

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

LUCIANO MARTINS ROVERI

**METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO DE ATIVOS, APLICADA ÀS
LINHAS DE ENVASE DE BEBIDAS, BASEADA NA ENGENHARIA DA
CONFIABILIDADE.**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2016

LUCIANO MARTINS ROVERI

**METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO DE ATIVOS, APLICADA ÀS
LINHAS DE ENVASE DE BEBIDAS, BASEADA NA ENGENHARIA DA
CONFIABILIDADE.**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Emerson Rigoni.

Co-orientador: Claudio Spanó.

CURITIBA

2016



TERMO DE APROVAÇÃO

Metodologia de Priorização de Ativos, Aplicada às Linhas de Envase de Bebidas,
Baseada na Engenharia da Confiabilidade

por

Luciano Martins Roveri

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado em 07 de dezembro de 2016, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
UTFPR

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.
UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.
UTFPR

Dedico este trabalho à minha família,
especialmente para minha esposa que
sempre me apoiou e incentivou-me desde
o primeiro dia desta caminhada, que
entendeu a necessidade e se desdobrou
ao cuidar de nossos filhos em minha
ausência para os estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me fortalecer, não deixar-me desanimar e acima de tudo, manter-me na fé.

Agradeço aos meus pais pela pessoa que sou hoje, independente, formado nos estudos, ter formação profissional, marido e pai de família.

Aos professores da UTFPR e da Reliasoft Brasil, que compartilharam suas experiências, vossos conhecimentos teóricos e práticos durante esta caminhada, em especial ao Professor Emerson Rigoni, orientador deste trabalho e ao Professor Claudio Spanó, orientador em minha certificação do CRP durante o SIC2016.

Aos meus colegas de sala, aos quais com muita satisfação e alegria, alcançamos os objetivos almejados no início dos estudos.

Agradeço ao Grupo Petrópolis pela oportunidade e confiança em permitir a realização deste projeto nas linhas de produção existentes no grupo.

Agradeço aos coordenadores de confiabilidade das unidades fabris que transformaram em realidade o processo de implementação da engenharia da confiabilidade.

RESUMO

ROVERI, Luciano Martins. **Metodologia de Priorização de Ativos, Aplicada às Linhas de Envase de Bebidas, Baseada na Engenharia da Confiabilidade**. 2016. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

O método de priorização de ativos através do modelamento de linhas de envase, permite a identificação de deficiências em um sistema reparável, sejam de ordem operacionais e/ou de manutenção, coletando as informações de qualquer gerenciamento de produção ou de sistemas de manutenção de ativos. A presente monografia fundamenta-se na tratativa dos dados de falhas e de reparos ocasionados por paradas oriundas de operação e de manutenção. O objetivo deste trabalho é identificar, apesar da grande quantidade de equipamentos existentes no parque fabril, apenas cinco ativos impactantes por linha de produção de envase de bebidas para posterior elaboração dos planos de manutenção centrados em confiabilidade, análise de falhas crônicas, resolução de falhas repetitivas e aplicação das ferramentas de engenharia de confiabilidade nos ativos identificados buscando o aumento de disponibilidade e a redução de custos de manutenção. Este método possibilitou a viabilização de investimentos, direcionamento para a abertura de times de manutenção planejada, identificação de passivos e restauração das condições operacionais, revisão e elaboração de planos de manutenção e a capacitação de mantenedores para a execução de tarefas preventivas e aumento de performance na atuação em reparos emergenciais.

Palavras-chave: Priorização de Ativos. Linhas de Envase. Confiabilidade. Mantenabilidade.

ABSTRACT

ROVERI, Luciano Martins. Asset Prioritization Methodology Applied to Beverage Container Lines Based on Reliability Engineering. 2016. Monograph (Specialization in Reliability Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2016.

The asset prioritization method through container line modeling allows the identification of defects in a repairable system, whether operational or maintenance, by collecting information from any production management or asset maintenance systems. This monograph is based on the handling of data on faults and repairs caused by shutdowns caused by operation and maintenance. The objective of this work is to identify, in spite of the large amount of equipment in the factory park, only five impacting assets per beverage container production line for later elaboration of maintenance plans centered on reliability, chronic failure analysis, resolution of repetitive failures and application of reliability engineering tools in the identified assets, seeking to increase availability and reduce maintenance costs. This method made it possible to make investments feasible, targeting the opening of planned maintenance teams, identifying liabilities and restoring operational conditions, reviewing and preparing maintenance plans, and training maintenance personnel to carry out preventive tasks and perform emergency repairs.

