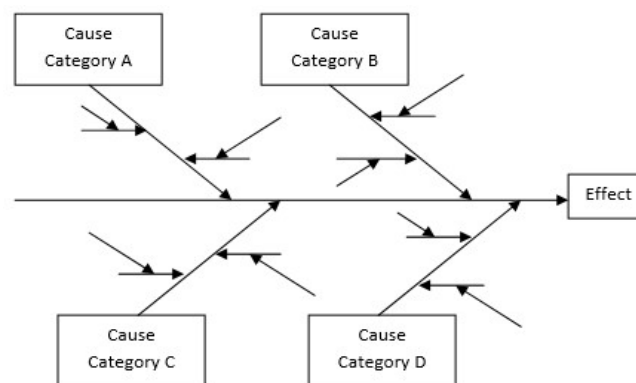


Figura 5 - Diagrama de Causa-Efeito (Ben-Daya, 2009).

Em geral, a construção do diagrama causa-efeito é realizada por uma equipa de pessoas de diferentes áreas e funções, que conhecem o problema e o sistema no qual ele está inserido. Depois, é necessário seguir os seguintes passos fundamentais:



- I. Descrever o problema ou característica (efeito) que se deseja melhorar da forma mais específica e clara possível, no retângulo do lado direito do diagrama, como mostra a Figura 5;
- II. Registrar os factores mais importantes que podem ser causas possíveis para o problema em análise. É comum utilizar como grupos de causas principais os conhecidos 6M: Materiais, Mão-de-obra, Métodos, Medidas, Máquinas e Meio ambiente;
- III. Nessa fase, é realizado um *brainstorming* para descobrir a maior quantidade possível de causas elementares, agrupadas dentro das causas principais que foram definidas no passo anterior. Dessa forma, o diagrama vai ficando mais completo, descrevendo todas as características que influenciam a realidade das causas principais do problema;
- IV. Na sequência, procede-se a uma discussão e análise das causas e sub-causas, e de acordo com o seu nível de importância e de ocorrência em situações anteriores, as causas são hierarquizadas;
- V. Por fim, a equipa deve recomendar alternativas de soluções para as causas consideradas mais importantes.

Na Figura 6 mostra-se um caso de aplicação do Diagrama de Causa-Efeito para um problema industrial de excesso de variação da espessura da camada de pintura a pó de uma superfície metálica.

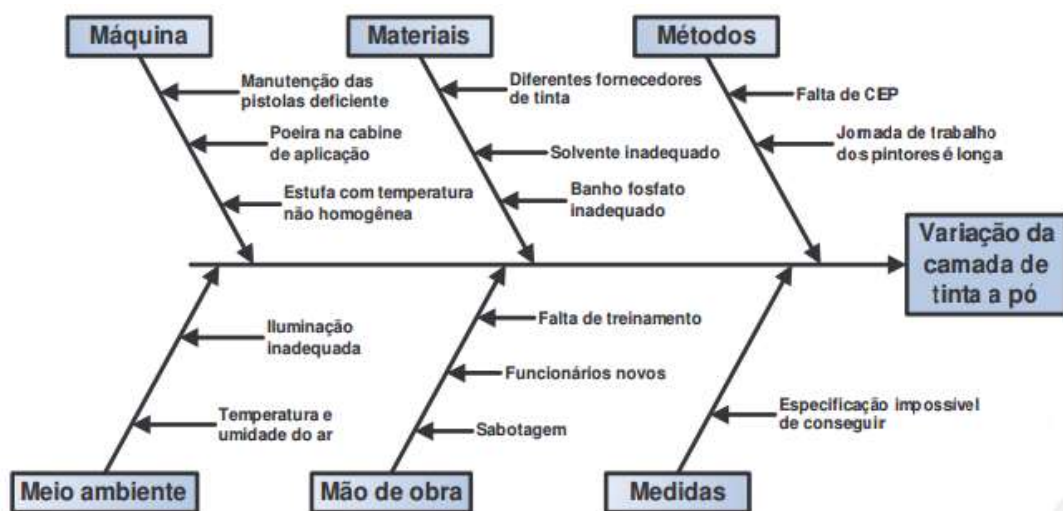


Figura 6 - Diagrama Causa-Efeito para um problema de manufatura (Peinado; Graeml, 2007).



Em geral, o diagrama causa-efeito permite detalhar todas as possíveis causas de um problema ou condição, para que depois de um estudo e análise de cada uma delas, seja possível descobrir a sua verdadeira raiz (Peinado; Graeml, 2007).

### 2.3.2 DIAGRAMA DE PARETO

O diagrama de Pareto, também conhecido como análise ABC ou regra dos 80-20, é uma ferramenta de grande utilidade para auxiliar tomada de decisões e analisar problemas. A análise de Pareto demonstra a importância relativa das variáveis de um problema, mostrando de forma visual o impacto de cada um dos eventos que estão sendo estudados em termos percentuais, ou seja, indica quais dessas variáveis são responsáveis pela maior parte do problema (Peinado; Graeml, 2007).

O diagrama de Pareto caracteriza-se por possuir dois eixos principais. O eixo do lado esquerdo descreve a ocorrência dos eventos, através de um gráfico de barras decrescente. O eixo do lado direito ilustra a percentagem acumulativa dos eventos durante o período analisado, através de um gráfico de linhas. A análise conjunta desses dois gráficos permite identificar os eventos dentro da regra 80-20, isto é, perante um dado problema, procurar as poucas causas (20%) que são responsáveis pela maior parte do efeito (80%). Na Figura 7 mostra-se um diagrama de Pareto para o problema de devolução de produtos de uma empresa.

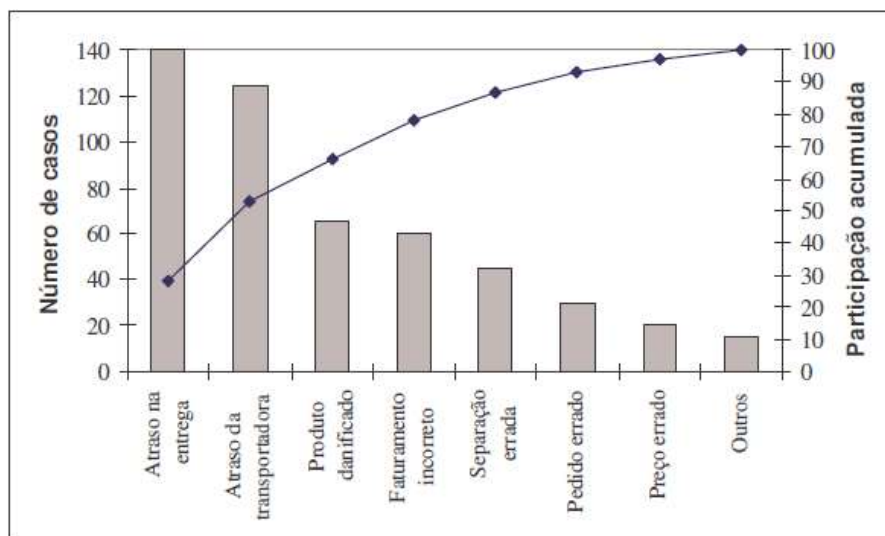


Figura 7 - Exemplo prático do Diagrama de Pareto (Peinado; Graeml, 2007).

Observa-se que os atrasos na entrega e na transportadora são responsáveis por pelo menos 50% de todos os problemas com a devolução de produtos, logo, encontrando soluções apenas para os atrasos, mais da metade do problema de devolução de produtos será resolvido.

A elaboração do diagrama de Pareto é simples:

- I. Definir o problema que se deseja investigar e realizar a coleta de dados dos eventos relacionados a esse problema no período de tempo estabelecido;
- II. Ordenar os eventos de acordo com a sua frequência de ocorrências, por ordem decrescente de grandeza;
- III. Registrar em uma coluna ao lado, os valores percentuais referentes à ocorrência de cada tipo de evento. O cálculo dos percentuais é feito dividindo-se o número de ocorrências de um determinado evento pelo total de ocorrências no período analisado;
- IV. Registrar em outra coluna, os percentuais acumulados das ocorrências dos eventos;
- V. Com os dados já organizados, pode-se desenhar o gráfico de Pareto.

## 2.4 ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHA (FMEA)

A sigla FMEA é o acrônimo de “*Failure Mode and Effect Analysis*”, em português, “Análise do Modo e Efeito de Falha”. A análise FMEA é uma técnica de engenharia utilizada para definir, identificar e eliminar problemas potenciais de um sistema, produto, processo ou serviço, antes que estes cheguem ao cliente. A análise FMEA consiste em uma análise sistemática, que permite definir de forma clara, as falhas prioritárias de um processo ou projeto. Além disso, a análise FMEA apresenta caráter preventivo, identificando e explorando ações que podem reduzir ou eliminar a chance de ocorrência dessas falhas (Palady, 2002; Ben-Daya *et al.*, 2009).

De forma contundente, Zorzan (2013) afirma que a sua utilização permite identificar o problema antes mesmo que este ocorra, evitando futuras surpresas no decorrer do processo, contribuindo diretamente para o aumento da fiabilidade. Segundo Rodrigues *et al.* (2010), a análise FMEA serve para identificar os riscos envolvidos em um projeto ou processo, definindo-se um número que expressa a gravidade deste risco, logo, quanto maior o número, maior a chance da falha potencial ocorrer. Desta forma a empresa pode investir de forma mais eficiente na melhoria do processo, priorizando os riscos mais graves.

Idealmente, a ferramenta FMEA é utilizada durante o design do produto ou no período de desenvolvimento do processo. Entretanto, utilizar esta ferramenta em produtos ou processos já existentes e acabados, pode trazer vantagens para a elaboração de estratégias de manutenção preventiva eficientes.

Em geral, existem dois tipos básicos de FMEA: de processo (*Process FMEA* = PFMEA) e de projeto (*Design FMEA* = DFMEA). A PFMEA identifica potenciais modos de falha no processo, supondo que o projeto está correto, ou seja, possui aplicação final. A DFMEA identifica potenciais modos de falha ao produto, supondo conformidade na sua

produção, isto é, que o seu processo de fabricação é capaz de produzir o produto final conforme os requisitos (Rodrigues *et al.*, 2010).

De acordo com Da Silva, De Oliveira e Oliveira (2014), deve-se seguir quatro etapas para implementar a ferramenta FMEA:

- I. Planeamento;
- II. Análise de falhas em potencial;
- III. Avaliação dos riscos;
- IV. Melhoria.

A Figura 8 ilustra o modelo do formulário FMEA conforme o FMEA *Handbook Version 4.1* (2004). Algumas organizações possuem o seu próprio formato de formulário FMEA, e outras possuem uma adaptação do formulário ilustrado pela Figura 8, da forma a melhor englobar as suas necessidades.

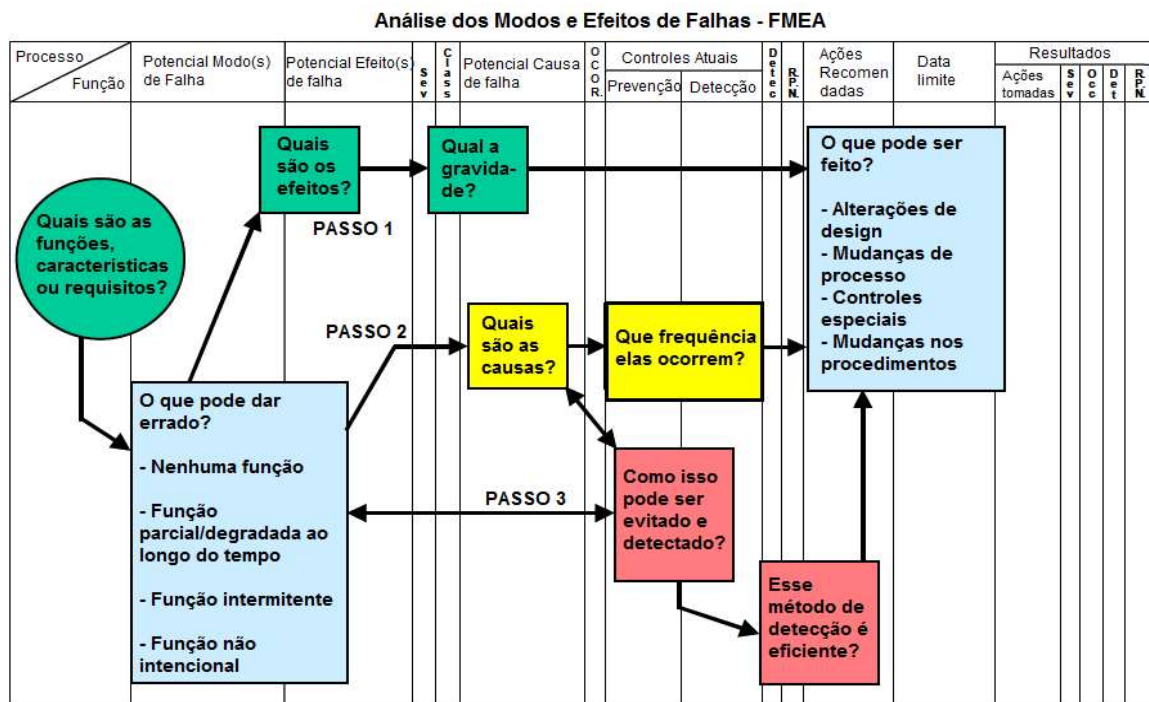


Figura 8 – Formulário FMEA. Fonte: Adaptado de FMEA *Handbook* (2004).

Primeiro deve-se identificar o processo ou etapa do processo, as suas funções (exigidas e/ou almeçadas), requisitos e especificações, no primeiro campo do formulário. Em seguida, no campo “Potencial Modo(s) de Falha”, a equipa deve identificar todas as maneiras de falha que podem ocorrer ao processo analisado, ao executar a sua função. Um modo de falha pode ser definido como o não cumprimento ou a incapacidade de cumprir a sua função pretendida (Rodrigues *et al.*, 2010; Toledo; Amaral, 2006; Aguiar, 2007; Ramos; Chaves e Brandalise, 2012).

Para cada modo de falha encontrado, deve-se relacionar as possíveis consequências (efeitos) para o cliente (interno ou externo) e as potenciais causas para a sua ocorrência. Nesse ponto, é necessário perceber quais são os clientes envolvidos. O cliente externo

é quem vai utilizar o produto. Os clientes internos são as próximas operações do processo. (Rodrigues *et al.*, 2010; Toledo; Amaral, 2006; Aguiar, 2007; Ramos; Chaves e Brandalise, 2012).

Em seguida, deve-se determinar os mecanismos de controle de prevenção e de detecção de falha que já estão implementados e operando no processo. O controle de prevenção atua nas causas dos modos de falha. O controle de detecção atua detectando o modo da falha (Rodrigues *et al.*, 2010; Toledo; Amaral, 2006; Aguiar, 2007; Ramos; Chaves e Brandalise, 2012). A Figura 9 demonstra graficamente a relação entre as causas, o modo de falha, o efeito e os controles de prevenção e detecção.

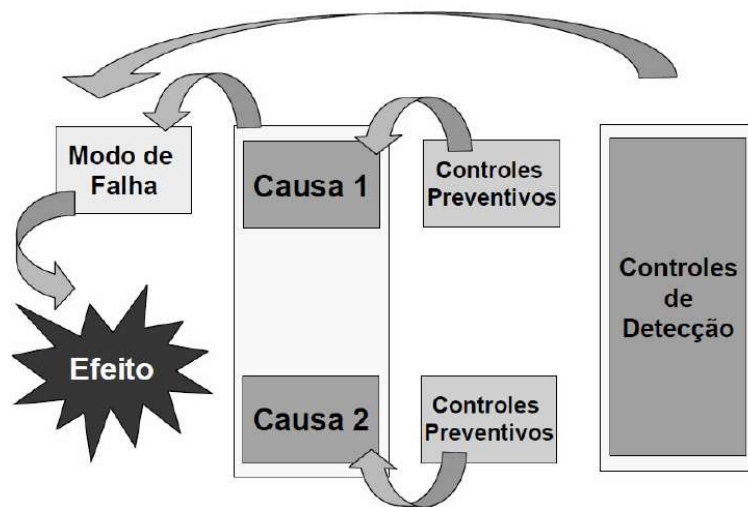


Figura 9 - Atuação dos controles de prevenção e detecção (Rodrigues *et al.*,2010).

Após identificar todos os modos de falha, efeitos, causas e controles de prevenção e detecção, os riscos são avaliados, definindo-se os índices de severidade, ocorrência e detecção. A severidade avalia a gravidade do impacto da falha no sistema, ou seja, a gravidade da consequência da falha. A ocorrência classifica a probabilidade ou a frequência em que a falha ocorre, considerando os controles preventivos existentes. A detecção classifica a capacidade de detectar o modo de falha (Rodrigues *et al.*, 2010; Toledo; Amaral, 2006; Aguiar, 2007; Ramos; Chaves; Brandalise, 2012).

Esses três índices são combinados em um único número chamado *risk priority number* (RPN), ou em português, número de prioridade de risco. O RPN é a simples multiplicação dos índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D). Bastos (2006) e Morris (2011) explicam que o RPN representa o risco de falhar o item analisado e pode ser calculado por meio da fórmula apresentada na Equação 1.

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Os valores do RPN podem variar de 1 a 1000 para cada modo de falha, onde 1000 representa o risco máximo para o modo de falha acontecer. O valor do RPN é muito importante na análise FMEA, pois define a prioridade das ações a serem tomadas pela

empresa, diminuindo ou eliminando inicialmente os modos de falha de maior risco (Brand *et al.*, 2013).

Na última etapa, acções de melhoria para minimizar ou eliminar os riscos, devem ser propostas e aplicadas, priorizando as acções para os modos de falha com os maiores valores de RPN. Após as modificações no projeto/processo serem realizadas, deve-se definir os novos valores para a severidade, ocorrência e detecção, como também, o valor do novo RPN encontrado (McDermott; Mikulak; Beauregard, 2009).

Verifica-se que o preenchimento correto do formulário FMEA, ilustrado na Figura 8, permite a previsão de problemas na linha de produção, e também indica a solução para os mesmos. Em razão disso, o uso da análise FMEA impacta positivamente as atividades de manutenção, por causa da sua natureza preventiva.

## 2.5 FIABILIDADE

Segundo a norma francesa AFNOR (1998), a Fiabilidade pode ser definida como a *“probabilidade de um equipamento, sistema órgão ou componente cumprir a função pretendida, em condições de utilização e por um determinado período de tempo”*.

Birolini (2007) descreve a fiabilidade de duas formas diferentes: qualitativa e quantitativa. Do ponto de vista qualitativo, fiabilidade pode ser definida como a habilidade de um item continuar funcional, ou seja, continuar exercendo a sua função. Quantitativamente, a fiabilidade é dada pela probabilidade que nenhuma intervenção operacional ocorrerá, durante um determinado período de tempo.

Pereira (1996) explica que quando se adquire um bem, espera-se que este seja capaz de executar a sua função, correspondendo às expectativas de quem o adquiriu. Apesar disso, é sempre possível que ocorra uma falha no seu funcionamento, durante o seu período de vida útil. O conceito de Fiabilidade avalia as chances de que o bem funcione corretamente, nas condições existentes e no período de tempo especificado.

Matematicamente, a fiabilidade expressa-se como a probabilidade de um bem não falhar em um dado período, e é normalmente representada por  $R$ . A probabilidade da falha acontecer nesse mesmo período é expressa pela função  $F$ , pelo que, para um dado  $t$ :

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2)$$

Seja  $T$  a variável aleatória (v.a.) que representa o tempo até a falha com função densidade de falhas,  $f$ , que representa a distribuição de probabilidade da v.a.,  $F$  relaciona-se com  $f$  através da expressão:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (3)$$

Considerando (2) e (3), obtém-se

$$\frac{dR(t)}{dt} = -f(t) \quad (4)$$

Ou, escrevendo F em função de f, vem

$$F(t) = \int_0^t f(u)du \quad (5)$$

e

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(u)du \quad (6)$$

Podemos concluir que a fiabilidade R é uma função complementar de F, como mostra a Figura 10.

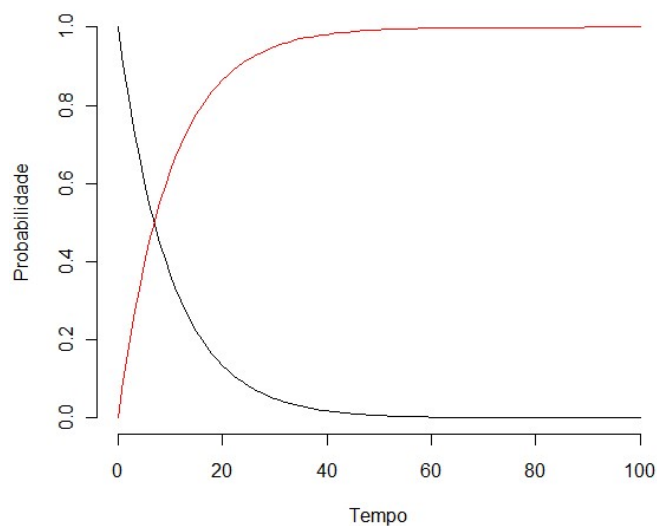


Figura 10 - Fiabilidade vs Infiabilidade (Ramos, 2017).

### 2.5.1 FUNÇÃO INTENSIDADE DE FALHA

A função da intensidade de falha de um sistema reparável pode ser equacionada pela fórmula da equação (7) (Ramos, 2017):

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (7)$$

cuja multiplicação por  $\Delta t$ , intervalo de tempo muito pequeno, representa a proporção de itens que falharão entre  $t$  e  $t+\Delta t$ , dentre aqueles que estavam em funcionamento no instante  $t$ .

Para os sistemas reparáveis, é também frequente falar em função intensidade de falha, representada, à semelhança dos itens não reparáveis por  $\lambda(t)$ . Aqui,

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P[N(t, t + \Delta t) \geq 1]}{\Delta t} \quad (8)$$

que representa o limite da probabilidade de falha do elemento, podendo não ser a primeira, num pequeno intervalo de tempo dividida pela amplitude desse intervalo.

### 2.5.2 FUNÇÃO GERAL DE FIABILIDADE

A função geral da fiabilidade pode ser obtida integrando a equação (7) entre 0 e t (Dhillon, 2005), temos:

$$\int_0^t \lambda(u) du = \int_0^t \frac{f(u)}{R(u)} du \quad (9)$$

Como  $R(t) = 1 - F(t)$ , vem

$$\int_0^t \lambda(u) du = \int_0^t \frac{f(u)}{1 - F(u)} du \quad (10)$$

Sabendo que em  $t=0$ ,  $R(t)=1$ , vem que

$$\ln R(t) = - \int_0^t \lambda(u) du \quad (11)$$

chegando assim à função geral de fiabilidade:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(u) du} \quad (12)$$

Observa-se que a fiabilidade de um item está associada à evolução da taxa de falhas ao longo da vida útil desse item. No livro *Reliability, Quality and Safety for Engineers*, Dhillon (2005) explica que a equação (12) é a expressão geral para a função da fiabilidade e ela pode ser aplicada a qualquer distribuição de probabilidade.

### 2.5.3 TAXA DE OCORRÊNCIA DE FALHAS

A taxa de ocorrência de falhas, ou taxa de ocorrência de avarias, é uma função muito utilizada na análise da Fiabilidade de equipamentos ou sistemas reparáveis. Essa taxa expressa a probabilidade de uma falha ocorrer em um dado momento, mais

especificamente, entre  $t+\Delta t$ . Seja  $N(t)$  a variável aleatória que representa o número de falhas sofridas ou acumuladas por um sistema no intervalo  $]0,t]$ . Quando é possível derivar  $E[N(t)]$ , define-se a taxa de ocorrência de falhas por (Pereira, 1996):

$$h(t) = \frac{d}{dt}E[N(t)] \quad (13)$$

onde  $E[N(t)]$  representa a esperança matemática de  $N(t)$ , ou seja, representa o valor esperado para o número total de ocorrências de falhas, em um determinado período de tempo. O comportamento da função  $h(t)$  nos permite inferir sobre a fiabilidade do sistema e sobre a forma como as falhas ocorrem, isto é, se as falhas acontecem segundo uma tendência ou se ocorrem de maneira aleatória. A função  $h(t)$  pode apresentar vários comportamentos ao longo do tempo, sendo representada frequentemente por uma função constante, crescente ou decrescente. A Figura 11 ilustra os três comportamentos da função  $h(t)$ .

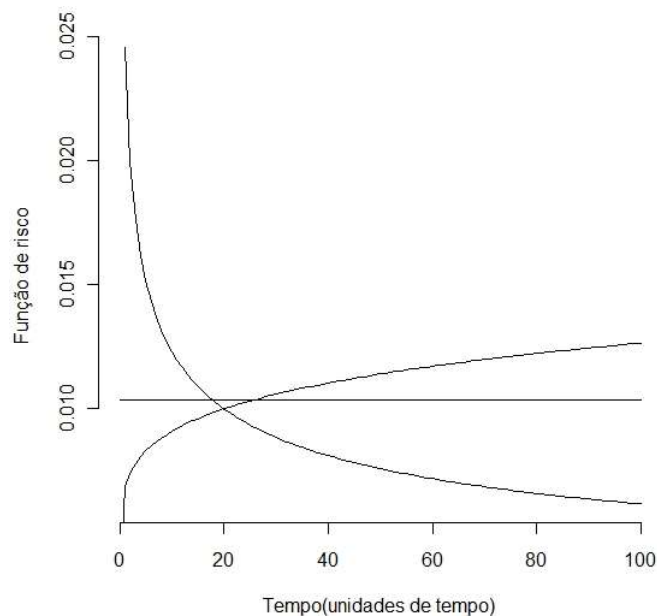


Figura 11 - Taxa de ocorrência de falhas (Ramos, 2017).

Para uma taxa crescente, temos que o número de falhas aumenta (tendência crescente), à medida que o tempo passa. Da mesma forma, em uma taxa decrescente, o número de ocorrências de falha diminui com a passagem do tempo (tendência decrescente). Para uma taxa constante, temos que a ocorrência de falhas é constante para qualquer valor no tempo, ou seja, as falhas no sistema não seguem qualquer tendência, ocorrendo de maneira aleatória.

Utiliza-se como estimador da taxa de ocorrência de falhas, a função descrita na equação 14:



$$\hat{h}(t) = \frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{\Delta t} \quad (14)$$

#### 2.5.4 CURVA DA BANHEIRA

A curva da banheira é um conceito conhecido por representar e caracterizar o comportamento das falhas de um item. A curva da banheira possui esse nome, pois o seu formato lembra a uma banheira (Figura 12). Verifica-se na Figura 12, três diferentes fases para o comportamento de um equipamento (mecânico, elétrico ou de *software*): fase inicial ou de arranque, fase de vida útil ou maturidade e fase de desgaste ou velhice.

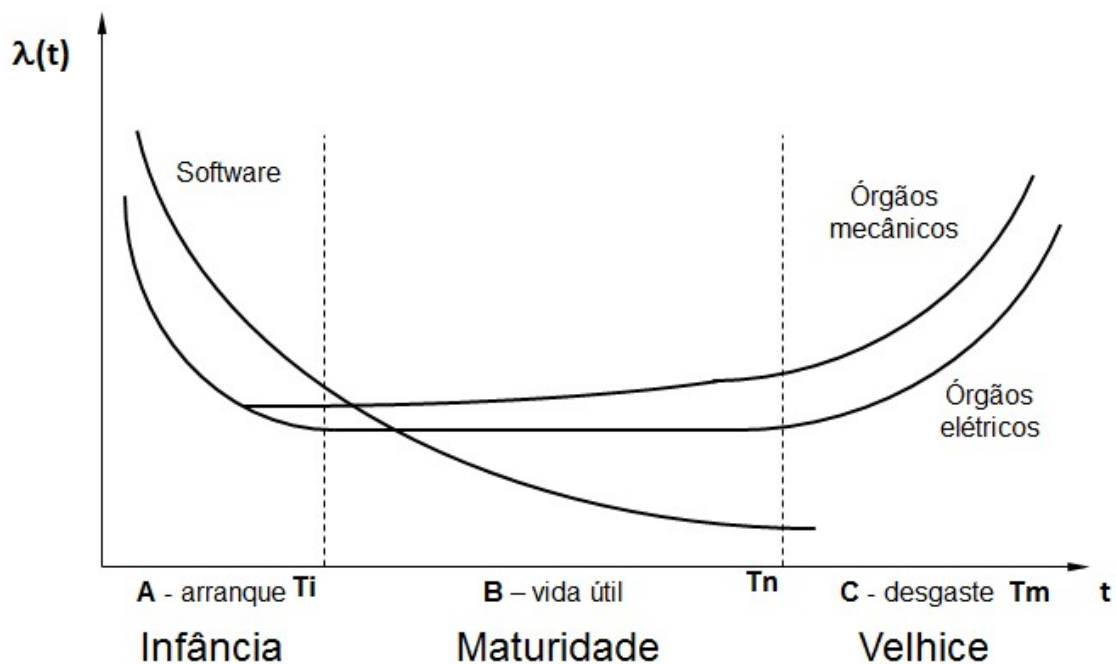


Figura 12 - Curva da banheira (Ramos, 2017).

No período da fase inicial ou de arranque, a taxa de falhas do item começa alta e depois diminui com o tempo. Esta fase caracteriza o início de atividade de qualquer sistema (período de falhas prematuras), com problemas de montagem e instalação, ou com problemas de *design* e fabrico. Gonçalves (2006) explica que essas falhas surgem, devido ao facto do equipamento necessitar de se adaptar ao seu ambiente de trabalho. Como a taxa de falhas é alta, esta fase não deve ser usada para o cálculo da fiabilidade, já que as características do sistema podem ser modificadas até atingir a sua configuração final.

Durante o período de fase de vida útil, a taxa de falhas do produto permanece estável e mantém-se no seu nível mais baixo. Este é o período onde ocorrem as falhas casuais. A origem das falhas nesse período deve-se a defeitos não detectáveis, excesso de carga, baixos níveis de segurança e erros humanos na utilização do sistema (Dhillon, 2005).

Na fase final ou de desgaste, há um aumento crescente da taxa de falhas com o tempo e um aumento da frequência de manutenção do equipamento, normalmente pelo

envelhecimento e desgaste do sistema. Nesta fase, espera-se o fim da vida do sistema (Gonçalves, 2006).

A curva da banheira descreve bem o comportamento do tempo de vida de muitos itens, no entanto, alguns itens podem apresentar variações a essa curva, como é o caso de equipamentos já testados e rodados chegarem às mãos dos utilizadores, eliminando assim a fase inicial ou de infância (Pereira, 1996).

Pereira (1996) esclarece que, apesar da curva da banheira poder possuir o mesmo formato para sistemas reparáveis e sistemas não-reparáveis, ela não significa o mesmo para os dois casos. Nos sistemas reparáveis, ela representa efetivamente a taxa de falhas em função do tempo de serviço acumulado. Nos sistemas não-reparáveis, ela representa a variação da taxa de risco com a idade.

### 2.5.5 INDICADORES DE FIABILIDADE E MANUTENÇÃO

As empresas que procuram consolidar-se no mercado, devem definir um conjunto de indicadores de desempenho que permita gerenciar as suas atividades de modo eficaz e eficiente, sintonizados com os objetivos estratégicos da empresa.

Para sistemas não reparáveis, é frequente obter, para além de estimativas da fiabilidade por diferentes missões, indicadores como o tempo médio até à falha (MTTF), que é dado por

$$MTTF = \int_0^{+\infty} R(t)dt \quad (15)$$

Para sistemas reparáveis, e segundo os dados da Abraman (2015), os principais indicadores utilizados pelas organizações no Brasil são: custos, frequência de falhas, satisfação do cliente, disponibilidade operacional, *backlog* (retrabalho), MTTR (tempo médio de reparação) e MTBF (tempo médio entre falhas).

De seguida, apresentam-se os indicadores de fiabilidade e de manutenção utilizados nesse trabalho.

#### ➤ Tempo médio entre falhas

O tempo médio de funcionamento entre falhas num dado período, MTBF na literatura inglesa, é frequentemente estimado pela fórmula (Lima, 2008):

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Tempos de bom funcionamento}}{N^{\circ} \text{ total de falhas nesse período}} \quad (16)$$

A Figura 13 esquematiza a ocorrência de duas falhas em um equipamento, a falha N-1 e a falha N. Observa-se que entre essas duas falhas, ocorre o período de reparação da primeira falha (TTR – *time to repair*), e depois temos o tempo de bom funcionamento (TBF) do equipamento, até o evento da segunda falha. O MTBF descreve a média dos tempos de bom funcionamento (TBF) (Pereira, 1996).

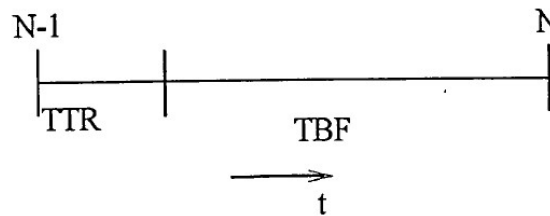


Figura 13 - Tempos entre avarias (Pereira, 1996).

Quanto maior for o MTBF, maior o total de horas disponíveis para a operação, ou seja, melhor é a fiabilidade do sistema. Pensando nesse mesmo esquema, para uma amostragem com maior número de falhas, um maior valor de MTBF, diminuiria o número de intervenções/repares realizados.

➤ Tempo médio de reparação

O tempo de intervenção da manutenção corretiva após a ocorrência da falha, o MTTR, *Mean Time To Repair* na literatura inglesa, descreve o período de reparação (TTR). A fórmula apresentada na equação 17 calcula o indicador (Lima, 2008).

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Tempos de reparação}}{\text{Nº total de intervenções nesse período}} \quad (17)$$

O MTTR é muito utilizado para avaliar o desempenho das atividades de manutenção ou a manutibilidade dos equipamentos. Quanto menor for o valor do MTTR, menores são os impactos dos reparos corretivos na produção (indisponibilidade de sistemas), indicando uma melhora no andamento da manutenção.

➤ Disponibilidade assintótica

A função disponibilidade instantânea mensura a capacidade de um equipamento estar em condições de executar certa função específica durante um intervalo de tempo determinado. Segundo a norma AEM (1990), a disponibilidade é a probabilidade de um item ou equipamento se encontrar operacional no instante  $t$ , sabendo-se que no instante  $t=0$  ele se encontrava operacional.

O aumento da disponibilidade dos equipamentos e componentes, implica em uma maior produtividade, já que existem menos paragens na produção por ocorrência de falhas. O limite, se existir, da disponibilidade instantânea, quando o tempo tende para infinito, representa a disponibilidade assintótica (Ramos, 2017). Sob certas condições, por exemplo, taxa de falha e taxa de reparação constantes a disponibilidade assintótica, pode ser expressa pela equação (18).

$$\text{Disponibilidade} = \frac{TU}{TP + TU} \quad (18)$$

Onde TU representa o período de tempo em que o equipamento está em condições de ser utilizado, e TP é o período de tempo em que o equipamento não está em condições de ser utilizado. Pereira (1996) destaca que o conceito de disponibilidade não exige que o equipamento esteja em funcionamento, mas sim, em condições de funcionar.

A disponibilidade também pode ser expressa pelos indicadores MTBF e MTTR. Para isso, divide-se o numerador e denominador da equação (18) pelo número total de falhas no período analisado, então:

$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF} \quad (19)$$

Na maioria das vezes, a disponibilidade é representada em forma de percentagem. Logo, o maior valor possível para este indicador é 100, representando que o sistema se encontra disponível (funcional) 100% do tempo.

#### ➤ Indisponibilidade

Junto com o conceito de disponibilidade, existe o conceito da indisponibilidade. A indisponibilidade de um equipamento ou sistema, descreve a probabilidade deste não se encontrar operacional em um determinado período de tempo. Por isso, pode-se definir a função da indisponibilidade como:

$$I = 1 - \text{Disponibilidade} \quad (20)$$

A indisponibilidade e a disponibilidade são funções complementares.

### 2.5.6 MODELOS ESTATÍSTICOS DE FIABILIDADE

O procedimento para a quantificação da fiabilidade de elementos ou sistemas reparáveis é diferente do procedimento para sistemas não reparáveis, que normalmente, utiliza distribuições de probabilidade teóricas, tais como: Normal, Weibull, Gamma, Lognormal e Exponencial. Para um sistema não reparável, os tempos até a falha são ordenados e tratados em conjunto, por meio de distribuições, já que estes tempos são, geralmente, independentes e identicamente distribuídos. Em um sistema reparável, torna-se inviável e errado ordenar os tempos entre falhas, já que a ocorrência de uma falha não implica o fim de vida do sistema, tornando-se necessário respeitar a cronologia dos acontecimentos.

A forma de cálculo dos indicadores de fiabilidade referidos para sistemas reparáveis, foco deste trabalho, não é única, sendo dependente, entre os factores do tipo de

comportamento temporal da taxa de ocorrência de avarias. A seleção do procedimento de cálculo tem por base uma análise estatística dos tempos entre avarias para avaliar a existência ou não existência de tendência da taxa de ocorrência de avarias (degradação ou melhoria do elemento).

Existem vários testes estatísticos de avaliação de tendência descritos na literatura. Neste estudo, foram considerados dois testes: o Teste de Laplace, mais amplamente usado, e o Teste de Crow.

### 2.5.7 TESTE DE LAPLACE

O Teste de Laplace, também conhecido como teste de hipóteses à fiabilidade, é normalmente utilizado para verificar a conformidade de uma teoria ou uma alegação, e possui aplicação nas mais diferentes áreas como na Ciência, Engenharia, Medicina e Direito (Singpurwalla, 2006). O teste de Laplace, como a maioria dos testes, apresenta-se de duas maneiras: unilateral ou bilateral. Neste trabalho, utiliza-se o teste de Laplace bilateral.

Este teste analisa a hipótese de que a taxa de ocorrência de falhas possa ser uma função constante contra a hipótese de que esta apresente tendências.

Para a elaboração de um teste de Laplace bilateral, é necessário seguir os seguintes passos (Ramos, 2017):

- I. Especificam-se a hipótese nula ( $H_0$ ) e a hipótese alternativa ( $H_1$ );
- II. Identifica-se a estatística de teste e caracteriza-se a sua distribuição;
- III. Fixa-se o nível de significância do teste,  $\alpha$  (geralmente,  $\alpha=5\%$ );
- IV. Calcula-se a região crítica:  $RC = ]-\infty, -Z_{\alpha/2}] \cup [Z_{\alpha/2}, +\infty[$ ;
- V. Calcula-se a estatística de teste observada,  $U_{\text{observado}}$ ;
- VI. Decide-se considerando a regra: se o  $U_{\text{observado}} \in RC$ , rejeitar  $H_0$ , a favor de  $H_1$ ; se o  $U_{\text{observado}} \notin RC$ , não se rejeitar  $H_0$ .

Nesta dissertação, utiliza-se o teste de hipóteses à fiabilidade de uma linha de produção, para verificar se a taxa de ocorrência de falhas é constante ou apresenta tendência. Existem duas alternativas aplicáveis para a estatística de teste nesse caso, sendo uma limitada pelo tempo de observação, e a outra limitada pelo número de falhas. As estatísticas de teste são equacionadas a seguir.

- Estatística de teste 1: quando o teste é limitado pelo tempo;

$$U = \sqrt{12N} \times \left( \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{NT_o} - 0,5 \right) \sim N(0,1) \quad (21)$$

onde  $N$  representa o número de ocorrências de falha,  $T_i$  os tempos das ocorrências das falhas e  $T_o$  o tempo de observação.

- Estatística de teste 2: quando o teste é limitado pelo número de falhas;

$$U = \sqrt{12(N-1)} \times \left( \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{(N-1)T_o} - 0,5 \right) \sim N(0,1) \quad (22)$$

Onde  $N$  representa o número de ocorrências de falha,  $T_i$  os tempos das ocorrências de falhas e  $T_o$  o tempo da última falha.

Em geral, para sistemas reparáveis, define-se a hipótese nula  $H_0$  como taxa de falhas constante e a hipótese alternativa  $H_1$  como a taxa de falhas não constante ou com tendência (Gonçalves, 2006).

### 2.5.8 TESTE DE CROW

O modelo de Crow, considera a taxa de falhas, representada por  $\hat{h}(t)$ , é parametrizada pela equação (23) (Ramos, 2017).

$$\hat{h}(t) = \lambda \times \beta \times t^{\beta-1}, \quad t, \lambda, \beta > 0, \quad (23)$$

onde  $\lambda$  e  $\beta$  são os parâmetros do modelo.

O parâmetro  $\lambda$  representa a estimativa da taxa de ocorrência de falhas quando  $\beta = 1$ . O parâmetro  $\beta$  indica uma previsão para o comportamento da taxa de ocorrência de falha, onde:

$\beta > 1$  : Taxa de ocorrência de falha crescente

$\beta = 1$  : Taxa de ocorrência de falha constante

$\beta < 1$  : Taxa de ocorrência de falha decrescente

A taxa de ocorrência de falhas ser crescente ( $\beta > 1$ ), significa que o número de ocorrências de falha aumenta com o tempo. A taxa ser constante ( $\beta = 1$ ), significa que o número de ocorrências de falha se mantém, para um mesmo valor de  $t$ . E a taxa de ocorrências de falha ser decrescente ( $\beta < 1$ ), significa que o número de falhas diminui, à medida que o tempo passa.

Através do método da máxima verossimilhança (Ramos, 2017), pode-se estimar os valores dos parâmetros  $\beta$  e  $\lambda$ . Existem duas alternativas para as estimativas dos parâmetros, sendo uma limitada pela duração do teste e a outra limitada pelo número de falhas. As constantes do modelo Crow são equacionadas a seguir.

- Teste limitado pelo tempo de duração;

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \ln\left(\frac{T_o}{T_i}\right)} \quad (24)$$

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{T_o^\beta} \quad (25)$$

onde  $T_i$  corresponde ao tempo de vida da falha no instante  $i$  e  $N$  ao número total de falhas registradas durante o período de teste  $T_o$  considerado.

- Teste limitado pelo número de falhas;

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^{N-1} \ln\left(\frac{T_o}{T_i}\right)} \quad (26)$$

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{T_o^\beta} \quad (27)$$

onde  $T_o$  corresponde ao tempo total do ensaio, terminando no instante exacto de ocorrência da última falha. Para ambos os casos, nota-se que a constante  $\lambda$  não se altera.

Para a verificação de existência de tendência da taxa de ocorrências de falha, define-se a hipótese nula  $H_0$  como taxa de ocorrência de falha constante ( $\beta = 1$ ) e a hipótese alternativa  $H_1$  como a taxa de ocorrência de avarias não constante ( $\beta \neq 1$ ). Neste caso, aplica-se uma estatística de teste que segue a distribuição qui-quadrado. A estatística de teste aplicada pode ser descrita pela equação (28).

$$ET = \frac{2N\beta}{\hat{\beta}} \sim \chi_{2N}^2 \quad (28)$$

Com uma região crítica (RC):

$$RC = ]0, \chi_{2N, \frac{\alpha}{2}}^2 [ \cup ] \chi_{2N, 1-\frac{\alpha}{2}}^2, +\infty [ \quad (29)$$

Se  $ET_{observado}$  pertencer à RC, rejeita-se  $H_0$ .

Quando a taxa de falhas é constante ( $\beta = 1$ ), o tempo médio entre avarias é dado por:

$$MTBF = \frac{1}{h} \quad (30)$$

Como  $h(t) = h$  e  $\beta = 1$ , temos que a equação (23) fica

$$h = \lambda \quad (31)$$

Quando a taxa de ocorrência de falha não é constante e modelada com a equação de Crow, a estimativa do MTBF no instante  $t$  é dada por:

$$\widehat{MTBF}(t) = \frac{1}{\hat{h}(t)} \quad (32)$$

sendo o intervalo de confiança IC a  $(1 - \alpha) \times 100\%$  para o MTBF:

$$[\widehat{MTBF}(t) \times \pi_1, \widehat{MTBF}(t) \times \pi_2] \quad (33)$$

Os valores das constantes  $\pi_1$  e  $\pi_2$  estão tabelados para diferentes valores de  $\alpha$ . Existem tabelas para os dois tipos de avaliação (teste limitado pelo tempo e teste limitado pelo número de falhas).