Keywords: Asset Prioritization. Container Lines. Reliability. Maintainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Organograma da Manutenção	14
Figura 2 – Processo de Implementação de Engenharia da Confiabilidade	16
Figura 3 – Etapa de Priorização de Ativos	16
Figura 4 – Gráfico V de uma linha de Envase	20
Figura 5 – Linha de Envase de Cervejas	21
Figura 6 – Transportadores de Frascos e de Caixas	22
Figura 7 – Exemplo de <i>Layout</i> de uma Linha de Envase	22
Figura 8 – Equipamentos Instalados nas Linhas de Envase	23
Figura 9 – Unidades Fabris do Grupo Petrópolis no Brasil	24
Figura 10 – Dados Completos	26
Figura 11 – Dados de Censura Direita (Suspensão)	27
Figura 12 – Representação Gráfica de uma PDF	28
Figura 13 – Histograma de uma Determinada Amostra	28
Figura 14 – PDF Representação de uma Determinada Amostra	29
Figura 15 – Expressão da Distribuição de Weibull	30
Figura 16 – Relação da Curva da Banheira com Parâmetro de Forma	31
Figura 17 – Influência do Parâmetro β na PDF da Distribuição Weibull	31
Figura 18 – Influência do Parâmetro η na PDF da Distribuição Weibull	32
Figura 19 – Influência do Parâmetro γ na PDF da Distribuição Weibull	33
Figura 20 – Tipos de Conexões em um RBD	34
Figura 21 – Conexões de RBD em Série	35
Figura 22 – Confiabilidade do Sistema em Série	35
Figura 23 – Confiabilidade do Sistema em Paralelo	36
Figura 24 – Modelos de Vida que Formam o Sistema	36
Figura 25 – Enchedora de Latas	39
Figura 26 – Enchedora e Recravadora Acopladas por um Transportador	40
Figura 27 – Planilha de Modelamento para Cálculos de TTF e TTR	42
Figura 28 – Forma de Cálculos dos Dados de TTF	42
Figura 29 – Forma de Cálculos dos Dados de TTR	42
Figura 30 – Dados de TTF e TTR Calculados	44
Figura 31 – Número Total de Falhas e de Tempo Indisponível	45
Figura 32 – Tela de Criação de Repositório no Weibull++	45
Figura 33 – Clipboard “Gestor de Projeto” no Weibull++	46
Figura 34 – Nome de Equipamentos em “Gestor de Projeto” no Weibull++	46
Figura 35 – Configuração para Dados de TTF no Weibull++	47
Figura 36 – Configuração para Dados de TTR no Weibull++	47
Figura 37 – Transferindo os Dados de TTF para a Planilha TTF no Weibull++	48
Figura 38 – Transferindo os Dados de TTR para a Planilha TTR no Weibull++	49

Figura 39 – Caixa Distribuição Weibull++	49
Figura 40 – Distribuições para Calculo Curva de Confiabilidade.....	50
Figura 41 – Distribuições para Calculo Curva de Manutenibilidade.....	51
Figura 42 – Botão de Publicação de Modelos	51
Figura 43 – Nome do Modelo Publicado no Weibull++.	52
Figura 44 – Categoria de Modelo Publicado no Weibull++	52
Figura 45 – Adicionando um RBD de Simulação no BlockSim.....	53
Figura 46 – Selecionando o Modelo de Confiabilidade do Equipamento	54
Figura 47 – Selecionando o Modelo de Manutenibilidade do Equipamento.....	54
Figura 48 – Modelos Inseridos no Bloco	55
Figura 49 – Simulação do Diagrama	55
Figura 50 – Configuração do Tempo Final de Simulação	55
Figura 51 – Comparação dos Resultados de Simulação do Bloco Teste.....	56
Figura 52 – Gerenciador de Recursos (Modelos).....	56
Figura 53 – RBD – Linha de Envase de Latas	59
Figura 54 – Influência dos Gatilhos no Sistema RBD.....	59
Figura 55 – Bloco de Ativação e Desativação de Gatilhos (PS Programada)	60
Figura 56 – Critérios de Priorização de Ativos	62
Figura 57 – Resumo do Processo de Modelamento	67
Figura 58 – Abrangência de Aplicação da Engenharia da Confiabilidade.....	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comportamento de um Equipamento Durante Produção	41
Gráfico 2 – PDFs de Equipamentos	57
Gráfico 3 – Curvas de Confiabilidade ao Longo do Tempo	57
Gráfico 4 – Curvas de Probabilidade de Falhas ao Longo do Tempo	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Seleção do Usuário para Filtro	43
Quadro 2 – Tipo de Especialidade para Filtro	43
Quadro 3 – Botão para Iniciar Filtro	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado Final Simulação RBD	60
Tabela 2 - Ranqueamento da Criticidade de Falha do Bloco	62
Tabela 3 - Ranqueamento do Tempo de Parada por Criticidade do Bloco	63
Tabela 4 - Bloco Provocando Eventos de Parada no Sistema	64
Tabela 5 - Bloco Provocando Eventos de Parada no Sistema	65
Tabela 6 - Ranqueamento do Tempo de Parada por Criticidade do Bloco	65