# DESENVOLVIMENTO

3.1 SELEÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM SUSPENSION MAT 3  
LORDOSE/MASSAGE COMO ESTUDO DE CASO

3.2 DESCRIÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM *SUSPENSION* MAT 3  
*LORDOSE/MASSAGE*

3.3 IDENTIFICAÇÃO DO POSTO CRÍTICO E SEUS MODOS DE FALHA

3.4 IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS

3.5 ANÁLISE DE RISCO

3.6 ANÁLISE DA FIABILIDADE

3.7 PROPOSTA DE MELHORIAS

3.8 APLICAÇÃO DO PLANO DE MELHORIAS

3.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.10 ANÁLISE DA FIABILIDADE APÓS APLICAÇÃO DE MELHORIAS



### 3 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo é dedicado à aplicação das metodologias de análise de falhas e da fiabilidade de um equipamento complexo, sendo que a abordagem teórica foi realizada no capítulo 2. Para facilitar a compreensão das etapas que serão realizadas no decorrer do estudo, o fluxograma representado pela Figura 14 foi elaborado com o objetivo de organizar e descrever a evolução do desenvolvimento das atividades.

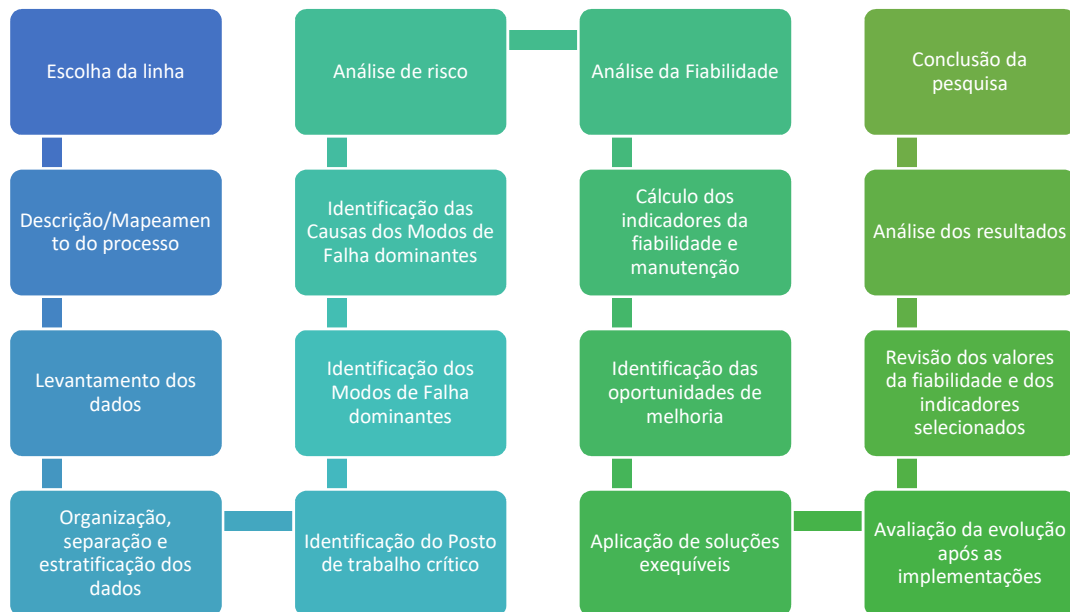


Figura 14 - Sequência de atividades do desenvolvimento. Elaborado pelo autor (2017).

#### 3.1 SELEÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM *SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE* COMO ESTUDO DE CASO

A linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage* foi selecionada como caso de estudo entre as linhas da área de negócios de Sistemas de Conforto por indicação e preferência da empresa. Atualmente, existem quatro linhas na fábrica que produzem sistemas lombares de conforto para automóveis, duas automáticas e duas semi-automáticas. As quatro linhas possuem sistemas muito parecidos, variando essencialmente, no tipo de referência produzida.

Por questões estratégicas, almeja-se melhorar a disponibilidade e a produtividade da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage*, por meio da prevenção da ocorrência de falhas, para posteriormente, aplicar os sucessos conseguidos nas restantes linhas.

### 3.2 DESCRIÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM *SUSPENSION MAT 3 LORDOSE/MASSAGE*

A linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage*, ilustrada pela Figura 15, produz sistemas lombares de encosto para automóveis. Os sistemas produzidos podem ter suas dobras na referência *Lordose* ou na referência *Massage*, característica que deve ser definida durante o *set up* da máquina.

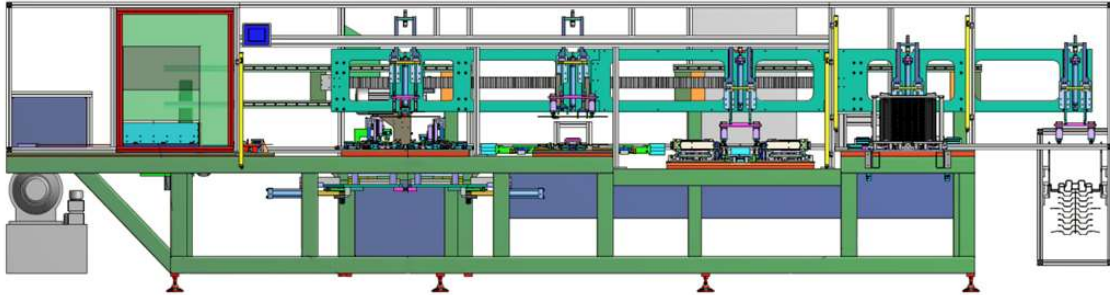


Figura 15 - Representação da linha. Fonte: Manual da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage* (2012).

O processo é composto por um conjunto de eventos discretos, cuja operações acontecem em ordem sequencial, sendo elas divididas nos seguintes postos de trabalho: posto de arames laterais, posto da espinha, posto de enrolamento, posto dos castelos, posto dos ganchos e posto dos agrafos. Cada posto de trabalho constitui um subsistema da linha, com funções específicas e definidas (a descrição do funcionamento e as atividades de cada posto serão dadas no tópico 3.2.3 deste trabalho).

Os equipamentos que compõe esta linha produtiva, podem ser operados de duas formas: automática ou manual com dois operadores. No modo automático, um alimentador automático de arames e um manipulador de arame se tornam necessários no posto dos agrafos, para substituir a ação que seria realizada manualmente pelo operador. Outra diferença também pode ser observada no posto de arames laterais, que no modo automático possui um alimentador automático de arames acoplado ao posto. Adotou-se a prática de operação automática durante o desenvolvimento do estudo.

Esta linha de produção possui oito sistemas de detecção, que impossibilitam que uma peça discrepante seja produzida, interrompendo o processo toda vez que uma irregularidade é detectada. Toda vez que o sistema de detecção é acionado, o processo é interrompido, até que o técnico afinador da linha identifique o problema e realize a sua reparação/validação.

Cada operação possui um tempo próprio para ser realizada, no entanto, como esta linha possui um único sistema *transfer* para o movimento horizontal (que transporta a peça de um posto à outro), o tempo de ciclo da produção se torna o tempo do posto mais lento, que nesse caso é o posto da espinha.

A linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage* produz uma peça a cada 13 segundos, tendo capacidade de produzir aproximadamente 276 peças/hora sem a interrupção do seu funcionamento.

### 3.2.1 DESENHO DO CONJUNTO

O desenho do conjunto da linha produtiva pode ser visualizado na Figura 16, sendo a Tabela 1 a legenda de cada ponto indicado na figura.

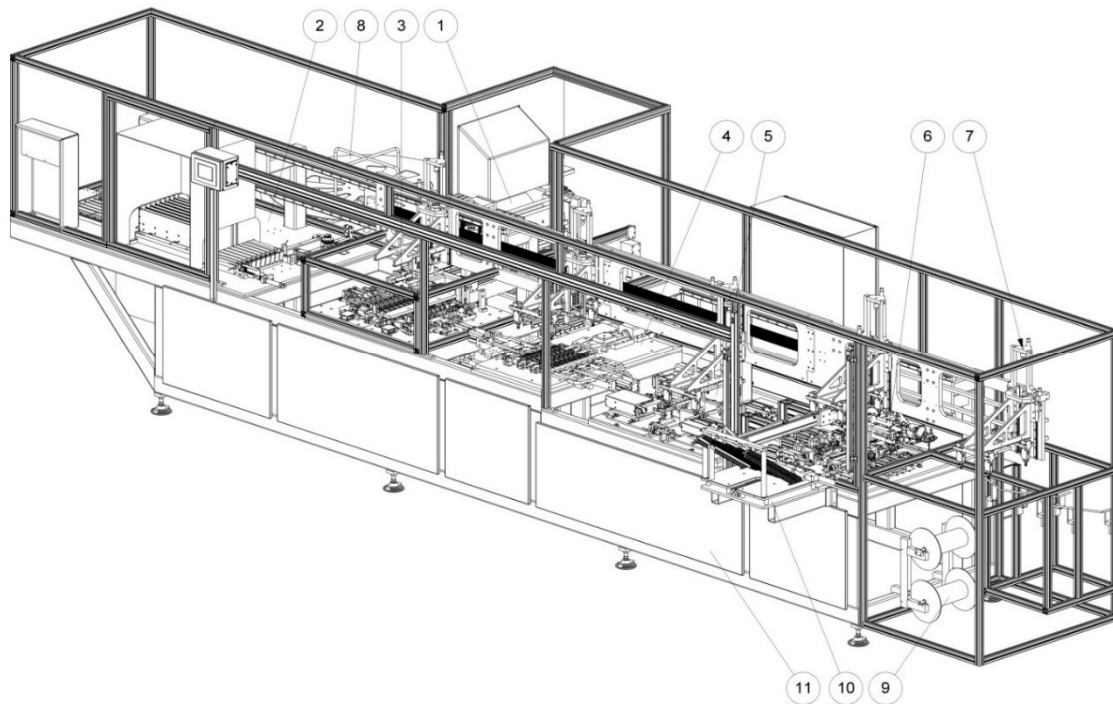


Figura 16 - Desenho do conjunto da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage*. Fonte: Manual da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage* (2012).

Tabela 1 - Descrição do Conjunto

| Nº | Descrição                   |
|----|-----------------------------|
| 1  | Posto de Arames Laterais    |
| 2  | Posto da Espinha            |
| 3  | Posto de Enrolamento        |
| 4  | Posto dos Castelos          |
| 5  | Posto dos Ganchos           |
| 6  | Posto dos Agrafos           |
| 7  | Manipulador                 |
| 8  | Desenrolador                |
| 9  | Suporte das Bobines         |
| 10 | Alimentador de Arame Lombar |
| 11 | Estrutura                   |

### 3.2.2 PRODUTO FINAL

Apresenta-se na Figura 17, o sistema lombar de encosto para os automóveis, fabricado pela linha em estudo, conjuntamente com a caracterização dos seus componentes principais.

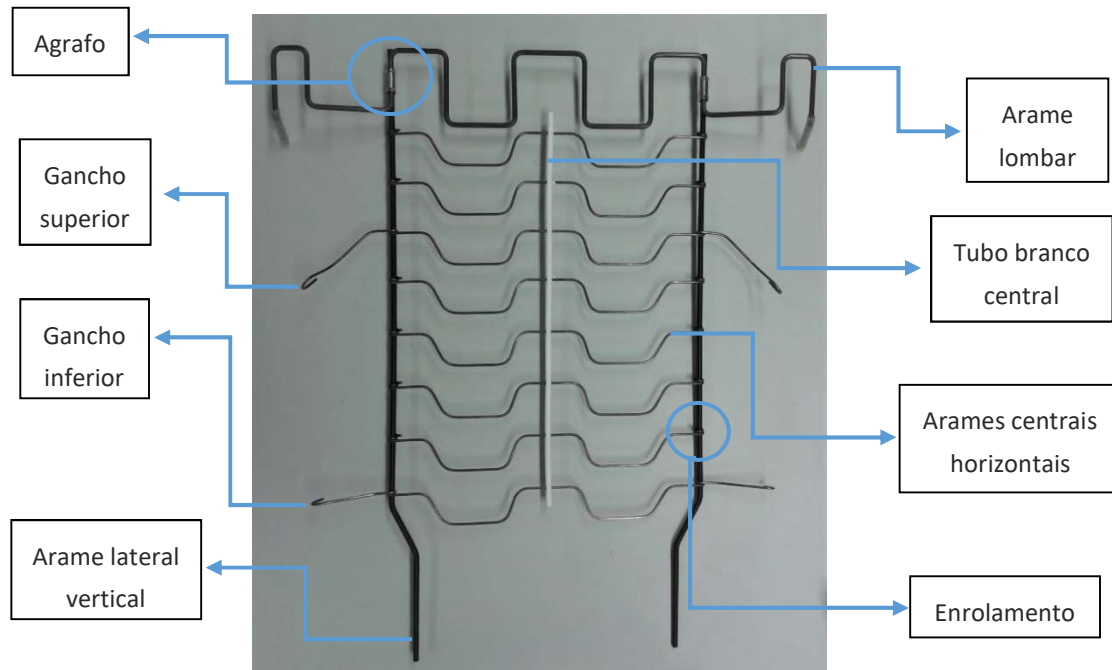


Figura 17 - Peça final produzida pela linha em estudo.  
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

### 3.2.3 FUNCIONAMENTO

Para facilitar a investigação, é preciso primeiramente observar e compreender a sequência de etapas desempenhadas para fabricação do sistema lombar de encosto para automóveis. O funcionamento geral da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage* pode ser resumido no fluxograma representado pela Figura 18.

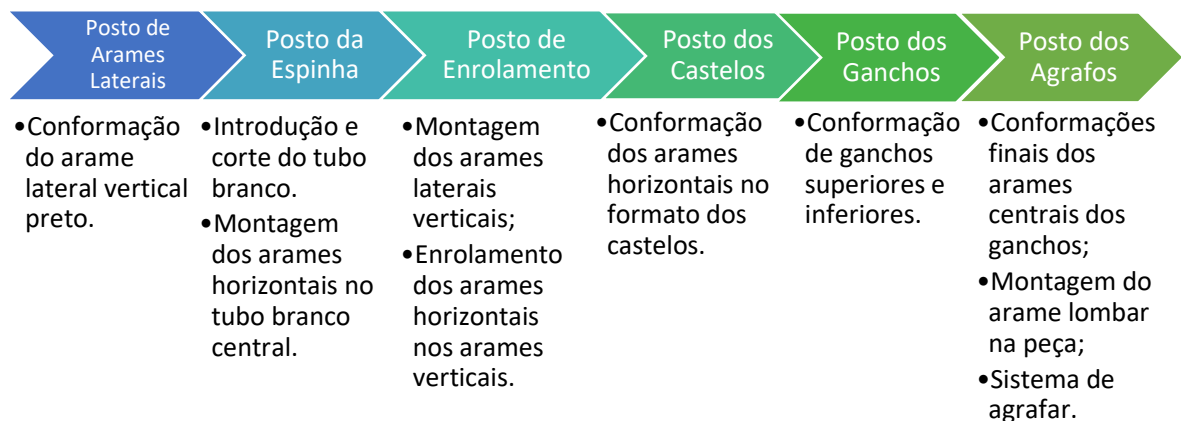


Figura 18 - Fluxograma do processo produtivo da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage*. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O posto 1 realiza a conformação dos arames laterais verticais, que já se encontram cortados e posicionados no alimentador de arames. Neste posto, são realizados dois tipos de dobras, uma para o lado esquerdo e outra para o lado direito. Os arames aqui conformados serão utilizados e adicionados à peça no posto 3.

O posto 2 posiciona o tubo branco e realiza o corte mecânico do tubo. Em seguida, introduz os arames centrais horizontais no tubo branco (os arames são pressionados contra o corpo do tubo), formando então, o corpo da peça (espinha). Para a introdução dos arames no tubo, temos um sistema carregador de arames, ilustrado pela Figura 19. O sistema carregador de arames, armazena os arames em cassetes. A parte inferior das cassetes possui uma tampa, que consiste em um conjunto de réguas. O movimento horizontal das réguas permite a passagem e o posicionamento dos arames nos rasgos e, a partir dos rasgos, os arames são puncionados contra o corpo do tubo por um carro de extratores.

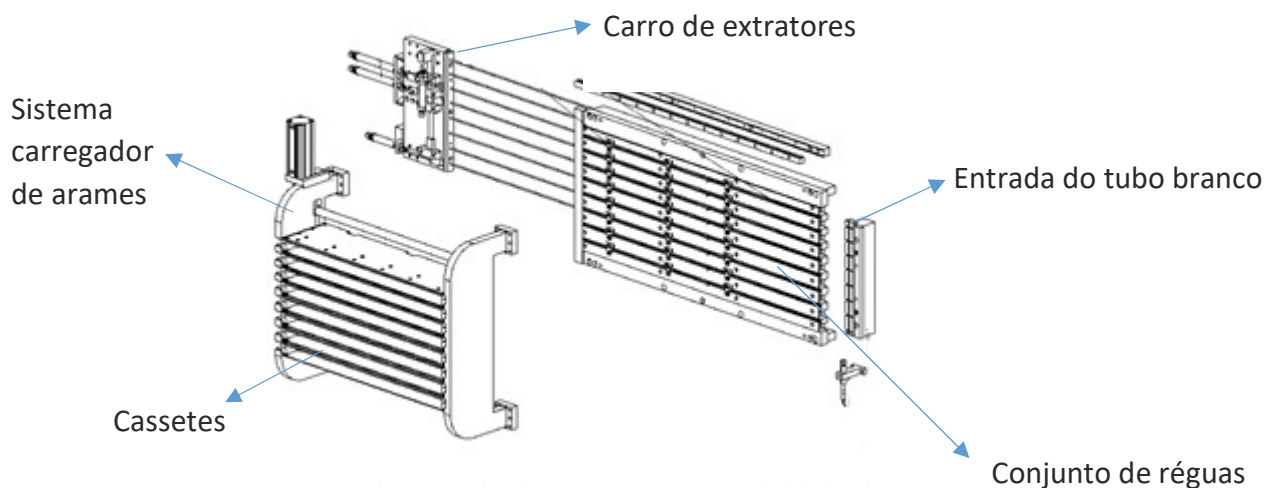


Figura 19 - Conjunto do carregador de arames. Fonte: Manual da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage* (2012).

O posto 3 posiciona dois arames laterais verticais (produzido no posto 1) nos lados esquerdo e direito da espinha, através de dois manipuladores. Em seguida, as extremidades dos arames horizontais são enroladas nos arames laterais verticais, formando a grelha.

O posto 4 executa a conformação dos arames horizontais centrais da grelha no formato dos castelos (dobragens específicas de cada referência).

O posto 5 faz a dobragem dos ganchos nas pontas dos arames horizontais centrais mais longos e verifica a conformidade dos enrolamentos.

O posto 6 realiza as conformações finais dos arames centrais dos ganchos e também monta e fixa o arame lombar à grelha. Depois disso, a grelha é agrafada com duas pistolas pneumáticas e o produto está finalizado. O arame lombar não é conformado por esta linha, é apenas adicionado à peça na etapa final do processo.

### 3.3 IDENTIFICAÇÃO DO POSTO CRÍTICO E SEUS MODOS DE FALHA

A ocorrência de falhas em um sistema mostra informações sobre a sua estabilidade, auxiliando a detectar os pontos mais instáveis do processo. Baseando-se nos dados do histórico de manutenção do maquinário no período de 01/09/2016 até 28/02/2017, analisou-se as falhas ocorridas na linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage*. Os eventos de falha identificados na linha foram estratificados e agrupados em categorias referentes ao posto de trabalho ao qual pertenciam.

Visando aumentar a produtividade e a disponibilidade operacional dos equipamentos, considerando que a linha de produção em estudo possui seis postos de trabalho e um sistema único de *transfer*, construiu-se um diagrama de Pareto para identificar o posto crítico da linha, ou seja, o posto que é responsável pela maior parte dos pedidos de intervenção (ocorrência de falha) e que deve ser o foco das ações de melhoria. Nesta análise, as falhas relacionadas apenas com o funcionamento do sistema *transfer*, foram agrupadas no posto “*Transfer/Pinças*”. A Figura 20 ilustra o diagrama construído.

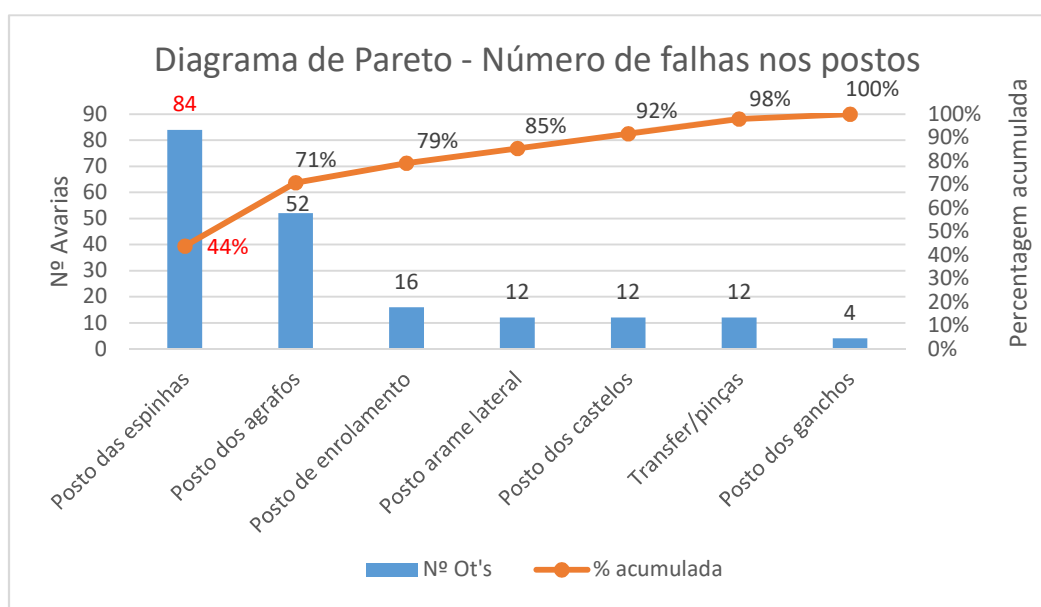


Figura 20 - Diagrama de Pareto – Nº total de falhas nos postos de trabalho da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage* (6 meses). Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Observando a Figura 20, conclui-se que o posto das espinhas é o posto com maior quantidade de eventos de falha seguido pelo posto dos agrafos. O diagrama de Pareto mostra a importância relativa dos postos da espinha e dos agrafos, os quais representam juntos, 71% de todas as intervenções que ocorreram na linha, no período dos 6 meses analisados.

Verifica-se o impacto do posto da espinha, com 84 pedidos de intervenção, seguido pelo posto dos agrafos, com 52 pedidos. Também se observa que o posto dos ganchos é o que menos avariou nesse período de tempo analisado, totalizando apenas quatro pedidos de intervenção.