LISTA DE SIGLAS

CRP	Certified Reliability Professional
ECH	Enchedora de Latas
EPC/MD	Empacotadora/MesaDivisora
ETX	Entrada Seladora
F/S	Falha/Suspensão
KPIs	Key Performance Indicators
MAG TPS	Magazine de Tampas
MD/PL	MesaDivisora/Paletizadora
MTBF	Medium Time Between Failure
MTTR	Medium Time To Repair
PCM	Planejamento e Controle de Manutenção
PDF	Probability Density Function
PLT	Paletizadora de Latas
PS	Parada Semanal
RBD	Reliability Block Diagram
RCV	Recravadora de Latas
RRX	Rank Regression on X
RRY	Rank Regression on Y
SMI	Empacotadora de Latas
STX	Saída Seladora
TK	Transporte de Pacotes
TPM	Total Productive Maintenance
TRP	Transporte
TRP PCT	Transporte de Pacotes
TTF	Time To Failure
TTR	Time To Repair
URD	Universal Reliability Definition
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VBA	Visual Basic for Application

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 FORMALIZAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	17
1.3.1 Objetivo Geral.....	17
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 LINHAS DE ENVASE DE BEBIDAS.....	20
2.1 DESCRIÇÃO DE FUNCIONAMENTO	20
2.2 LAYOUTS DE LINHAS DE ENVASE	21
2.3 EQUIPAMENTOS DE LINHAS DE ENVASE.....	23
3 REFERENCIAL TEÓRICO DA ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE	25
3.1 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA.....	25
3.1.1 Conceitos Gerais	25
3.1.2 Dados de Vida	25
3.1.3 Dados Completos	26
3.1.4 Dados de Censura Direita (Suspensão)	27
3.1.5 Configuração das Análises	27
3.1.6 Modelos (Distribuições de Vida)	28
3.1.7 Características das Distribuições.....	29
3.1.8 Distribuição de Weibull	30
3.2 MODELAMENTO DE SISTEMAS.....	34
3.2.1 Conceitos Gerais	34
3.2.2 Conexões em um RBD	34
3.2.3 Modelos De Vida do Sistema.....	36
4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO DE ATIVOS	38
4.1 COLETA DE DADOS.....	38
4.2 TRATATIVAS DE DADOS	38
4.3 TIPOS DE DADOS.....	40
4.4 EXTRAÇÕES DOS DADOS	41
4.5 CONFIGURAÇÕES NO SOFTWARE WEIBULL++	45
4.6 INSERINDO OS DADOS TTF E TTR NO WEIBULL++	48
4.7 CONFIGURAÇÕES DAS ANÁLISES NO WEIBULL++	49
4.8 CONFIGURAÇÕES PARA OS TESTES DE ADERÊNCIA NO WEIBULL++....	50
4.9 PUBLICAÇÕES DOS MODELOS.....	51
4.10 ADICIONANDO OS MODELOS CALCULADOS NO BLOCO TESTE.....	52
4.11 VERIFICAÇÕES E ADEQUAÇÕES DOS MODELOS SIMULADOS	55
4.12 DIAGRAMAS DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE – LINHA DE ENVASE	58

4.13 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO RBD – LINHA DE ENVASE.....	60
4.14 CRITÉRIOS PARA PRIORIZAÇÃO DOS ATIVOS IMPACTANTES.....	61
4.15 ATIVOS PRIORIZADOS.....	66
5 CONCLUSÕES	67
5.1 TRABALHOS FUTUROS.....	68
REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

No contexto atual de competitividade econômica organizacional, devemos buscar as melhores ferramentas e metodologias praticadas no mercado para garantir produtividade, a qualidade de nossos produtos e efetividade, propondo melhorias contínuas e reduções de custos de nossos processos (produzir mais, com menos). As linhas de envasamento de bebidas em latas e em garrafas são processos complexos (FLEXSIM, 2017) considerados como setores que exigem maior disponibilidade dos ativos, maior capacitação de operadores e mantenedores, sem falar da grande quantidade de informação que a área nos fornece. Por esta razão, os envasamentos foram definidos como áreas prioritárias para aplicação das técnicas de confiabilidade.