O outro ponto que deve ser considerado nessa análise, é o impacto das falhas referente a cada posto, no tempo de indisponibilidade da linha. Para isso, construiu-se outro Diagrama de Pareto, mas dessa vez, relativo aos tempos de imobilização. Os tempos de imobilização no diagrama são dados em percentagem de horas. O diagrama pode ser visualizado na Figura 21.

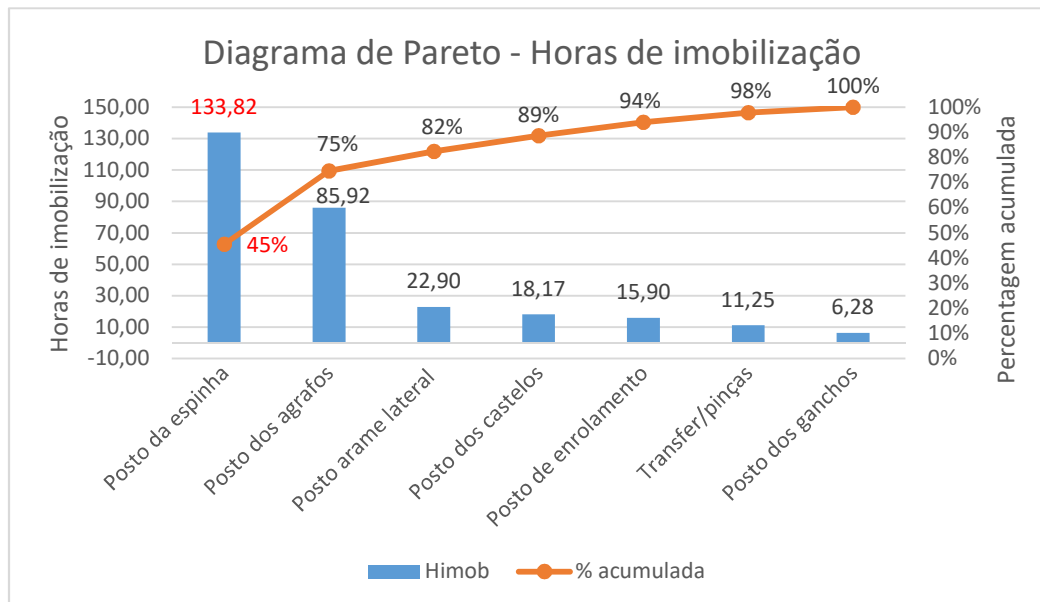


Figura 21 - Diagrama de Pareto - Horas de imobilização da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage* (6 meses). Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Observando a Figura 21, verifica-se que o posto da espinha, além de ser o posto com o maior número de falhas, também é responsável por 45% do tempo de indisponibilidade da linha de estudo, totalizando aproximadamente 134 horas de paragem. Em seguida, temos o posto dos agrafos e o posto do arame lateral, com aproximadamente 86 horas e 23 horas de imobilização, respectivamente.

Salienta-se que o processo produtivo em estudo trata-se de uma linha de ativos ligados em série e operados de forma automática sendo que a interrupção do funcionamento de um posto operativo implica na interrupção dos demais.

Face ao exposto, faz-se necessário a estrutura de um programa de acção, para eliminar ou reduzir as falhas dos postos da espinha e dos agrafos, assim a maior parte do número de ocorrência de falhas e tempos de paragem é rapidamente resolvida.

O próximo passo, foi analisar detalhadamente os eventos de falhas nos postos críticos da linha, organizando-os em categorias. A Tabela 2 representa uma síntese da análise realizada referente às falhas presentes nos postos das espinhas e dos agrafos, em termos do seu número de ocorrência e tempo de imobilização. Para a elaboração dessa tabela utilizou-se os dados oriundos do histórico de manutenção e as informações contidas na descrição de cada pedido de intervenção.

Tabela 2 - Modos de falha identificados nos postos da espinha e agrafos.

| Posto de Trabalho                     | Contagem de Avarias | Horas de imobilização |
|---------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| <b>Descrição / Causa</b>              |                     |                       |
| <b>Posto da Espinha</b>               | <b>81</b>           | <b>130,48</b>         |
| Extrator danificado/partido           | 34                  | 48,52                 |
| Arame encravado na gaveta             | 25                  | 46,97                 |
| Sensores desalinhados/avariados       | 8                   | 14,49                 |
| Arames não caem no carregador/rasgo   | 10                  | 12,25                 |
| Transfer pega mal a espinha           | 2                   | 5                     |
| Falta de tubo branco                  | 2                   | 3,27                  |
| <b>Posto dos Agrafos</b>              | <b>41</b>           | <b>69,85</b>          |
| Sensores desalinhados/avariados       | 15                  | 32,93                 |
| Não agrafa (Pistola presa/danificada) | 7                   | 16,67                 |
| Não dobra os arames                   | 7                   | 8,05                  |
| Revestimento danificado               | 5                   | 5,4                   |
| Agrafos soltos                        | 5                   | 4,43                  |
| Dobras não ficam nas dimensões        | 2                   | 2,37                  |
| <b>Total Geral</b>                    | <b>122</b>          | <b>200,33</b>         |

Estabeleceu-se seis grupos para os eventos de falha ocorridos nos postos da espinha e agrafos, sendo esses grupos de falha expostos nas Figuras 22 e 23.

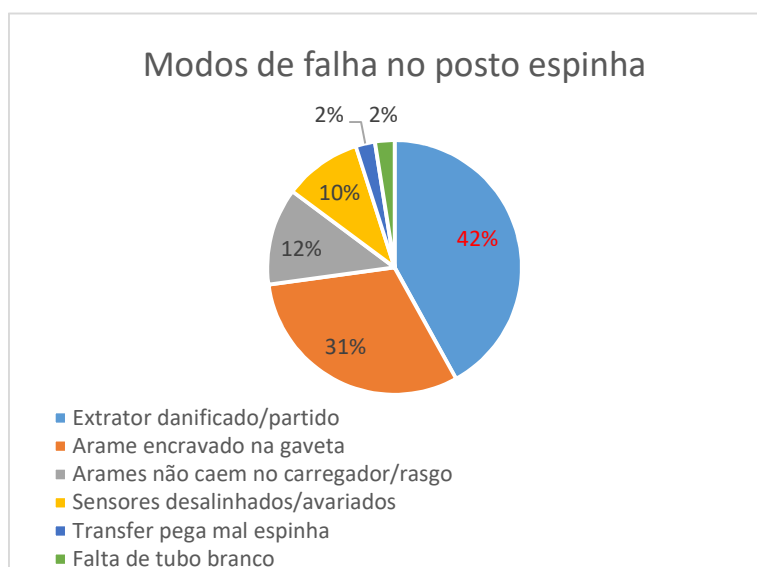


Figura 22 - Modos de falha no posto da espinha. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Em relação aos dados de falha ocorridos no posto da espinha, verifica-se (Tabela 2) que os grupos de falha categorizados como “Extrator danificado/partido” e “Arame encravado na gaveta” são os que apresentam maior número de ocorrências 34 (42%) e 25 (31%), respectivamente. Além disso, esses dois grupos de falha provocam os maiores tempos de imobilização da linha (Tabela 2), aproximadamente 49 horas e 47 horas, respectivamente.

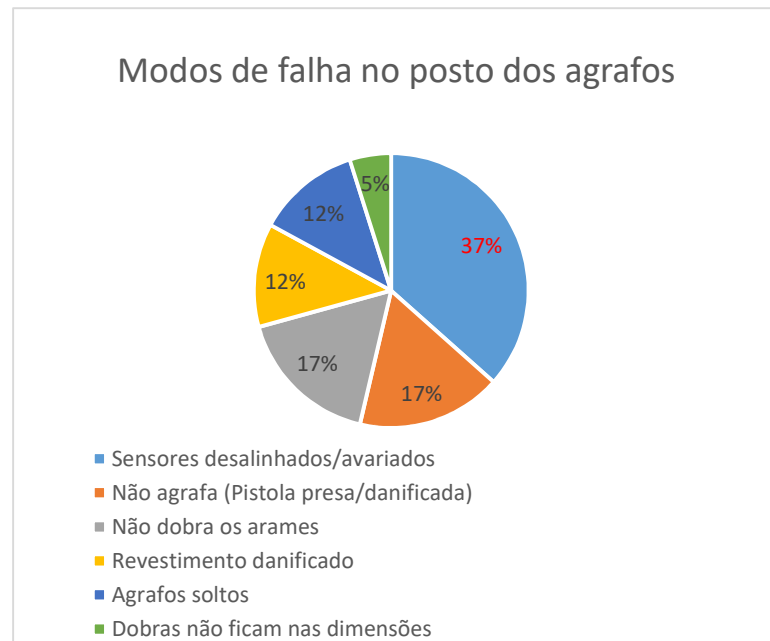


Figura 23 - Modos de falha no posto dos agrafos. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Em relação as falhas no posto dos agrafos, verifica-se que o grupo de falha categorizado como “Sensores desalinhados/avariados” apresentam o maior número de ocorrências, 15 (que representa 37% de todos os problemas identificados nesse posto) e também provoca o maior tempo de imobilização na linha, de aproximadamente 33 horas.

### 3.4 IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS

Nesta etapa do desenvolvimento, aplica-se a ferramenta da qualidade diagrama causa-efeito ou diagrama de Ishikawa para abordar a falha funcional do posto da espinha, constatado no tópico anterior como o posto crítico da linha. A falha funcional do posto da espinha é a incapacidade ou inabilidade do posto realizar a sua função principal, ou seja, introduzir oito arames no tubo branco (fazer a espinha), considerando o seu contexto operacional.

Para a construção do diagrama, utilizou-se a informação disponível na descrição dos pedidos de intervenção, a observação direta da linha, o conhecimento do equipamento pela equipa técnica de manutenção e os manuais e registros do fabricante. O diagrama causa-efeito elaborado pode ser visualizado pela Figura 24.

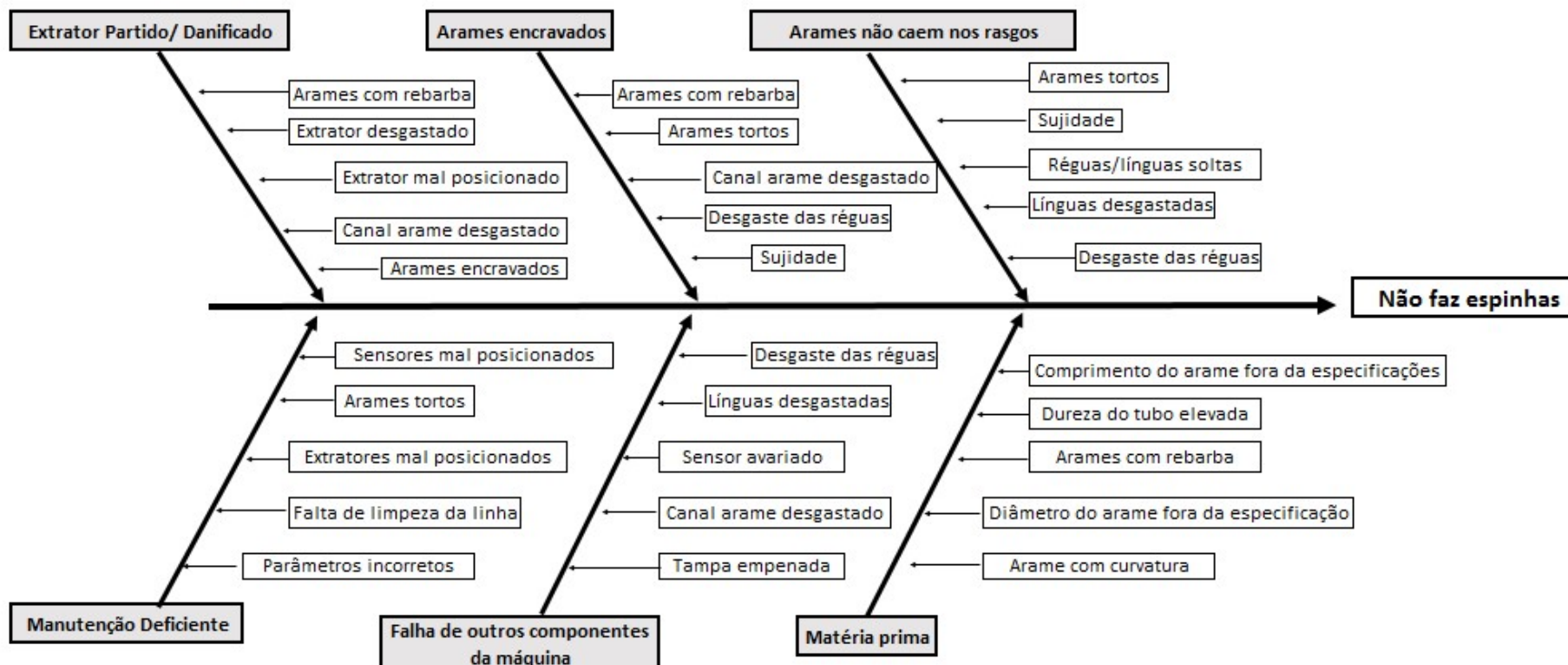


Figura 24 - Diagrama de causa-efeito: Falha funcional do posto espinha. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Observa-se pelos dados contidos na Figura 24 que as causas principais (ou causas-raízes) para a falha funcional do posto da espinha, são: “Extrator partido/danificado”, “Arame encravados”, “Arame não caem no carregador”, “Manutenção deficiente”, “Falha de outros componentes da máquina” e “Matéria prima”. As causas raízes foram avaliadas individualmente, objetivando comprovar a sua veracidade e tiveram as suas sub-causas ordenadas. O critério utilizado para organizar as sub-causas é a sua proximidade com o eixo horizontal, indicando maior probabilidade de ocorrência no sistema, com base nos dados do histórico de manutenção. Isso significa que quanto mais próximas as sub-causas estiverem do eixo horizontal, maior é a chance da sua ocorrência no sistema.

A causa principal “Manutenção deficiente” refere-se a ações da equipa de manutenção da linha. A causa “Falha de outros componentes da máquina” refere-se às falhas possíveis do equipamento e seus componentes, que impactam o desempenho da produção. A causa “Matéria prima” refere-se ao material utilizado nessa linha de produção, que consiste basicamente nos arames centrais e no tubo branco.

A causa principal “Arame não caem nos rasgos” trata-se da falha da função auxiliar de posicionar os arames no local correto (rasgos), da produção da espinha. As causas principais “Arame encravados” e “Extrator partido/danificado” referem-se a condições do sistema que impossibilitam o seu funcionamento, e devido ao seu grande impacto no posto, foram considerados separadamente como causas principais.

Analisando as sub-causas apresentadas na Figura 24, nota-se que “Desgaste nas réguas” é uma sub-causa comum à três causas principais, e assume posições sempre muito próximas ao eixo horizontal. Podemos concluir que esta sub-causa possui um forte impacto no sistema, devido a sua alta frequência de ocorrência no sistema, para o período analisado.

Observa-se também que todas as sub-causas de “Manutenção deficiente” poderiam ser evitadas, se as ações da manutenção fossem realizadas corretamente. Aqui, notam-se falhas da equipa em manter a limpeza do posto e garantir as afinações e validações corretas.

Ainda sobre as sub-causas, podemos notar sub-causas comuns a várias causas principais, como “Línguas desgastadas”, “Arame com rebarba”, “Canal do arame desgastado” e “Arame tortos”. Estes são casos de causas de falha conhecidas e recorrentes ao processo.

Uma observação sobre a sub-causa “Arame tortos” é necessária, já que esta pode levar a uma dupla interpretação. Caracterizam-se “Arame tortos” o fato de os arames terem sido posicionados dentro do carregador de forma incorreta, chegando tortos aos rasgos.

### 3.5 ANÁLISE DE RISCO

Conforme foi possível observar no item 3.3 deste trabalho, o posto da espinha é o que apresenta maior número de intervenções da manutenção no período dos 6 meses

analisados, e é responsável pelos maiores tempos de indisponibilidade da linha, e portanto, deve ser o foco do plano de melhoria a ser desenvolvido.

Nesta etapa do trabalho, deseja-se analisar mais profundamente o processo de fabricação das espinhas e todas as formas de falha associadas às máquinas e equipamentos desse posto. Para isso, fez-se uma releitura do PFMEA da linha, e com base nele, elaborou-se uma análise FMEA sob o ponto de vista da manutenção do equipamento. Esta análise pretende captar as informações necessárias para o desenvolvimento de um plano de ações de melhoria eficiente, de carácter preventivo, visando eliminar e/ou minimizar o impacto das falhas potenciais para o processo produtivo.

Para a elaboração da análise FMEA, utilizou-se a metodologia explicada no tópico 2.3.3 desse trabalho e os índices de severidade, ocorrência e detecção disponíveis no Anexo 6.1. A Figura 25 representa o diagrama FMEA criado para o posto da espinha.

Com base na literatura da indústria automóvel, em que se utiliza 100 como valor limite de criticidade, a partir do qual se deve tomar ações, a análise FMEA feita para o posto da espinha apresentou elevados valores do *risk priority number* (RPN) para os modos de falha identificados. Este resultado era esperado, já que trata-se do posto crítico da linha, sendo responsável pela maior parte dos períodos de indisponibilidade.

A análise FMEA identificou o modo de falha “Arames não entram no tubo” com o maior valor de risco relativo ao processo. Este modo de falha possui um RPN igual a 336. O RPN se torna elevado, pois este modo de falha apresenta-se no processo com uma taxa de ocorrência muito alta, e devido a isso, podemos considerar os eventos de falha recorrentes e já conhecidos.

Através do diagrama FMEA, foi também possível observar que o modo de falha “Arames não caem no carregador/rasgos” também acarreta elevado risco ao processo, com um RPN igual a 245. Nota-se pelo diagrama que esses dois modos de falhas possuem o mesmo efeito (consequências) quando há eventos de falha, mas possuem valores de severidade diferentes. Isso ocorre pois, apesar de terem o mesmo efeito, o modo de falha “Arames não entram no tubo” provoca maiores tempos de indisponibilidade na produção do que “Arames não caem no carregador/rasgos”, aumentando o valor da sua gravidade no sistema, conforme mostra o Anexo 6.1.

Analisando mais a fundo o diagrama FMEA elaborado, descobriu-se que os dois modos de falha dominantes identificados, se relacionam e possuem causas em comum. Quando o modo de falha “Arames não caem no carregador/rasgos” acontece, consequentemente os “Arames não entram no tubo”, já que esta seria a próxima função a ser realizada no processo da espinha. Tratam-se de funções sequenciais.



| Processo/Função  | Potencial Modo de Falha                 | Potencial Efeito de Falha   | Sev. | Potencial Causa de Falha   | Ocorr. | Detec. | RPN | Ações Recomendadas para Manutenção Corretiva  |
|--|---|---|------|--|--------|--------|-----|---|
| Armazenar os arames e Posicionar um único arame em cada um dos 8 rasgos<br><br>(Função auxiliar)   | 1- Arames não caem no carregador/rasgos | Não fabrica espinhas<br>Posto não termina ciclo<br>Interrupção do funcionamento de produção                         | 5    | 1.1 Sujidade<br>1.2 Excesso/Falta de arames no carregador<br>1.3 Arames de comprimento fora da especificação<br>1.4 Arames tortos<br>1.5 Arames com rebarbas<br>1.6 Arames encaivados na cassete/gaveta<br>1.7 Passa-não-passa desajustado/soito<br>1.8 Língua partida<br>1.9 Parafuso da régua/língua moído<br>1.10 Régua com desgaste<br>1.11 Gaveta empenada<br>1.12 Velocidade desajustada do cilindro do carregador<br>1.13 Cilindro elétrico mal posicionado | 7      | 7      | 345 | 1.1 Limpeza do carregador/rasgos<br>1.2 Retirar/Colocar mais arames<br>1.3 Substituir arames<br>1.4 Posicionar corretamente arames nas cassetes<br>1.5 Substituir arames<br>1.6 Desencravar arames da cassete/gaveta<br>1.7 Ajustar o número de línguas<br>1.8 Substituir língua<br>1.9 Substituir parafuso<br>1.10 Retificar/polir régua<br>1.11 Substituir cassete/gaveta<br>1.12 Ajustar as velocidades e pressões do cilindro do carregador<br>1.13 Pazer zero no cilindro elétrico |
| Empurrar os 8 arames contra o corpo do tubo até que eles perfurem o tubo e atinjam o limite especificado (Fazer espinha)<br><br>(Função principal) | 2- Arames não entram no tubo            | Não fabrica espinhas<br>Posto não termina o ciclo<br>Interrupção do funcionamento de produção                       | 6    | 2.1 Extratores partido/danificado<br>2.2 Arames com rebarbas<br>2.3 Arames encaivados<br>2.4 Canal de guiamento do arame com desgaste<br>2.5 Sensores não detectam arames horizontais<br>2.6 Sensores desafinados/avariados<br>2.7 Parafusos do carrinho de extratores soltos/partidos<br>2.8 Tampe não fecha<br>2.9 Dureza do tubo elevada  | 8      | 7      | 336 | 2.1 Substituir extratores<br>2.2 Substituir arames<br>2.3 Desencravar arames<br>2.4 Reparar canal de guiamento do arame<br>2.5 Limpar/ajustar/afinar/substituir sensor<br>2.6 Afinar/Substituir sensores<br>2.7 Apertar/Substituir parafusos<br>2.8 Retirar lixo e arames encaivados<br>2.9 Substituir tubo   |
| Posicionamento do tubo branco na posição especificada para o corte<br><br>(Função auxiliar)  | 3- Tubo branco não sai do canal         | Falta de tubo branco<br>Não fabrica espinhas<br>Posto não termina ciclo<br>Interrupção do funcionamento de produção | 4    | 3.1 Lixo no canal<br>3.2 Correia danificada<br>3.3 Motor de alimentação do tubo caiu<br>3.4 Falha no sinal do sensor de detectar tubo  | 4      | 7      | 112 | 3.1 Desmontar e limpar canal<br>3.2 Substituir correia<br>3.3 Apertar parafusos do motor<br>3.4 Afinar sensor   |
|  | 4- Tubo branco mal posicionado          | Tubo fora da posição correta<br>Espinha fora das dimensões<br>Desperdício de material                               | 5    | 4.1 Cilindro/calçador do tubo com folga<br>4.2 Betente do tubo com desgaste  | 5      | 7      | 175 | 4.1 Retificar calçador<br>4.2 Aplicar novo betente  |
| Corte mecânico do tubo<br><br>(Função auxiliar)  | 5 - Tubo não é cortado                  | Não fabrica espinhas<br>Posto não termina ciclo<br>Interrupção do funcionamento de produção                         | 4    | 5.1 Lâmina partida<br>5.2 Sensor de medição desafinado<br>5.3 Medidor de comp. do tubo danificado<br>5.4 Falta de betente  | 4      | 8      | 128 | 5.1 Substituir lâmina<br>5.2 Afinar sensor<br>5.3 Reparar/Substituir medidor<br>5.4 Aplicar betente   |
| Pegar peça e posicioná-la no gabarit da grelha do posto seguinte<br><br>(Função auxiliar)  | 6- Transfer não pega na espinha         | Posto não termina ciclo<br>Interrupção do funcionamento de produção   | 4    | 6.1 Movimento do transfer desafinado<br>6.2 Pinça do transfer danificada<br>6.3 Tubo de ar do cilindro desligado<br>6.4 Cilindro do transfer nok<br>6.5 Parafusos partidos do transfer   | 7      | 6      | 168 | 6.1 Afinar movimento do transfer<br>6.2 Reparar/substituir pinça<br>6.3 Verificar tubo de ar do cilindro do transfer.<br>6.4 Verificar cilindro do transfer<br>6.5 Substituir parafusos   |

Figura 25 - FMEA Posto da espinha. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A análise FMEA, além de nos fornecer maiores informações e características sobre o processo, permite que a equipa concentre seus esforços nos modos de falha de maior risco e que realmente representam grandes problemas ao processo, em termos de severidade, ocorrência e detecção. Nesta análise, identificou-se os modos de falha dominantes no processo de produção de espinhas, sendo eles: “Arame não entram no tubo” e “Arame não caem nos rasgos”.

### 3.6 ANÁLISE DA FIABILIDADE

Nesta etapa do desenvolvimento do projeto, analisa-se a fiabilidade do sistema de produção da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage*. Como se trata de um sistema composto por itens reparáveis, onde a ocorrência de falha não provoca o fim da vida dos itens, não é possível calcular o valor da fiabilidade como normalmente se faz para sistemas não reparáveis. O cálculo da fiabilidade de sistemas reparáveis é uma questão muito mais complexa, já que é extremamente difícil tratar a probabilidade de um item continuar funcional, quando este mesmo item já falhou e foi reparado.

A análise da fiabilidade realizada, não calcula o valor da fiabilidade do sistema, mas fornece noções e previsões sobre o comportamento da tendência de falhas. Assim, calcula-se a taxa de ocorrência de falhas referente a cada posto de trabalho, conjuntamente com seus respectivos indicadores de fiabilidade e desempenho de manutenção (MTBF, MTTR, Disponibilidade e Indisponibilidade).

Os postos de trabalho da linha produtiva em estudo foram considerados como sistemas individuais durante a análise, devido a implementação de ações de melhoria ser focalizada no posto crítico da produção. Dessa forma, será possível verificar se as ações de melhoria foram eficazes, através dos indicadores individuais de cada posto, impedindo que o resultado final seja inconsistente devido a junção de indicadores de outros postos da linha produtiva.

Inicialmente, foi necessário entender e organizar os dados disponíveis. Os pedidos de intervenção foram separados por posto, e depois, foram agrupados em quatro categorias:  $i$ ,  $T_i$ ,  $Tri$  e  $Tbi$ . A Tabela 3 representa uma das tabelas de dados criadas nesse trabalho. As demais tabelas criadas com os dados dos outros postos de trabalho estão disponíveis no Anexo 6.2.

A coluna “ $i$ ” organiza as ocorrências de falha, respeitando a ordem com que ocorreram ao longo do tempo. Isso significa que  $i = 1$  representa a primeira falha naquele posto, no período de estudo especificado,  $i = 2$  representa a segunda, e assim sucessivamente. As colunas  $T_i$ ,  $Tri$  e  $Tbi$  representam a idade do sistema quando ocorre a falha  $i$ , o tempo de reparação da falha  $i$  e o tempo de bom funcionamento entre as falhas  $i$  e  $i + 1$ , respectivamente.



Tabela 3 - Análise dos tempos no Posto 1.

| Posto | I  | Ti     | Tri  | Tbi   |
|-------|----|--------|------|-------|
| 1     | 1  | 50,41  | 0,05 | 0,10  |
| 1     | 2  | 50,56  | 0,03 | 2,80  |
| 1     | 3  | 53,38  | 0,04 | 0,87  |
| 1     | 4  | 54,29  | 0,10 | 1,22  |
| 1     | 5  | 55,62  | 0,04 | 14,50 |
| 1     | 6  | 70,16  | 0,06 | 1,38  |
| 1     | 7  | 71,60  | 0,13 | 34,84 |
| 1     | 8  | 106,57 | 0,07 | 33,45 |
| 1     | 9  | 140,09 | 0,16 | 13,15 |
| 1     | 10 | 153,39 | 0,11 | 14,76 |
| 1     | 11 | 168,26 | 0,11 | -0,04 |

Uma observação sobre as tabelas de dados geradas é necessária, pois notam-se alguns casos de tempos negativos. Isso ocorre toda vez que se registrou a finalização da intervenção de uma ordem de serviço antes do fechamento da ordem de serviço aberta anterior a esta, tornando o espaço de tempo negativo.

A análise dos tempos das falhas e dos tempos entre as falhas revela-se importante para entender o comportamento da tendência da fiabilidade, se esta é constante, crescente ou decrescente.

Com o objectivo de avaliar o comportamento temporal da taxa de avarias para cada um dos seis postos de trabalho e para o posto 7, identificado por “*Transfer/Pinças*”, posto que foi criado para avaliar as falhas no sistema de *transfer*, aplicou-se, numa primeira fase, o teste de Laplace. Tomou-se como hipóteses:

- $H_0$  : Taxa de ocorrência de falhas  $h(t)$  é uma função constante.
- $H_1$  : Taxa de ocorrência de falhas  $h(t)$  não é uma função constante.

Definiu-se  $\alpha=5\%$  para o nível de significância do teste, e uma região crítica RC, representada pela equação 34.

$$RC = ]-\infty, -1,96[ \cup ]1,96, +\infty[ \quad (34)$$

O papel da região crítica é evidenciar se  $h(t)$  é uma função constante ou não. Nesse caso, temos a região crítica RC representada pela Figura 26, para todos os valores da estatística de teste inferiores a -1,96 ou superiores a +1,96,  $H_0$  é uma hipótese falsa.

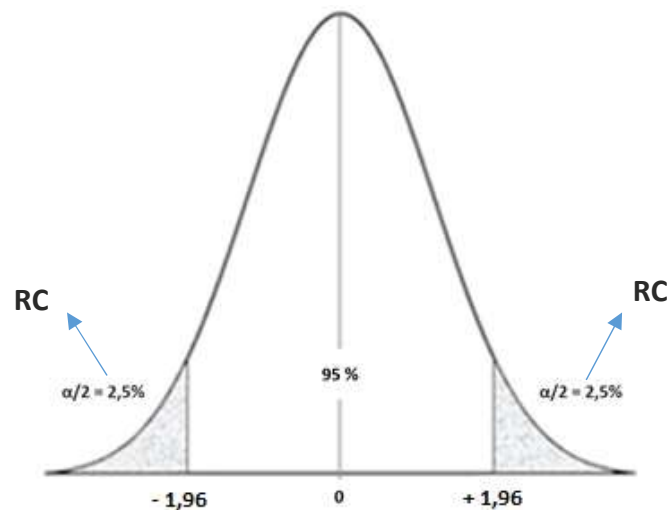


Figura 26 - Região crítica para  $\alpha=5\%$ . Fonte: Adaptado de Lopes *et al* (2014).

A estatística de teste selecionada foi a estatística de teste limitada pelo tempo (equação 21), onde  $T_0=181$  dias, que foi o período de tempo observado nesta análise. Os resultados do teste de Laplace podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados do Teste de Laplace bilateral.

| Posto | Uobs | Taxa          |
|-------|------|---------------|
| 1     | 0,31 | Constante     |
| 2     | 3,54 | Não Constante |
| 3     | 3,03 | Não Constante |
| 4     | 3,24 | Não Constante |
| 5     | 0,76 | Constante     |
| 6     | 2,58 | Não Constante |
| 7     | 3,11 | Não Constante |

Verifica-se que a taxa de ocorrência de falhas nos postos 1 e 5 é uma função constante, pois a estatística de teste U não pertence à região crítica definida. Para os postos 2, 3, 4, 6 e 7, nota-se que a estatística de teste pertence à região RC, caracterizando uma taxa de ocorrência de falhas não constante. Sendo o sinal do valor observado da estatística positivo, pode inferir-se que esses 5 postos apresentam taxa de ocorrência de avarias crescente.

A análise da fiabilidade e o modo de estimação dos indicadores difere para taxas de falha constante e não constante, já que a fiabilidade depende do comportamento da taxa de falhas. No primeiro caso, a taxa de falhas apresenta o mesmo valor caracterizando uma fiabilidade constante; e no segundo caso, a taxa de falhas varia em função do tempo, tornando a fiabilidade uma função variante no tempo. Por isso, tratar-se-á separadamente os postos 1 e 5 (taxas de ocorrência de falha constante), dos postos 2, 3, 4, 6 e 7 (taxas de ocorrência de falha não constante - crescente) nesta análise.

Foi também executado o teste de Crow, por ser mais conservador, para avaliar o comportamento da taxa de avarias nos diferentes postos de trabalho. Os resultados obtidos coincidem com os resultados obtidos com o teste de Laplace, pelo que apenas aqui se apresenta, e por uma questão de limitação de espaço, os resultados do teste de Crow para um posto, o posto 2:

$$ET_{observada} = 102.74; RC = ]0, 13,85[ \cup ]36,42, +\infty[$$

O facto o valor da estatística de teste pertencer à região crítica permite concluir que a hipótese de taxa de ocorrências constante deve ser rejeitada, o que leva a afirmar, considerando também o sinal positivo do valor da estatística de teste, que a evidência aponta para que essa taxa seja uma função crescente.

É de notar que a hipótese de que o modelo de Crow é adequado para modelar a taxa de ocorrência de falhas. Os postos em que se observaram mais de 15 falhas foram testados com recurso ao teste de qui-quadrado de ajustamento. Embora conscientes de que a reduzida dimensão da amostra observada em alguns postos, possa enviesar os resultados do teste, concluímos que o modelo de Crow é adequado. Nos casos onde não foi possível aplicar o teste de qui-quadrado admitimos, em falta de outras alternativas simples, que a taxa de ocorrência de falhas segue um modelo de Crow.

### 3.6.1 TAXA DE OCORRÊNCIA DE FALHAS NÃO CONSTANTE

A análise apresentada na secção anterior evidencia que postos de trabalho 2, 3, 4, 6 e 7 apresentam taxa de ocorrência de falhas  $h(t)$  crescente. Nesta etapa do trabalho, deseja-se estimar alguns indicadores de fiabilidade, e para tal, aplica-se o modelo de Crow. O modelo de Crow é função de dois parâmetros,  $\beta$  e  $\lambda$ , que foram estimados e apresentam-se aqui tabelados. Através dos parâmetros do modelo de Crow, foi possível determinar uma estimativa da taxa de falhas  $\hat{h}(t)$  no período final da observação, como também, uma estimativa dos indicadores da fiabilidade.

A Tabela 5, mostra, para cada um dos postos com taxa crescente, as estimativas do modelo de Crow ( $\hat{\beta}$  e  $\hat{\lambda}$ ) e o valor da estimativa da taxa de falha  $\hat{h}$  no final da observação.

Tabela 5 - Resultados do Teste de Crow.

| Posto | $\hat{\beta}$ | $\hat{\lambda}$ | $\hat{h}$ |
|-------|---------------|-----------------|-----------|
| 2     | 1,46          | 0,04            | 0,62      |
| 3     | 2,55          | 2,95E-05        | 0,22      |
| 4     | 14,38         | 4,36E-32        | 0,25      |
| 6     | 1,72          | 6,2E-03         | 0,44      |
| 7     | 3,23          | 5,14E-07        | 0,18      |

Analisando os valores estimados do parâmetro  $\hat{\beta}$ , confirma-se que todos os postos de trabalho possuem taxa de falhas crescente, já que  $\hat{\beta} > 1$  em todos os casos. A taxa de falhas ter tendência crescente implica que o número de falhas aumenta ao longo do tempo, logo quanto maior é a taxa de falhas em um sistema, menor é a sua fiabilidade.

Sobre os valores de  $[\hat{h}(t)]$  (estimativa da taxa de falha no modelo Crow), observa-se que o posto 2 apresenta o maior valor estimado para a taxa de falha  $h(t)=0,6186$ , seguido pelo posto 6 com  $h(t)=0,4393$ . A taxa de falha  $[\hat{h}(t)]$  é dada em dias, assim a cada 0,6186 dias, espera-se a ocorrência de uma falha no posto 2. Nota-se também que o posto 7 é o que possui menor taxa de falha, 0,1802 dias.

Os indicadores da fiabilidade e desempenho da manutenção (MTBF, MTTR, Disponibilidade e Indisponibilidade) utilizados nesse trabalho são calculados segundo as equações 32, 17, 19 e 20 (apresentadas no capítulo 2) e apresentam-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Indicadores da Fiabilidade e Manutenção para os postos com taxa de avarias não constante.

| Posto | MTBF | MTTR | Disponibilidade | Indisponibilidade |
|-------|------|------|-----------------|-------------------|
| 2     | 1,62 | 0,07 | 95,85%          | 4,15%             |
| 3     | 4,56 | 0,04 | 99,13%          | 0,87%             |
| 4     | 3,97 | 0,09 | 97,78%          | 2,22%             |
| 6     | 2,28 | 0,08 | 96,60%          | 3,40%             |
| 7     | 5,55 | 0,05 | 99,11%          | 0,89%             |

A análise da fiabilidade da linha em estudo mostra que os postos 2, 3, 4, 6 e 7 são os que apresentam taxa de falhas crescente, e que os postos 2 e 6 são os mais críticos e com menor fiabilidade, isso confirma-se pelo baixo valor estimado do indicador MTBF. Um baixo MTBF implica um menor tempo de bom funcionamento do processo, isto é, um maior número de falhas e tempo de não produtividade (paragens).

Verifica-se também que o posto 2 possui a menor disponibilidade operacional, coerente ao fato de este posto possuir o maior número de pedidos de intervenção e horas de imobilização dentro do período de 6 meses analisados. A disponibilidade de um sistema reparável é uma função que depende da relação entre a fiabilidade e a manutibilidade desse sistema, e apesar da manutibilidade no posto 2 apresentar um valor mediano (MTTR=0,07), o valor da sua fiabilidade é o mais baixo de todos os postos (MTBF=1,6163), o que resultou na menor Disponibilidade (Disponibilidade=95,85%).

### 3.6.2 TAXA DE OCORRÊNCIA DE FALHAS CONSTANTE

Os postos de trabalho 1 e 5 apresentam taxa de ocorrência de falhas  $[h(t)]$  constante, então, pode-se afirmar que  $h(t) = h$ . Quando a taxa de falhas é constante, a fiabilidade do sistema pode ser dada pela distribuição exponencial, no entanto, para fins comparativos (entre os demais postos de trabalho), calcula-se apenas os indicadores de fiabilidade e desempenho da manutenção dos postos. Os indicadores foram calculados através de métodos empíricos por meio das equações: 30, 17, 19 e 20 (apresentadas no capítulo 2). Os resultados dos indicadores estão apresentados na Tabela 7:

Tabela 7 - Indicadores da Fiabilidade e Manutenção para os postos com taxa de avarias constante.

| Posto | MTBF  | MTTR | Disponibilidade | Indisponibilidade | h    |
|-------|-------|------|-----------------|-------------------|------|
| 1     | 13,85 | 0,08 | 99,43%          | 0,57%             | 0,07 |
| 5     | 5,21  | 0,07 | 98,67%          | 1,33%             | 0,19 |

Analisando os resultados na Tabela 7, nota-se valores baixos para a taxa de ocorrência de falhas, isto mostra que os postos 1 e 5 evidenciam pouca variação. Este resultado é esperado em função do elevado tempo de bom funcionamento (MTBF) nesses dois postos de trabalho.

### 3.7 PROPOSTA DE MELHORIAS

Nesta etapa do trabalho, pretende-se desenvolver uma proposta de melhorias com base nos resultados das análises de falhas e fiabilidade. O plano de acções consiste na identificação de oportunidades para melhoria das atividades críticas da linha de produção, considerando apenas alternativas exequíveis, dentro das restrições existentes no ambiente estudado.

Logo, foi necessário formar uma equipe de especialistas na área de manutenção e produção para estruturar uma trativa de falhas identificadas no tópico 3.3. Para formular o plano de acções de melhoria, foi necessário responder as questões presentes na Tabela 8.

Tabela 8 - Formulário para planeamento de melhoria.

| <b>Questões:</b>   |
|--|
| 1- Qual é o posto crítico da linha?  |
| 2- De que forma o posto crítico falha o cumprimento das suas funções?          |
| 3- O que causa cada uma das falhas?  |
| 4- O que sucede quando acontece cada uma das falhas?                           |
| 5- De que maneira importa cada uma das falhas? (Consequências da falha)        |
| 6- É possível adquirir novos equipamentos com desempenhos que o atual não tem? |
| 7- O que pode ser feito para prever ou prevenir os eventos de falha?           |
| 8- É possível alterar a estratégia de manutenção da linha?                     |

Assim, respondendo as questões contidas na Tabela 8, o grupo de trabalho apontou as seguintes propostas de acções:

- Melhoria pontual no posto espinha (posto crítico): Nas análises anteriores foi possível observar que a falha funcional do posto da espinha acontece antes da sua operação principal (introdução dos arames no tubo). Por isso, criou-se uma proposta de acção de melhoria para agir sobre a função auxiliar que antecede a introdução dos arames, e que realmente é responsável pela maior parte dos eventos de falha. Sugere-se a aplicação de um novo sistema de tampas para o carregador de arames. A melhoria do sistema de tampas do carregador possui um carácter preventivo, visando diminuir consideravelmente os grupos de falha identificados como “Extrator partido/danificado”, “Arames encravados” e “Arames não caem no carregador/rasgo”, que representam juntos 85% das falhas desse posto, visto que o sistema atual se encontra com muito desgaste e degradação devido ao uso. O sistema de tampas, composto por réguas e línguas,

é responsável por garantir a entrada de um único arame nos rasgos do carregador. A compra de um novo sistema de tampas com material de melhor qualidade e tratamento superficial, objetiva substituir o sistema atual, que já se encontra deficiente, ser mais eficaz, eliminando o problema do desgaste, e garantir maior durabilidade do conjunto. A Figura 27 ilustra o conjunto mecânico do sistema de tampas do carregador.

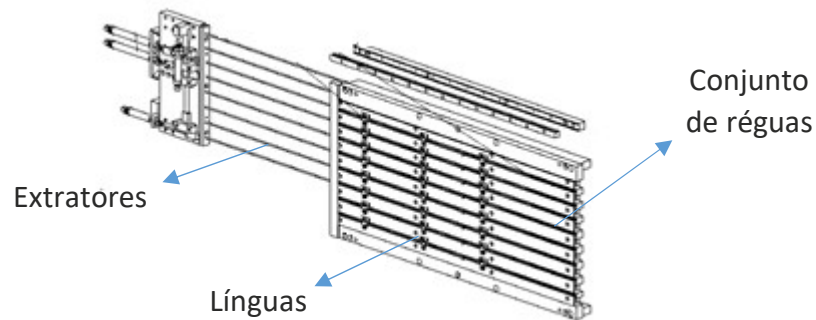


Figura 27 – Conjunto mecânico do sistema de tampas do carregador de arames. Fonte: Manual da linha de montagem suspension mat 3 lordose/massage (2012).

- **Melhoria geral 1:** Alteração da estratégia atual das atividades de *set up* da linha. Notou-se que o período de troca de referências (*set up*) e posterior arranque da linha, é muito conturbado, onde ocorrem muitos eventos de falha; e em sua maioria, devido a afinações e validações mal efetuadas. Atualmente, no final de cada turno, a equipa de manutenção responsável realiza a paragem da linha, para limpeza e preparação (*set up*) dos postos de trabalho, e então, o arranque é realizado pela equipa do turno seguinte. Muitas vezes, as afinações e validações são mal realizadas pela equipa responsável, devido a aproximação do final do turno de trabalho. Na nova estratégia, o arranque da máquina deve ser realizado pelo mesmo turno que realizou a limpeza e o *set up*. Dessa forma, a equipa do turno seguinte já inicia a sua jornada de trabalho tendo a linha em funcionamento. A alteração da estratégia de *set up* trata-se de uma acção de manutenção de carácter preventivo, pois deseja-se prevenir as ocorrências de erros de *set up* por má validações e afinações da linha.
- **Melhoria geral 2:** Re-estruturação das Lições Aprendidas da linha. O conceito das Lições Aprendidas já é muito conhecido dentro da empresa, no entanto ele não estava sendo aplicado corretamente. As Lições Aprendidas consistem em um guia padronizado, relativo aos potenciais modos de falha da linha em estudo, com as suas respectivas causas e resoluções para a sua correção. As Lições Aprendidas visam definir os procedimentos e modos operativos das atividades da manutenção corretiva, padronizando as ações de intervenção da manutenção, e também servem como instrumento de controlo para a sua gestão. Este guia encontra-se totalmente desatualizado e desorganizado, o que dificulta a identificação das causas dos problemas pelos técnicos da manutenção. O objetivo dessa acção é investigar os motivos da ocorrência de cada modo de

falha e sugerir soluções rápidas para corrigir os problemas mais frequentes, tornando mais eficaz as atividades de manutenção corretiva.

### 3.8 APLICAÇÃO DO PLANO DE MELHORIAS

Para a implementação do plano de melhorias proposto, foi preciso a sua validação pelo diretor do departamento da Manutenção. A validação da proposta de plano de melhorias foi efetuada, pois as ações apresentadas eram de fácil execução e os custos envolvidos serem pequenos. Então, passou-se de imediato à sua implementação.

#### 3.8.1 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO

Para a realização das ações propostas, seguiu-se o cronograma ilustrado na Figura 28.

| Atividade  | Semestre 01/2017 |       |      |       |       |
|--|------------------|-------|------|-------|-------|
|  | Mês              |       |      |       |       |
|  | março            | abril | maio | junho | julho |
| Estratégia de <i>set up</i>  | X                |       |      |       |       |
| Lições Aprendidas  |                  | X     |      |       |       |
| Aplicação de um novo sistema de réguas e línguas para o carregador de arames |                  |       | X    |       |       |

Figura 28 - Cronograma de implementação de melhorias. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após o mês de maio, todas as propostas de melhoria foram implementadas. Infelizmente, obteve-se um pequeno período de amostragem para a análise final dos resultados, apenas o mês de junho, no qual tem-se a evidencia desses resultados no sistema para as três melhorias implementadas no processo.

#### 3.8.2 IMPLEMENTAÇÃO

##### 3.8.2.1 *Estratégia de set up*

A nova estratégia de *set up* da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage* foi passada para todos os técnicos da Manutenção, responsáveis pela área de negócio de Sistema de Conforto. Este novo método de *set up* entrou em operação no mês de março, mais precisamente no final da semana 10, sendo realizado pelos três turnos da equipa técnica da manutenção. Com essa nova estratégia, espera-se reduzir os erros de *set up* e as ocorrências de falhas devido a má afinação e validação da linha, aumentando a sua disponibilidade.

##### 3.8.2.2 *Lições Aprendidas*



Para a aplicação da melhoria geral 2, os potenciais modos de falha, as suas causas e as resoluções foram agrupadas no modelo ilustrado pela Figura 29.


| <br>Fico Cables Maia | <b>Posto de Enrolamento "IBK"</b><br>Trouble Shooting- Resolução de Avarias   | M026/0<br>Page 4/7<br>Editado por Gabriela P<br>Data: Rev.0   |
|---|---|---|
| Descrição do Problema   | Causas mais prováveis   | O que fazer   |
| 3. Máquina não enrola os arames   | 1. Barreiras de segurança interrompidas<br>2. Posto não se encontra na posição de Automático<br>3. Unidade hidráulica não está ligada<br>4. Falta de arames ou com comprimento incorreto ou demasiado tortos<br>5. Arame lateral fora de medida<br>6. Sujidade nas cremalheiras<br>7. Batente partido<br>8. Parafusos danificados<br>9. Mesas desalinhasadas<br>10. Tranca desafinada<br>11. Sensor não detecta arames<br>12. Veio do enrolamento partido<br>13. Erro de set up nos cilindros | 1. Verificar alinhamento das barreiras e se existe algo as interrompendo<br>2. Selecionar posto para posição automático<br>3. Ligar unidade hidráulica<br>4. Verificar se os arames estão colocados corretamente e se possuem a dimensão correta (espinha). Se for necessário, substituir os arames<br>5. Afinar arame lateral<br>6. Limpar cremalheira<br>7. Reparar e montar batente<br>8. Retirar parafusos danificados e colocar novos<br>9. Alinhar mesas<br>10. Afinar tranca<br>11. Afinar/Substituir sensor<br>12. Substituir veio<br>13. Desencravar sistema de cunha dos enrolamentos |

Figura 29 - Modelo utilizado para as Lições Aprendidas. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O problema identificado no modelo da Figura 29, teve as suas potenciais causas hierarquizadas, criando-se uma checklist para a intervenção na máquina. Isso significa que a causa número 1 deve ser a primeira a ser verificada pelo técnico de manutenção, a causa número 2, deve ser a segunda, e assim sucessivamente, até que se encontre a causa real do problema em questão. Podemos dizer que se trata de um passo a passo, que foi elaborado, considerando a melhor sequência em que se deve intervir no sistema, dado cada problema, considerando sempre o contexto operacional. Para que as Lições Aprendidas sejam eficazes, é importante que o técnico de manutenção da linha siga a ordem proposta pelo modelo.

Este modelo deseja tornar mais eficaz as atividades corretivas dos técnicos de manutenção, que muitas vezes têm dificuldades em encontrar as causas dos problemas na linha, prolongando o tempo de imobilização. Elaborou-se um guia de Lições Aprendidas para cada posto de trabalho da máquina, avaliando-se os potenciais modos de falha referentes a cada posto, de acordo com as informações registradas no histórico de manutenção da linha e no conhecimento técnico da equipa de manutenção. Neste trabalho, foram elaboradas um total de 47 Lições Aprendidas para a linha de estudo. As Lições Aprendidas já estão sendo utilizadas e estão disponíveis para consulta e utilização desde o dia 31/03.

### 3.8.2.3 Novo sistema de réguas e línguas



Encomendou-se um sistema novo de réguas e línguas para o carregador de arames do posto da espinha. A Figura 30 mostra o estado das peças antigas do carregador, antes da implementação, e as Figuras 31 e 32 mostram as peças novas que foram aplicadas na linha no dia 06/05/17. Nota-se o alto nível de degradação das peças antigas, devido ao desgaste progressivo causada pelo atrito do movimento relativo dos arames e vibrações provocadas por desbalanceamentos. O desgaste do sistema antigo dificultava o posicionamento correto dos arames nos rasgos e acumulava muita sujeira, encravando o arame muitas vezes.



Figura 30 - Réguas e línguas antigas do carregador de arame do posto das espinhas. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para combater o desgaste identificado nas réguas do carregador, decidiu-se por comprar um novo sistema de réguas com tratamento termo-químico superficial anti-desgaste. O tratamento selecionado foi a nitruração do aço PM300 (pela norma europeia EN ISO 4957: 40 CrMnNiMo 8-6-4). A nitruração é um processo de endurecimento superficial, produzido pela formação de nitretos nas camadas superficiais das peças. A camada nitrurada provoca tensões de compressão que aumentam consideravelmente a resistência ao desgaste, sendo responsáveis pelo ganho elevado no seu desempenho. Definiu-se a camada de 0,5 mm de espessura para a nitruração realizada.



Figura 31 - Novo conjunto de réguas para o carregador de arames. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 32 - Novas línguas para o sistema passa não passa. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O novo conjunto de réguas e línguas visa garantir o funcionamento correto do carregador de arames, isto é, o posicionamento e a garantia de que apenas um arame encontra-se em cada rasgo, e com isso, diminuir o número de falhas no posto das espinhas, aumentando a sua disponibilidade.

### 3.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste tópico, é apresentada a análise dos resultados do projeto desenvolvido nesta dissertação. Baseando-se nos dados do histórico de manutenção de máquinas e equipamentos da linha em estudo, no período de 01/03/2017 até 18/06/2017, analisou-se a operacionalidade da linha, os seus tempos de paragem e de funcionalidade, bem como a melhoria ou não dos indicadores de fiabilidade, após implementação das acções do plano de melhoria proposto.

#### 3.9.1 ANÁLISE GERAL DA LINHA DE ESTUDO

Considerando os tempos de imobilização (não-productividade) e de intervenção da manutenção de todos os postos de trabalho da linha para cada semana do período analisado, elaborou-se o seguinte gráfico, representado pela Figura 33. Em azul temos a soma dos tempos de imobilização e a laranja a soma dos tempos de intervenção, ambos os tempos são dados em percentagem de horas. As semanas seleccionadas com um círculo vermelho são as semanas nas quais se implementaram as três acções de melhoria: alteração da estratégia de *set up*, atualização das lições aprendidas e aplicação do novo sistema de réguas e línguas no carregador de arames, respectivamente.

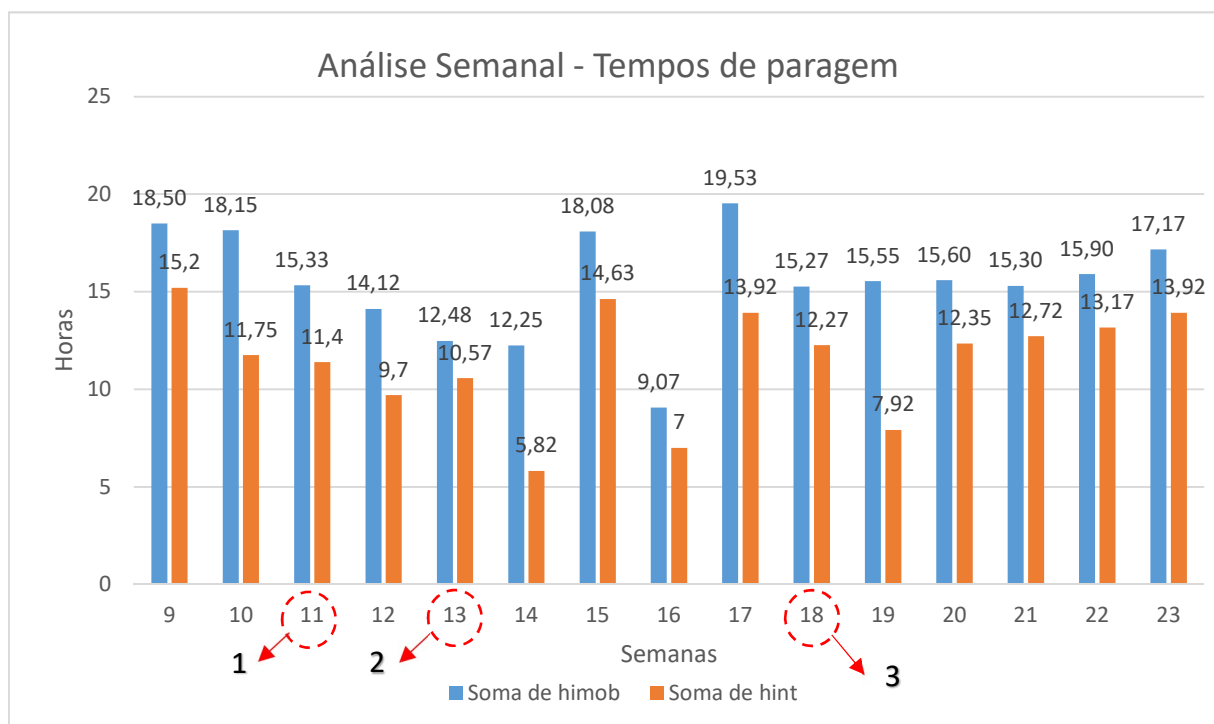


Figura 33 - Análise semanal – Tempos de paragem da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage*.  
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Observa-se que, mesmo após a implementação de todas as acções de melhorias propostas, a linha em estudo continuou apresentando elevados tempos de imobilização e intervenção para as semanas 19, 20, 21, 22 e 23. Os tempos de imobilização correspondem aos tempos de paragem não programados da linha devido a avaria, e

englobam o tempo de espera até à intervenção, mais o tempo gasto na reparação do sistema. Deseja-se que os tempos de imobilização sejam os mais próximos possíveis dos tempos de intervenção, reduzindo-se o tempo de espera.

Considerando a acção de melhoria de alteração da estratégia de *set up* na semana 11, e a utilização das Lições Aprendidas na semana 13, nota-se que há uma melhoria de 20% nos tempos de imobilização da linha, no sentido que eles se tornam menores, até à semana 15. Na semana 15, novamente há um aumento da imobilização, e depois, volta a diminuir, na semana 16. Podemos interpretar isso como um indício de ocorrência de um evento especial de falha, ou seja, um motivo não natural de variação do processo, que alterou o comportamento decrescente dos tempos de imobilização. Uma análise detalhada das falhas ocorridas na semana 15 se torna necessária para comprovar essa hipótese.

Fazendo esta investigação, descobriu-se que uma das ordens de serviço utilizada nessa análise havia sido duplicada, tendo as suas horas de imobilização sido contabilizadas duas vezes no sistema. Corrigindo esse erro identificado, houve uma queda nos tempos de imobilização, de 18 horas para 14 horas, e elaborou-se o seguinte gráfico para a semana 15, representados pela Figura 33.

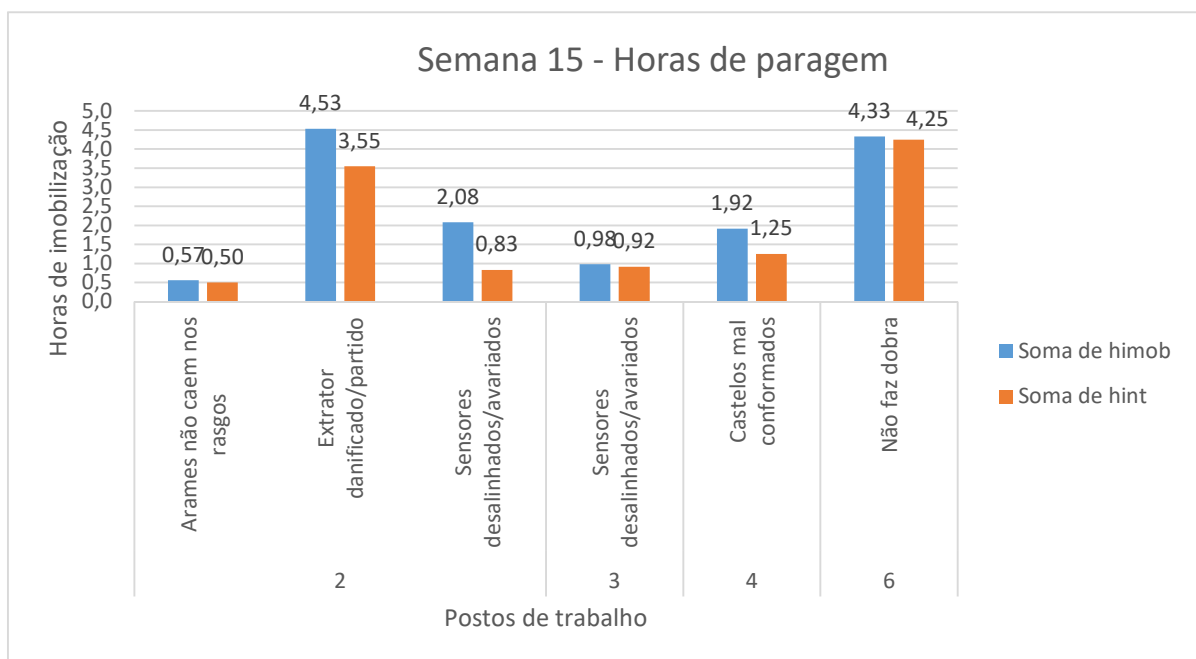


Figura 34 - Semana 15 - Horas de paragem da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage*. Fonte: Elaborado pelo autor (2017). Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Observa-se pela Figura 33 que nenhuma causa especial ocorreu no processo na semana 15, apenas causas normais, porém grande parte das falhas está associada ao posto da espinha. Considerando que a taxa de falhas é crescente no posto da espinha, e que a melhoria proposta para melhorar seu desempenho só será implementada na semana 18, não se pode colocar em causa a eficácia das duas melhorias gerais implementadas na linha.

### 3.9.2 ANÁLISE DOS POSTOS DE TRABALHO

Deseja-se analisar o impacto de cada posto de trabalho nas horas de paragem da linha de estudo, do período de 01/03/2017 até 18/06/2017. A Tabela 9 resume o número de falha ou pedidos de intervenção registrados no sistema de manutenção, e também, o total de horas de imobilização de cada posto.

Tabela 9 – Análise geral dos postos de trabalho da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage*.

| Posto                   | Número de falhas | Horas de imobilização | % imobilização |
|-------------------------|------------------|-----------------------|----------------|
| Posto da Espinha        | 81               | 91,23                 | 38,22          |
| Posto dos Agrafos       | 42               | 69,73                 | 29,21          |
| Posto de Enrolamento    | 24               | 30,73                 | 12,87          |
| <i>Transfer</i> /Pinças | 15               | 29,75                 | 12,46          |
| Posto Arame Lateral     | 6                | 8,73                  | 3,66           |
| Posto dos Castelos      | 4                | 7,98                  | 3,34           |
| Posto dos Ganchos       | 1                | 0,55                  | 0,23           |
| <b>Total Geral</b>      | <b>173</b>       | <b>238,72</b>         | <b>100</b>     |

Pela Tabela 9, observa-se que o posto da espinha continua sendo o posto crítico da linha, com 81 falhas totalizando 91 horas de imobilização da linha, representando 38,22% de todo o tempo de paragem para o período analisado. Nota-se também que o posto dos agrafos, com 42 falhas, e sendo responsável por 29,21% dos tempos de paragem da linha.

Seguidamente, analisa-se deseja-se analisar o impacto de cada posto de trabalho em relação as horas de paragem da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage*, para o período das últimas cinco semanas desse estudo, mais especificamente, as semanas de números 19, 20, 21, 22 e 23. Deseja-se analisar essas cinco semanas separadamente das demais, pois apenas nesse espaço de tempo temos as três ações de melhorias propostas, implementadas e operando na linha. Os resultados desta análise estão registrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Análise dos postos de trabalho após implementação das ações de melhorias.

| Posto                | Número de falhas | Horas de imobilização | % imobilização |
|----------------------|------------------|-----------------------|----------------|
| Posto da Espinha     | 37               | 38,50                 | 48,42          |
| Posto dos Agrafos    | 15               | 33,55                 | 42,19          |
| Posto de Enrolamento | 7                | 7,47                  | 9,39           |
| <b>Total Geral</b>   | <b>59</b>        | <b>79,52</b>          | <b>100</b>     |

Analisando os resultados da Tabela 10, identifica-se apenas registros de falhas nos postos da espinha, do enrolamento e dos agrafos no período das cinco semanas analisadas. Isso significa que os demais postos: do arame lateral, castelos, ganchos e o sistema *transfer* não falharam nesse período de tempo.



Ainda analisando os resultados da Tabela 10, nota-se que o posto da espinha ainda possui elevado número de falhas e é responsável por 48% das horas de paragem da linha dentro do período dos 45 dias analisados. Observa-se também que o posto dos agrafos, apesar de possuir apenas 15 eventos de falha, apresenta um elevado tempo de paragem, representando 42% das horas de indisponibilidade da linha de estudo.

A seguir, faz-se a análise individual de cada posto, para entender se os eventos de falhas registrados foram provocados por causas comuns (aleatórias) ou por causas especiais (desconhecidas), e se as ações de melhoria foram eficazes ou não.

### 3.9.2.1 Análise do Posto da Espinha

Para o posto da espinha identifica-se cinco grupos de falhas anteriormente citados. Os grupos de falha e os seus respectivos impactos na imobilização da linha estão resumidos na Tabela 11.

Tabela 11 - Falhas no posto da espinha após a implementação das ações de melhoria.

| Posto da Espinha                | Número de falhas | Horas de imobilização | % imobilização |
|---------------------------------|------------------|-----------------------|----------------|
| Extrator danificado/partido     | 21               | 22,17                 | 57,58          |
| Arames encravados na gaveta     | 6                | 7,98                  | 20,73          |
| Arames não caem nos rasgos      | 6                | 5                     | 12,99          |
| Sensores desalinhados/avariados | 3                | 2,83                  | 7,35           |
| Não corta tubo                  | 1                | 0,52                  | 1,35           |
| <b>Total Geral</b>              | <b>37</b>        | <b>38,5</b>           | <b>100</b>     |

Observa-se que o grupo “Extrator danificado/partido” continua, sendo a categoria de falha de maior impacto no posto da espinha. Apesar do número de falhas dos grupos “Arames encravados na gaveta” e “Arames não caem nos rasgos” terem reduzido, esperava-se que com o novo conjunto de réguas e línguas, estes grupos de problemas e o grupo “Extrator danificado/partido” fossem totalmente eliminados.

Por isso, fez-se uma investigação sobre os eventos de falha desses três grupos para o período após implementação das novas réguas e línguas, para entender os altos tempos de imobilização, mais especificamente nas semanas 19, 20, 21, 22 e 23.

Identificou-se que, no período selecionado, foram aplicados na linha muitos arames com rebarba. A chegada do arame com rebarba é um fator externo ao processo, que foi identificado como um fator pouco provável, porém possível de acontecer, no diagrama causa-efeito elaborado no tópico 3.4.

A rebarba no arame, dificulta o correto posicionamento dos arames nos rasgos, provocando muitas vezes o seu encravamento no carregador, e que pode levar a posterior fratura do extrator. Além disso, a rebarba no arame pode tornar deficiente a perfuração do tubo, fazendo com que os arames não entrem no tubo, ou entrem de forma incorreta. A Figura 34 ilustra como é a rebarba no arame, com um exemplo real

retirado da própria linha de produção. O diâmetro especificado para o arame que deve ser utilizado na linha é de 2 mm, com uma tolerância de  $\pm 0,025$  mm, sendo que na Figura 35 o arame possui diâmetro de 2,3 mm.



Figura 35 - Arame com rebarba. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A rebarba no arame impactou negativamente o resultado da aplicação das novas régua e línguas no carregador, já que este fator induziu a falha dos mesmos modos de falha que se desejava eliminar. Por isso, é provável que os elevados tempos de imobilização do posto 2 se devam à presença de rebarba no arame, a qual veio a contribuir para manter elevada a indisponibilidade da linha.

Sendo assim, não podemos avaliar a implementação das novas peças com um resultado insatisfatório, considerando que os resultados foram afetados por um fator externo, arame com rebarba.

### 3.9.2.2 Análise do Posto Enrolamento

Para o posto enrolamento aponta-se três grupos de falhas, sendo dois deles de falhas comuns ao processo, ou seja, conhecidas e aleatórias, e um de falha especial. O grupo de falha especial identificado foi o “Suporte danificado”. Os resultados dessa análise estão disponíveis na Tabela 12.

Tabela 12 - Falhas no posto de enrolamento após a implementação das acções de melhoria.

| Posto de Enrolamento | Número de falhas | Horas de imobilização | % imobilização |
|----------------------|------------------|-----------------------|----------------|
| Não faz dobra        | 4                | 4,68                  | 62,74          |
| Enrolamento nok      | 2                | 2                     | 26,80          |
| Suporte danificado   | 1                | 0,78                  | 10,46          |
| <b>Total Geral</b>   | <b>7</b>         | <b>7,46</b>           | <b>100</b>     |

### 3.9.2.3 Análise do Posto dos Agrafos

Para o posto dos agrafos, identificou-se cinco grupos de falhas. Os grupos de falha e os seus respectivos impactos na imobilização da linha estão resumidos na Tabela 13.

Tabela 13 - Falhas no posto dos agrafos após a implementação das ações de melhoria.

| Posto dos Agrafos               | Número de falhas | Horas de imobilização | % imobilização |
|---------------------------------|------------------|-----------------------|----------------|
| Agrafos soltos                  | 3                | 14,6                  | 43,53          |
| Não faz dobra                   | 5                | 10,08                 | 30,05          |
| Guia da grelha solta/partida    | 3                | 5,75                  | 17,14          |
| Sensores desalinhados/avariados | 3                | 2,77                  | 8,24           |
| Fuga de ar                      | 1                | 0,35                  | 1,04           |
| <b>Total Geral</b>              | <b>15</b>        | <b>33,55</b>          | <b>100</b>     |

Observa-se que os grupos “Agrafos soltos” e “Não faz dobras” são os que possuem maiores impactos na imobilização da linha, representando 43% e 30% respectivamente. Nota-se também algumas falhas provocadas por desafinações, como “Sensores desalinhados/avariados” e “Guia da grelha solta/partida”.

### 3.10 ANÁLISE DA FIABILIDADE APÓS APLICAÇÃO DE MELHORIAS

Para analisar os resultados das melhorias implementadas, aplicou-se novamente o teste de Laplace bilateral aos dados obtidos referente ao período de 45 dias, considerando que todas as ações de melhoria já estavam atuantes no processo. O teste de Laplace foi aplicado novamente, pois as ações de melhoria podem alterar a forma como as falhas acontecem e se propagam no sistema.

Utilizando as mesmas hipóteses da análise anterior, sendo a hipótese nula  $H_0$ , a taxa de falhas constante, e a hipótese alternativa  $H_1$ , a taxa de falhas não constante ou com tendência. Pela estatística de teste limitada pelo tempo, onde  $T_0=45$  dias, obteve-se os resultados expressos pela Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados do teste de Laplace após implementação das ações melhorias.

| Posto | $U_{obs}$ | Taxa      |
|-------|-----------|-----------|
| 2     | 0,276     | Constante |
| 3     | -0,629    | Constante |
| 6     | 0,651     | Constante |

Note que apenas os postos 2, 3 e 6 foram testados. Isso ocorre pois no período dos 45 dias analisados, os postos de número 1, 4, 5 e 7 (representando o sistema de *transfer*) não falharam.

Considerando a região crítica com  $\alpha=5\%$ ,

$$RC = ]-\infty, -1,96[ \cup ]1,96, +\infty[ \quad (35)$$



observa-se que os postos 2, 3 e 6 possuem a taxa de ocorrência de falhas constante, já que os valores obtidos para o  $U_{\text{observado}}$  não se encontram na região crítica. Voltando ao teste de Laplace anterior à aplicação das ações de melhoria, vemos que os postos 2, 3 e 6 possuíam uma taxa de falhas não constante, e que essa característica se modificou após a implementação das ações de melhoria.

Identificando as taxas de ocorrência de falhas  $h(t)$  dos postos 2, 3 e 6 como taxas constantes, deseja-se descobrir os valores para os indicadores da fiabilidade e manutenção. Os indicadores de fiabilidade e manutenção foram obtidos através da aplicação dos dados nas equações 30, 17, 19 e 20 apresentadas no capítulo 2.

Os resultados dos indicadores de fiabilidade e desempenho de manutenção (MTBF, MTTR, Disponibilidade e Indisponibilidade) podem ser observados pela Tabela 15. Os valores dos indicadores MTBF, MTTR e da taxa de falhas  $h$  são dados em dias.

Tabela 15 - Resultados dos indicadores da fiabilidade e manutenção da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage*.

| Posto | MTBF  | MTTR | Disponibilidade | Indisponibilidade | $h$  |
|-------|-------|------|-----------------|-------------------|------|
| 2     | 1,95  | 0,03 | 98,36%          | 1,64%             | 0,51 |
| 3     | 20,09 | 0,03 | 99,87%          | 0,13%             | 0,05 |
| 6     | 4,87  | 0,06 | 98,70%          | 1,30%             | 0,21 |

Considerando que a tendência da taxa de falha mudou nos postos analisados, e que agora, elas se tornaram constantes, utilizou-se métodos empíricos para o cálculo dos indicadores definidos. Sendo assim, é incorreto e desaconselhável comparar os valores obtidos para  $h$  e o MTBF, com os valores obtidos pelo método para taxas de falha não constante, já que antes, eles eram funções que variavam no tempo.

No entanto, a variação da tendência crescente do número de falhas, para uma taxa de falhas constante no tempo, é uma forte indicação de que a taxa de falhas diminuiu para os três postos, já que o MTBF também aumentou. Esses resultados significam maiores tempos de bom funcionamento dos postos de trabalho. Os valores do MTBF terem aumentado é um resultado satisfatório para este estudo, pois as ações de melhoria visavam a diminuição dos eventos de falha e aumento da disponibilidade da linha.

O indicador MTTR obtido pode ser comparado com os resultados anteriores à implementação das melhorias, já que este é calculado da mesma forma para taxas constantes e não constantes. Nota-se que os valores do MTTR apresentaram melhorias significativas. Comparados com os índices anteriores, temos uma diminuição de 57% do MTTR do posto 2, e de 25% dos postos 3 e 6. Os menores valores do MTTR, ou seja, a diminuição do tempo de reparação das falhas, implica em menores impactos das ações corretivas na produção, evidenciando uma melhora no desempenho das atividades de manutenção. A melhora do desempenho da manutenção pode ser explicada pela aplicação e utilização das Lições Aprendidas. As Lições Aprendidas auxiliam a

identificação mais eficaz das causas dos problemas e propõem soluções para eles, minimizando os tempos de reparação dos postos.

Sabendo que o objetivo deste projeto é reduzir os eventos de falha e melhorar a disponibilidade dos postos de trabalho da linha de montagem *suspension mat 3 lordose/massage*, analisa-se os resultados obtidos para a disponibilidade e também a indisponibilidade da linha. Nota-se um aumento de 2,62% da disponibilidade no posto 2, 0,65% no posto 3 e de 2,17% no posto 6. É importante ressaltar que os postos 2 e 6 possuíam as piores disponibilidades da linha, 95,85% e 96,60%, respectivamente, e que o posto 3 já possuía elevado valor para a disponibilidade, 99,13%.

Apesar do valor pouco expressivo para a melhora da disponibilidade nos três postos analisados, é preciso avaliá-lo sob o ponto de vista produtivo, já que se deseja aumentar a disponibilidade visando o aumento dos períodos de produção. Considerando que a linha deve trabalhar 24 horas por dia, que os eventos de falhas nos postos são independentes e que uma peça é capaz de ser produzida a cada 13 segundos, aumentar 2,62% a disponibilidade do posto 2, implica um incremento na produção de aproximadamente, 174 peças no final do dia. Utilizando o mesmo raciocínio para os postos 6 e 3, aumentar 2,17% e 0,65% na sua disponibilidade, significa a capacidade de produzir, aproximadamente, 144 e 43 peças a mais por dia, do que era produzido antes do desenvolvimento desse estudo.

Sob o ponto de vista da produtividade da linha, o presente estudo apresentou resultados satisfatórios para as ações de melhorias implementadas, dado as condições operacionais existentes e o pouco tempo disponível para a verificação e análise dos resultados.

# CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES GERAIS

4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS



## 4 CONCLUSÕES

Este capítulo final deseja enunciar as conclusões pertinentes ao trabalho realizado, retratando de forma abrangente os resultados obtidos, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

### 4.1 CONCLUSÕES GERAIS

É consensual afirmar que a etapa de identificar oportunidades de melhoria em uma análise de otimização e melhoramento do processo é a mais difícil de todas, já que nem sempre elas são óbvias e fáceis de identificar. Este trabalho realizou uma avaliação global da linha em estudo, utilizando históricos da manutenção e paragens do equipamento, e recorreu a várias técnicas, como: diagrama de causa-efeito, a análise de risco FMEA e a análise da fiabilidade, para auxiliar a escolha da acção de melhoria ideal.

Considerando as condições de trabalho e realidade da empresa, este trabalho, identificou ações simples, a alteração da estratégia de *set up* e atualização das Lições Aprendidas, como alternativas para promover melhorias na produtividade e aumentar a disponibilidade da linha. A verdade é que essas não eram as acções ideais, e nem as únicas acções que deveriam ter sido tomadas, mas eram as acções possíveis de serem implementadas, naquele momento.

Tendo em consideração a análise da fiabilidade dos postos de trabalho da linha em estudo, obteve-se que o teste de Laplace feito antes da aplicação das acções de melhoria apontou uma taxa de falhas constante para os posto 1 e 5, e taxa crescente para os postos 2, 3, 4, 6 e 7, e após a aplicação das melhorias, verificou-se que a taxa de falhas nos posto 2, 3 e 6 tinha se tornado constante, e que os posto 1, 4, 5 e 7 não falharam no período analisado.

A taxa de falhas ter passado de crescente para constante e o aumento do MTBF, indica que as falhas estão diminuindo e que a causa raiz que antes provocava a tendência crescente das falhas, foi eliminada, devido as acções de melhoria implementadas. Lembrando que no período das últimas cinco semanas analisadas, obtivemos zero ocorrência de falhas para os outros postos de trabalho, podemos inferir que a taxa de falhas da linha diminuiu de uma forma globalizada.

Dado que o tempo para análise dos resultados foi muito curto (45 dias), para uma maior confiança dos dados, seria necessário alargar o período de observação dos resultados, para identificarmos como as falhas realmente acontecem no sistema.

Considerando a melhoria da disponibilidade dos postos, sob o ponto de vista produtivo, concluímos que as acções simples implementadas, permitiram uma maior produtividade da linha de estudo.

Sendo assim, considerando a redução global da taxa de falhas e a maior produtividade da linha, o presente trabalho atingiu a sua proposta inicial de identificar, monitorar e

diminuir o número de falhas na operação da linha e aumentar os seus períodos de produtividade.

## 4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Atendendo ao trabalho realizado, poderão surgir como propostas de trabalhos futuros a aplicação e desenvolvimento da mesma metodologia às demais linhas de produção da área de negócios Sistemas de Conforto, que fabricam sistemas lombares de encosto para automóveis.

Dado que muitos dos eventos de falha identificados na linha de estudo poderiam ter sido evitados se um plano simples de manutenção preventiva fosse realizado, garantindo a limpeza e a afinação correta da linha, esta torna-se uma proposta interessante de estudo, ou seja, a elaboração de um plano de manutenção preventiva semanal, para diminuir ainda mais os tempos de indisponibilidade. Outra sugestão de acção de melhoria que pode ser testada em um trabalho futuro, é a formação e treinamento da equipa de manutenção responsável pelos *set ups* e afinações da linha, de forma a garantir a padronização e maior eficiência nesse quesito.

Considerando que este trabalho desenvolveu uma abordagem para a solução do problema de desgaste produzido pelo atrito dos arames nas réguas, outra sugestão de trabalho futuro seria uma abordagem sobre as vibrações e desbalanceamentos presentes no sistema que impactam negativamente o seu funcionamento.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES  
DE INFORMAÇÃO**





## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

ABRAMAN – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. A SITUAÇÃO DA MANUTENÇÃO NO BRASIL. IN: 28º CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO. DOCUMENTO NACIONAL, SALVADOR, BAHIA, 2013.

AFNOR, MAINTENANCE INDUSTRIELLE. PARIS. 1998.

AGUIAR, D.C. AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PREVENÇÃO DE FALHAS EM PROCESSOS DE MANUFATURA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA COM METODOLOGIA DE AUXÍLIO À DECISÃO. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA) – FACULDADE DE ENGENHARIA DO CAMPUS DE GUARATINGUETÁ, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, GUARATINGUETÁ, SP, 2007.

ALMEIDA, MÁRCIO TADEU. MANUTENÇÃO PREDITIVA: CONFIABILIDADE E QUALIDADE. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO. ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ. 2005.

ARAÚJO, IGOR MATHEUS; CÂMARA, JOÃO MARIA. MANUTENÇÃO PREDITIVA E DETECTIVA. O SETOR ELÉTRICO. 2010. DISPONÍVEL EM: [WWW.OSETORELETRICO.COM.BR](http://WWW.OSETORELETRICO.COM.BR) ACESSO EM 20 DE ABRIL DE 2017.

ÁVILA, P.; ISMAEL C.; AFONSO FERNANDES, A.; FERREIA, A. METODOLOGIA DE ANÁLISE DO FLUXO DE PROCESSO E SUA APLICAÇÃO. SANTARÉM, EM *PROCEEDINGS* DAS JORNADAS DE INVESTIGAÇÃO NO ENSINO SUPERIOR POLITÉCNICO. 1999.

BASTOS, ANDRÉ LUIS ALMEIDA. FMEA (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS) COMO FERRAMENTA DE PREVENÇÃO DA QUALIDADE EM PRODUTOS E PROCESSOS – UMA AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO EM UM PROCESSO PRODUTIVO DE USINAGEM DE ENGRENAGEM. IN: XXVI ENEGEP - FORTALEZA, CE, BRASIL, 9 A 11 DE OUTUBRO DE 2006.

BRAND. ET AL. AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA COMO FERRAMENTA PARA REDUZIR IMPACTOS AMBIENTAIS NO PROCESSO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL. REVISTA ELETRÔNICA EM GESTÃO, EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL. V10, nº 10, p. 2081-2090, 2013.

BRITO, MÁRIO. MANUTENÇÃO. MANUAL PEDAGÓGICO PRONACI. AEP – ASSOCIAÇÃO EMPRESARIAL PORTUGAL. 2003.

BRITTO, RICARDO PITELLI; PEREIRA, MARCIO ADÃO. MANUTENÇÃO AUTÔNOMA: ESTUDO DE CASO EM EMPRESA DE PORTE MÉDIO DO SETOR DE BEBIDAS. RELATO DE EXPERIÊNCIAS. VII SEME AD. SÃO PAULO, 2003.

BEN-DAYA, MOHAMED. ET AL. HANDBOOK OF MAINTENANCE MANAGEMENT AND ENGINEERING. SPRING. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. 2009.

BERTOLINE, M.; BEVILACQUA, M.; BRAGLIA, M.; FROSOLINI, M. AN ANALYTICAL METHOD FOR MAINTENANCE OUTSOURCING SERVICE SELECTION. *INTERNATIONAL JOURNAL OF QUALITY & RELIABILITY MANAGEMENT*. VOL. 21 ISS 7 PP. 772 - 288. ITÁLIA, 2004.

BEVILACQUA, M.; BRAGLIA, M. *THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS APPLIED TO MAINTENANCE STRATEGY SELECTION. RELIABILITY ENGINEERING AND SYSTEM SAFETY*. 71-83. ITÁLIA, 2000.

BIROLINI, ALESSANDRO. *RELIABILITY ENGINEERING – THEORY AND PRACTICE*. 5 EDIÇÃO. SPRINGER. ITÁLIA, 2007.

DHILLON, B.S. *ENGINEERING MAINTENANCE: A MODERN APPROACH. ENGINEERING*. CRC PRESS LLC. FLORIDA, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. 2003.

DHILLON, B. S. *RELIABILITY, QUALITY AND SAFETY FOR ENGINEERS*. CRC PRESS LLC. FLORIDA, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. 2005.

DYADEM ENGINEERING CORPORATION, *GUIDELINES FOR FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS FOR AUTOMOTIVE, AEROSPACE AND GENERAL MANUFACTURING INDUSTRIES*. CRC PRESS. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. 2003.

ETI, M. C., OGAJI, S. O. T., & PROBERT, S. D. *REDUCING THE COST OF PREVENTIVE MAINTENANCE (PM) THROUGH ADOPTING A PROACTIVE RELIABILITY-FOCUSED CULTURE. APPLIED ENERGY*, 83, 1235–1248, 2006.

FERREIRA, LUÍS ANDRADE. *ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS INDUSTRIAIS*. 1º ENCONTRO LUSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO. PORTO, 2003.

FICOCABLES, LDA. *MANUAL DE ACOLHIMENTO*. 2012.

FICOSA, INTERNACIONAL. DISPONÍVEL EM: <https://www.ficosa.com/company/ficosa-corporation>. ACESSADO EM:01/07/2017.

GONÇALVES, JOÃO DE PINA. *ANÁLISE DE FIABILIDADE DE MÁQUINAS DE SOLDAR POR FEIXE DE ELECTRÕES – UM CASO DE ESTUDO*. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL PELA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO (FEUP). PORTO, 2006.

HIGGINS, LINDLDLEY R. *MAINTENANCE ENGINEERING HANDBOOK*. MCGRAWHIL, 5 ED, 1995.

JORGE, CARLOS ANDRÉ SILVEIRA. *ESTUDO DA FIABILIDADE DE RUBBER TYRED GANTRY*. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL. FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA. LISBOA, 2011.

KARDEC, A.; FLORES, J.; SEIXAS, E. *GESTÃO ESTRATÉGICA E INDICADORES DE DESEMPENHO*. MANUTENÇÃO COLEÇÃO. QUALITYMARK EDITORA. RIO DE JANEIRO, BRASIL. 2002.

KHANLARI, AMIR; MOHAMMADI, KAVEH; SOHRABI, BABAK. *PRIORITIZING EQUIPMENTS FOR PREVENTIVE MAINTENANCE (PM) ACTIVITIES USING FUZZY RULES. SCIENCE DIRECT*. TEHRAN, IRAN, 2007.

KOBBACY, KHAIRY A. H.; MURTHY D. N. PRABHAKAR. *COMPLEX SYSTEM MAINTENANCE HANDBOOK. SPRINGER SERIES IN RELIABILITY ENGINEERING*. LONDRES, 2008.

LIMA, JOSÉ RICARDO TAVARES; SANTOS, ALEX ALISSON BANDEIRA; SAMPAIO, RENELSON RIBEIRO. SISTEMAS DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO – UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA VISANDO ESTABELECE CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE MATURIDADE. IN: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. SÃO CARLOS, SP, 2010.

MARCORIN, WILSON ROBERTO; LIMA, CARLOS ROBERTO CAMELLO. ANÁLISE DE CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS PRODUTIVOS. REVISTA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. V. 11, Nº22 – PP. 35-42. 2003.

MÁRQUEZ, A. CRESPO ET AL. *THE MAINTENANCE MANAGEMENT FRAMEWORK: A PRACTICAL VIEW TO MAINTENANCE MANAGEMENT. JOURNAL OF QUALITY IN MAINTENANCE ENGINEERING.* VOL. 15 ISS 2 PP. 167-178. SEVILHA, ESPANHA, 2009.

MÁRQUEZ, ADOLFO CRESPO. *THE MAINTENANCE MANAGEMENT FRAMEWORK: MODELS AND METHODS FOR COMPLEX SYSTEMS MAINTENANCE.* SPRINGER. 2007.

MCDERMOTT, ROBIN E.; MIKULAK, RAYMOND J.; BEAUREGARD, MICHAEL R. *THE BASICS OF FMEA.* 2 EDIÇÃO. CRC PRESS. NOVA YORK, 2009.

MOBLEY, R. KEITH. *MAINTENANCE FUNDAMENTALS. 2 ED ELSEVIER INC.* ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2004.

MOCHO, FRANCISCO MANUEL HORTA. FIABILIDADE E GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS PORTUÁRIOS. DISSERTAÇÃO DE Mestrado APRESENTADA NA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA, EM ENGENHARIA DE GESTÃO INDUSTRIAL, NA ESPECIALIDADE DE FIABILIDADE E GESTÃO DA MANUTENÇÃO. LISBOA, PORTUGAL, 2009.

MOUBRAY, JOHN. *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE.* 1997.

MORRIS, MARK. *FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS BASED ON FMEA 4TH EDITION. ASQ AUTOMOTIVE DIVISION WEBINAR.* M AND M CONSULTING. 2011.

MURTHY, D. N. P.; ATRENS, A.; ECCLESTON, J. A. *STRATEGIC MAINTENANCE MANAGEMENT. JOURNAL OF QUALITY IN MAINTENANCE ENGINEERING.* VOL. 8 ISS 4 PP. 287-305. NORUEGA, 2002.

PALADY, PAUL. *FMEA: ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS.* SÃO PAULO: IMAN, 2002.

PARIDA, ADITYA ET AL. *PERFORMANCE MEASUREMENT AND MANAGEMENT FOR MAINTENANCE: A LITERATURE REVIEW. JOURNAL OF QUALITY IN MAINTENANCE ENGINEERING.* VOL. 21 ISS 1 PP. 2-33. LULEA, SUÉCIA, 2015.

PRABHAKAR DEEPAK; RAJ JAGATHY. *CBM, TPM, RCM AND A-RCM – A QUALITATIVE COMPARISON OF MAINTENANCE MANAGEMENT STRATEGIES. INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT & BUSINESS STUDIES.* INDIA, 2014.

PEINADO, JURANDIR; GRAEML ALEXANDRE REIS. ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO (OPERAÇÕES INDUSTRIAIS E SERVIÇOS). CENTRO UNIVERSITÁRIO POSITIVO - UNICENP. CURITIBA, 2007. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://ISSUU.COM/JURANDIR\\_PEINADO/DOCS/LIVRO2FOLHAS/360](http://ISSUU.COM/JURANDIR_PEINADO/DOCS/LIVRO2FOLHAS/360)>. ACESSO EM: 10 DE NOVEMBRO DE 2016.

PEREIRA, FILIPE JOSÉ DIDELET. MODELOS DE FIABILIDADE EM EQUIPAMENTOS MECÂNICOS. TESE DE DOUTORADO EM ENGENHARIA MECÂNICA. FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO. PORTO, 1996.

PIEIDADE, VANDA. MANUTENÇÃO CENTRADA EM FIABILIDADE – MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. INSTITUTO POLITÉCNICO DE SETÚBAL – IPS. SETÚBAL, 2012.

RAMOS, H.A; CHAVES, C.A; BRANDALISE, N. APLICAÇÃO DO MÉTODO FMEA NO PROCESSO DE CLIMATIZAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA. IN: IX SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA – IXSEGET, 2012.

RAMOS, SANDRA. DISPOSITIVOS PARA AS AULAS TEÓRICAS DA UNIDADE CURRICULAR FIABILIDADE E MANUTENÇÃO. PORTO. 2017.

REITER, DALE. *MAINTENANCE MANAGERS IN THE PURSUIT OF WORLD-CLASS PERFORMANCE. BUSINESS INDUSTRIAL NETWORK*. SAINT LOUIS, 2015.

RODRIGUES, DIEGO MONDADORI ET AL. ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA POTENCIAL –FMEA. APOSTILA E TABELAS RECOMENDADAS PARA SEVERIDADE, OCORRÊNCIA E DETECÇÃO. SENAI. SÃO LEOPOLDO, SP, 2010.

SALERNO, MARIO SERGIO; AULICINO, MARCELO CRESCENTI. ENGENHARIA, MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO EM PROCESSOS CONTÍNUOS: ELEMENTOS PARA O PROJETO DE FRONTEIRAS ORGANIZACIONAIS MÓVEIS E INTERPENETRANTES. *GEST. PROD.*, SÃO CARLOS, v. 15, n. 2, p. 337-349, 2008.

SELLITO, MIGUEL AFONSO; FACHINI, SILMAR JOSÉ. ANÁLISE ESTRATÉGICA DA GESTÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL DE UMA EMPRESA DE METAL-MECÂNICA. *E-TECH: TECNOLOGIAS PARA COMPETITIVIDADE INDUSTRIAL*, FLORIANÓPOLIS, VOL. 7, N.1, 2014.

DA SILVA, SHEILA SERAFIM; DE OLIVEIRA, UALISON REBULA; MURILO ALVARENGA. GESTÃO DO DESEMPENHO INTEGRADO BALANCED SCORECARD E FMEA: UMA APLICAÇÃO NO LABORATÓRIO DE GESTÃO. *REVISTA BRASILEIRA DE ADMINISTRAÇÃO CIENTÍFICA*. SUSTERENE PUBLISHIN Co. 2014.

SINGPURWALLA, NOZER D. *RELIABILITY AND RISK. A BAYESIAN PERSPECTIVE*. ESTADOS UNIDOS DA AMERICA, 2006.

SMITH, RICKY; MOBLEY R. KEITH. *INDUSTRIAL MACHINERY REPAIR: BEST MAINTENANCE PRACTICES POCKET GUIDE*. ELSEVIER SCIENCE. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. 2003.

SONDALINI, MIKE. *THE COST OF MAINTENANCE DESTROYS YOUR CAPITAL-INVESTMENT RETURNS. EBOOK DEFECT AND FAILURE TRUE COSTING*. 2000.

SORTRAKUL, N., NACHTMANN, H. L., & CASSADY, C. R. *GENETIC ALGORITHMS FOR INTEGRATED PREVENTIVE MAINTENANCE PLANNING AND PRODUCTION SCHEDULING FOR A SINGLE MACHINE. COMPUTERS IN INDUSTRY*. VOL. 56, 161–168, 2005.

SOUZA, RODRIGO DE QUEIROZ. *METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA VISANDO À MELHORIA DA CONFIABILIDADE DE ATIVOS NAS USINAS HIDRELÉTRICAS. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM SISTEMAS MECATRÔNICOS. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. BRASÍLIA, 2008.*

TOLEDO, JOSÉ CARLOS DE; AMARAL, DANIEL CAPALDO. *FMEA: ANÁLISE DO TIPO E EFEITO DE FALHA. DISPONÍVEL EM: < HTTP://WWW.GEPEQ.DEP.UFSCAR.BR/ARQUIVOS/FMEA-APOSTILA.PDF >. ACESSO EM: 28 JULHO DE 2016.*

TSANG, A. H. C. *STRATEGIC DIMENSIONS OF MAINTENANCE MANAGEMENT. JOURNAL OF QUALITY IN MAINTENANCE ENGINEERING*. VOL. 8(1), 7–39, 2002.

VIANA, HERBERT RICARDO GARCIA. *PCM: PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO. QUALITYMARK*. 2014.

ZAIONS, DOUGLAS ROBERTO. *CONSOLIDAÇÃO DA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UMA PLANTA DE CELULOSE E PAPEL. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. PORTO ALEGRE, 2003.*

ZORZAN, FLÁVIO; DORNELES, LEANDRO; SERVAT, MARCOS EDUARDO; PEREIRA, ELIRA OLIVEIRA; POLACINSKI, EDIO. *FMEA: ORIENTAÇÕES CONCEITUAIS PARA A APLICAÇÃO DE UMA FERRAMENTA DE ANTECIPAÇÃO DE FALHAS. IN: 3ª SIEF - SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR. HORIZONTINA, RS, 2013.*

WENDLAND, LEONARDO SCHEIBNER; TAUCHEN, JOEL. *GESTÃO ESTRATÉGICA DA MANUTENÇÃO. IN: 1ª SAEP - SEMANA ACADÊMICA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA FAHOR. HORIZONTINA, RS, 2010.*



# ANEXOS

6.1 TABELAS UTILIZADAS NA ANÁLISE FMEA

6.2 DADOS PARA A ANÁLISE DA FIABILIDADE





## 6 ANEXOS

O capítulo dos anexos apresenta todo o material de base utilizado na etapa do desenvolvimento dessa dissertação. Os anexos utilizados estão devidamente referenciado no texto.

### 6.1 TABELAS UTILIZADAS NA ANÁLISE FMEA

#### 6.1.1 ÍNDICE DE SEVERIDADE

| <b>Effect</b>             | <b>Rank</b> | <b>Criteria</b>   |
|---------------------------|-------------|---|
| None                      | 1           | Process parameter variability within specification limits. Adjustment or process controls can be done during normal maintenance.  |
| Very Minor                | 2           | Process parameter variability not within specification limits. Adjustment or other process controls need to be taken during production. No downtime and no production of defective parts. |
| Minor                     | 3           | Downtime of up to 10 minutes but no production of defective parts.  |
| Very Low                  | 4           | Downtime of between 10 and 30 minutes but no production of defective parts.   |
| Low                       | 5           | Downtime of between 30 minutes and 1 hour or the production of defective parts for up to 1 hour.  |
| Moderate                  | 6           | Downtime of between 1 and 4 hours or the production of defective parts for between 1 and 2 hours.   |
| High                      | 7           | Downtime of between 4 and 8 hours or the production of defective parts for more than 4 hours.   |
| Very High                 | 8           | Downtime of more than 8 hours or the production of defective parts for more than 4 hours.   |
| Hazardous—With Warning    | 9           | High severity ranking—affects operator, plant or maintenance personnel and safety and/or affects non-compliance with government regulations with warning.                                 |
| Hazardous—Without Warning | 10          | Very high severity ranking—affects operator, plant or maintenance personnel and safety and/or affects non-compliance with government regulations without warning.                         |

Figura 36 - Critérios Genéricos para Avaliação da Severidade no MFMEA (escala qualitativa). Fonte: Guidelines for failure mode and effect analysis for automotive, aerospace and general manufacturing industries (2003).

## 6.1.2 ÍNDICE DE OCORRÊNCIA

| Rank                          | Occurrence | Criteria: Possible Number of Failures within Hours of Operation | Criteria: The Reliability Based on the User's Required Time        |
|-------------------------------|------------|---|--|
| Failure Occurs every 5 Years  | 1          | 1 in 25,000   | R(t)=98 %: MTBF is 50 times greater than the User's required time. |
| Failure Occurs every 2 Years  | 2          | 1 in 10,000   | R(t)=95 %: MTBF is 20 times greater than the User's required time. |
| Failure Occurs every Year     | 3          | 1 in 5,000  | R(t)=90 %: MTBF is 10 times greater than the User's required time. |
| Failure Occurs every 6 Months | 4          | 1 in 2,500  | R(t)=85 %: MTBF is 6 times greater than the User's required time.  |
| Failure Occurs every 3 Months | 5          | 1 in 1,000  | R(t)=78 %: MTBF is 4 times greater than the User's required time.  |
| Failure Occurs every Month    | 6          | 1 in 350  | R(t)=60 %: MTBF is 2 times greater than the User's required time.  |
| Failure Occurs every Week     | 7          | 1 in 80   | R(t)=37 %: MTBF is equal to the User's required time.              |
| Failure Occurs every Day      | 8          | 1 in 24   | R(t)=20 %: MTBF is about 60% of the User's required time.          |
| Failure Occurs every Shift    | 9          | 1 in 8  | R(t)=5 %: MTBF is about 30% of the User's required time.           |
| Failure Occurs every Hour     | 10         | 1 in 1  | R(t)<1 %: MTBF is about 10% of the User's required time.           |

Figura 37 - Critérios Genéricos para Avaliação da Ocorrência no MFMEA (escala qualitativa). Fonte: Guidelines for failure mode and effect analysis for automotive, aerospace and general manufacturing industries (2003).

### 6.1.3 ÍNDICE DE DETECÇÃO

| <b>Detection</b>           | <b>Rank</b> | <b>Criteria</b>   |
|----------------------------|-------------|---|
| Almost Certain             | 1           | Design controls almost certain to detect a potential cause and subsequent failure mode. Machinery controls not required.  |
| Very High                  | 2           | Very high chance that designs controls will detect a potential cause and subsequent failure mode. Machinery controls may not be required.                                     |
| High                       | 3           | High chance that design controls will detect a potential cause and subsequent failure mode. Machinery controls will prevent an imminent failure and isolate the cause.        |
| Moderately High Likelihood | 4           | Moderately high chance that design controls will detect a potential cause and subsequent failure mode. Machinery controls will prevent imminent failure.                      |
| Medium Likelihood          | 5           | Medium chance that design controls will detect a potential cause and subsequent failure mode. Machinery controls will prevent imminent failure.                               |
| Moderately Low Likelihood  | 6           | Low chance that design or machinery controls will detect a potential cause and subsequent failure mode. Machinery controls will provide an indicator of imminent failure.     |
| Low Likelihood             | 7           | Design or machinery controls do not prevent the failure from occurring. Machinery controls will isolate the cause and subsequent failure mode after the failure has occurred. |
| Very Low Likelihood        | 8           | Remote chance that design or machinery controls will detect a potential cause and subsequent failure mode. Machinery controls will provide indication of failure.             |
| Remote Likelihood          | 9           | Very remote chance that design or machinery controls will detect a potential cause and subsequent failure mode.   |
| Extremely Unlikely         | 10          | Design or machinery controls cannot detect a potential cause and subsequent failure, or there are no design or machinery controls.  |

Figura 38 - Critérios Genéricos para Avaliação da Detecção no MFMEA (escala qualitativa). Fonte: Guidelines for failure mode and effect analysis for automotive, aerospace and general manufacturing industries (2003).

## 6.2 DADOS PARA A ANÁLISE DA FIABILIDADE

### 6.2.1 Dados Posto 2

Tabela 16 – Análise dos tempos no Posto 2.

| <b>Posto</b> | <b>i</b> | <b>Ti</b> | <b>Tri</b> | <b>Tbi</b> |
|--------------|----------|-----------|------------|------------|
| 2            | 1        | 5,74      | 0,05       | 0,42       |
| 2            | 2        | 6,22      | 0,11       | 0,19       |
| 2            | 3        | 6,52      | 0,06       | 1,75       |
| 2            | 4        | 8,32      | 0,14       | 0,08       |
| 2            | 5        | 8,54      | 0,04       | 10,72      |
| 2            | 6        | 19,30     | 0,10       | 8,15       |
| 2            | 7        | 27,55     | 0,08       | 0,74       |
| 2            | 8        | 28,38     | 0,08       | 7,10       |
| 2            | 9        | 35,56     | 0,03       | 8,18       |
| 2            | 10       | 43,76     | 0,07       | 0,02       |
| 2            | 11       | 43,86     | 0,05       | 3,85       |
| 2            | 12       | 47,75     | 0,12       | 0,66       |
| 2            | 13       | 48,54     | 0,03       | 0,86       |
| 2            | 14       | 49,43     | 0,05       | 4,45       |
| 2            | 15       | 53,93     | 0,12       | 0,01       |
| 2            | 16       | 54,05     | 0,12       | 0,85       |
| 2            | 17       | 55,02     | 0,09       | 7,64       |
| 2            | 18       | 62,75     | 0,08       | 4,52       |
| 2            | 19       | 67,35     | 0,12       | 1,97       |
| 2            | 20       | 69,44     | 0,27       | 0,36       |
| 2            | 21       | 70,07     | 0,05       | 5,10       |
| 2            | 22       | 75,23     | 0,08       | 1,33       |
| 2            | 23       | 76,64     | 0,07       | 0,03       |
| 2            | 24       | 76,74     | 0,11       | 1,19       |
| 2            | 25       | 78,05     | 0,08       | 4,26       |
| 2            | 26       | 82,40     | 0,02       | 0,06       |
| 2            | 27       | 82,48     | 0,05       | 6,45       |
| 2            | 28       | 88,98     | 0,04       | 7,62       |
| 2            | 29       | 96,64     | 0,01       | 0,88       |
| 2            | 30       | 97,54     | 0,04       | 9,48       |
| 2            | 31       | 107,06    | 0,05       | 0,01       |
| 2            | 32       | 107,12    | 0,09       | 16,63      |
| 2            | 33       | 123,84    | 0,07       | 3,74       |
| 2            | 34       | 127,65    | 0,14       | 3,04       |
| 2            | 35       | 130,83    | 0,05       | 1,72       |
| 2            | 36       | 132,60    | 0,06       | 5,10       |

---

|   |    |        |      |      |
|---|----|--------|------|------|
| 2 | 37 | 137,75 | 0,04 | 3,39 |
| 2 | 38 | 141,19 | 0,04 | 0,29 |
| 2 | 39 | 141,51 | 0,04 | 0,05 |
| 2 | 40 | 141,61 | 0,31 | 3,34 |
| 2 | 41 | 145,26 | 0,03 | 0,02 |
| 2 | 42 | 145,31 | 0,04 | 0,02 |
| 2 | 43 | 145,36 | 0,05 | 0,13 |
| 2 | 44 | 145,54 | 0,22 | 0,09 |
| 2 | 45 | 145,86 | 0,03 | 0,36 |
| 2 | 46 | 146,25 | 0,09 | 0,30 |
| 2 | 47 | 146,64 | 0,04 | 1,60 |
| 2 | 48 | 148,28 | 0,06 | 0,34 |
| 2 | 49 | 148,68 | 0,15 | 0,17 |
| 2 | 50 | 149,00 | 0,13 | 0,27 |
| 2 | 51 | 149,40 | 0,03 | 1,83 |
| 2 | 52 | 151,27 | 0,11 | 0,94 |
| 2 | 53 | 152,31 | 0,02 | 0,98 |
| 2 | 54 | 153,30 | 0,03 | 1,58 |
| 2 | 55 | 154,92 | 0,07 | 3,44 |
| 2 | 56 | 158,43 | 0,04 | 0,33 |
| 2 | 57 | 158,80 | 0,08 | 0,18 |
| 2 | 58 | 159,07 | 0,03 | 0,05 |
| 2 | 59 | 159,15 | 0,10 | 0,02 |
| 2 | 60 | 159,27 | 0,15 | 2,00 |
| 2 | 61 | 161,41 | 0,02 | 0,05 |
| 2 | 62 | 161,48 | 0,03 | 0,03 |
| 2 | 63 | 161,54 | 0,05 | 0,00 |
| 2 | 64 | 161,58 | 0,09 | 0,32 |
| 2 | 65 | 162,00 | 0,11 | 0,50 |
| 2 | 66 | 162,61 | 0,02 | 2,70 |
| 2 | 67 | 165,33 | 0,05 | 1,94 |
| 2 | 68 | 167,32 | 0,04 | 0,38 |
| 2 | 69 | 167,74 | 0,02 | 0,41 |
| 2 | 70 | 168,17 | 0,06 | 1,88 |
| 2 | 71 | 170,11 | 0,09 | 0,25 |
| 2 | 72 | 170,44 | 0,05 | 4,90 |
| 2 | 73 | 175,40 | 0,09 | 0,85 |
| 2 | 74 | 176,33 | 0,03 | 0,08 |
| 2 | 75 | 176,45 | 0,05 | 4,50 |

---

### 6.2.2 Dados Posto 3

Tabela 17 – Análise dos tempos no Posto 3.

| Posto | i  | Ti     | Tri  | Tbi   |
|-------|----|--------|------|-------|
| 3     | 1  | 21,79  | 0,05 | 27,17 |
| 3     | 2  | 49,00  | 0,05 | 34,34 |
| 3     | 3  | 83,40  | 0,03 | 20,46 |
| 3     | 4  | 103,89 | 0,02 | 21,43 |
| 3     | 5  | 125,34 | 0,02 | 13,59 |
| 3     | 6  | 138,95 | 0,05 | 13,43 |
| 3     | 7  | 152,42 | 0,01 | 0,19  |
| 3     | 8  | 152,63 | 0,02 | 0,36  |
| 3     | 9  | 153,01 | 0,09 | 0,09  |
| 3     | 10 | 153,19 | 0,10 | 7,57  |
| 3     | 11 | 160,86 | 0,05 | 1,88  |
| 3     | 12 | 162,80 | 0,04 | 3,47  |
| 3     | 13 | 166,31 | 0,04 | 6,39  |
| 3     | 14 | 172,73 | 0,06 | 1,52  |
| 3     | 15 | 174,31 | 0,04 | 6,65  |

### 6.2.3 Dados Posto 4

Tabela 18 – Análise dos tempos no Posto 4.

| Posto | i | Ti     | Tri  | Tbi   |
|-------|---|--------|------|-------|
| 4     | 1 | 126,28 | 0,02 | 14,00 |
| 4     | 2 | 140,30 | 0,28 | 0,70  |
| 4     | 3 | 141,28 | 0,12 | 6,13  |
| 4     | 4 | 147,53 | 0,02 | 0,90  |
| 4     | 5 | 148,44 | 0,06 | 11,86 |
| 4     | 6 | 160,37 | 0,04 | 2,57  |
| 4     | 7 | 162,97 | 0,06 | 12,04 |
| 4     | 8 | 175,08 | 0,15 | 5,77  |

### 6.2.4 Dados Posto 5

Tabela 19 – Análise dos tempos no Posto 5.

| Posto | i | Ti     | Tri  | Tbi     |
|-------|---|--------|------|---------|
| 5     | 1 | 33,25  | 0,10 | 72,20   |
| 5     | 2 | 105,55 | 0,02 | 28,51   |
| 5     | 3 | 134,09 | 0,11 | 34,19   |
| 5     | 4 | 168,39 | 0,03 | -142,11 |

## 6.2.5 Dados Posto 6

Tabela 20 – Análise dos tempos no Posto 6.

| <b>Posto</b> | <b>i</b> | <b>Ti</b> | <b>Tri</b> | <b>Tbi</b> |
|--------------|----------|-----------|------------|------------|
| 6            | 1        | 26,31     | 0,04       | 2,09       |
| 6            | 2        | 28,44     | 0,10       | 5,14       |
| 6            | 3        | 33,69     | 0,21       | -0,13      |
| 6            | 4        | 33,77     | 0,00       | 1,62       |
| 6            | 5        | 35,39     | 0,03       | 12,22      |
| 6            | 6        | 47,64     | 0,02       | 0,99       |
| 6            | 7        | 48,65     | 0,03       | 1,21       |
| 6            | 8        | 49,89     | 0,02       | 0,06       |
| 6            | 9        | 49,97     | 0,14       | 6,77       |
| 6            | 10       | 56,88     | 0,62       | 0,35       |
| 6            | 11       | 57,85     | 0,05       | 4,53       |
| 6            | 12       | 62,43     | 0,12       | 5,63       |
| 6            | 13       | 68,18     | 0,05       | 7,73       |
| 6            | 14       | 75,96     | 0,05       | 0,06       |
| 6            | 15       | 76,07     | 0,07       | 0,02       |
| 6            | 16       | 76,17     | 0,08       | 0,01       |
| 6            | 17       | 76,25     | 0,13       | 0,59       |
| 6            | 18       | 76,96     | 0,02       | 4,46       |
| 6            | 19       | 81,45     | 0,02       | 1,84       |
| 6            | 20       | 83,31     | 0,02       | 15,67      |
| 6            | 21       | 99,00     | 0,02       | 4,65       |
| 6            | 22       | 103,68    | 0,01       | 1,92       |
| 6            | 23       | 105,61    | 0,18       | 0,54       |
| 6            | 24       | 106,33    | 0,05       | 0,15       |
| 6            | 25       | 106,54    | 0,02       | 26,46      |
| 6            | 26       | 133,02    | 0,05       | 7,52       |
| 6            | 27       | 140,59    | 0,32       | 0,12       |
| 6            | 28       | 141,03    | 0,03       | 4,01       |
| 6            | 29       | 145,07    | 0,02       | 9,58       |
| 6            | 30       | 154,67    | 0,10       | 0,28       |
| 6            | 31       | 155,05    | 0,05       | 0,31       |
| 6            | 32       | 155,41    | 0,04       | 4,66       |
| 6            | 33       | 160,11    | 0,10       | 0,12       |
| 6            | 34       | 160,33    | 0,03       | 0,14       |
| 6            | 35       | 160,51    | 0,02       | 6,97       |
| 6            | 36       | 167,50    | 0,15       | 0,80       |

|   |    |        |      |      |
|---|----|--------|------|------|
| 6 | 37 | 168,44 | 0,01 | 1,16 |
| 6 | 38 | 169,61 | 0,14 | 0,60 |
| 6 | 39 | 170,35 | 0,04 | 1,93 |
| 6 | 40 | 172,32 | 0,04 | 1,16 |
| 6 | 41 | 173,51 | 0,06 | 0,21 |
| 6 | 42 | 173,77 | 0,01 | 0,11 |
| 6 | 43 | 173,90 | 0,03 | 1,37 |
| 6 | 44 | 175,30 | 0,05 | 0,86 |
| 6 | 45 | 176,21 | 0,03 | 3,43 |
| 6 | 46 | 179,67 | 0,17 | 1,16 |

### 6.2.6 Dados Posto 7

Tabela 21 – Análise dos tempos no posto 7.

| Posto | i  | Ti     | Tri  | Tbi   |
|-------|----|--------|------|-------|
| 7     | 1  | 20,34  | 0,08 | 68,63 |
| 7     | 2  | 89,05  | 0,04 | 0,17  |
| 7     | 3  | 89,27  | 0,01 | 6,39  |
| 7     | 4  | 95,67  | 0,03 | 0,12  |
| 7     | 5  | 95,83  | 0,08 | 0,93  |
| 7     | 6  | 96,83  | 0,06 | 6,17  |
| 7     | 7  | 103,06 | 0,03 | 0,72  |
| 7     | 8  | 103,80 | 0,02 | 0,06  |
| 7     | 9  | 103,87 | 0,01 | 0,79  |
| 7     | 10 | 104,67 | 0,04 | 4,93  |
| 7     | 11 | 109,63 | 0,03 | 0,20  |
| 7     | 12 | 109,87 | 0,41 | 3,02  |
| 7     | 13 | 113,29 | 0,03 | 51,99 |
| 7     | 14 | 165,31 | 0,04 | 0,90  |
| 7     | 15 | 166,25 | 0,02 | 14,73 |