Com a definição do envasamento como área piloto, outros requisitos tiveram de ser estruturados, tais como as metas e indicadores, o organograma das unidades, seleção de profissionais, as capacitações necessárias, softwares, um período a ser avaliado e tarefas para o desenvolvimento do processo de implementação da engenharia da confiabilidade no parque fabril.

A engenharia de confiabilidade para a indústria de bebidas é uma inovação onde o conceito de manutenção deixa de ser uma “despesa necessária” para “uma estratégia” na organização tornando-se uma das diretrizes que a manutenção contribui para alcançarmos a visão planejada pela empresa.

1.1 FORMALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Em virtude da nova estratégia corporativa de manutenção adotada no Grupo Petrópolis, fez-se necessário estruturar um dos pilares voltados ao planejamento de manutenção. Porém este planejamento não se refere ao conhecido planejamento e controle da manutenção (PCM), mas sim a área de confiabilidade que é a responsável pela criação de planos de manutenção, garantir a disponibilidade de equipamentos, ação direta sobre o MTBF, e a redução de custos aplicando a engenharia de confiabilidade.

Em empresas tradicionais, o PCM incorpora esta responsabilidade de gerenciamento sobre os planos de manutenção, mas neste caso, a área de confiabilidade passa a ser a administradora sobre todos os planos, Figura 1, quanto à elaboração, intervalos de tempo para execução (periodicidades), melhorias de performance, tratativa de passivos e redução de custos, enquanto que o PCM realiza a operacionalidade, gerando os planos, ou seja, a ponte entre a execução (mantenedores) e a confiabilidade.

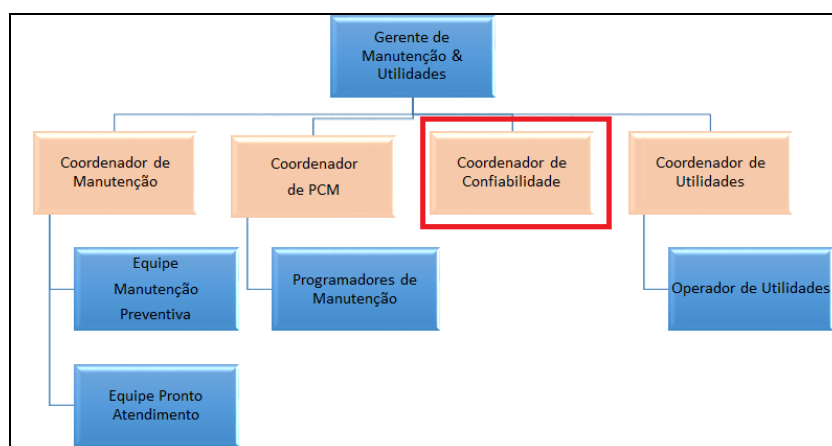


Figura 1 – Organograma da Manutenção
Fonte: Autoria própria (2016)

Esta nova filosofia de trabalho, levou a geração de dúvidas em como desenhar um processo eficiente para utilizar as ferramentas disponíveis devido à ampla gama de aplicação que a engenharia de confiabilidade proporciona.

Sabe-se de fato que em treinamentos e/ou artigos que referenciam as mais diversas aplicações, demonstram ou descrevem casos específicos e reais de estudos realizados, porém o “como” implementar em uma indústria um processo

como este, não está explicitamente acessível aos profissionais de engenharia, mesmo que capacitados para exercer a função.

As inúmeras quebras eram causadas por planos inexistentes e/ou por planos ineficientes, tempos elevados de indisponibilidade e a não capacitação de mantenedores colaborava sobre os baixos índices controlados pela manutenção, bem como, a falta de um direcionamento na área de manutenção para indicar os ativos quanto a investimentos, na orientação para aberturas de times, do que tange a responsabilidade da manutenção, o pilar de manutenção planejada (TPM), sendo este um dos principais processos implementados na empresa.

1.2 JUSTIFICATIVA

Muito dos esforços empregados na resolução de problemas, esforços estes desprezados pelo pessoal da área de manutenção e da produção eram desperdiçados pela priorização incorreta de equipamentos devido à falta de conhecimento sobre o comportamento do maquinário nas linhas de produção ao longo de um determinado período de tempo. Isto porque muitas das escolhas a ativos impactantes eram decididos sobre situações de momento, priorizava-se ativos baseando-se em problemas atuais que impactavam na baixa produtividade de linhas, sendo que muitos dos resultados obtidos eram ineficazes.

Com inúmeros problemas e com a necessidade de se conhecer de perto os reais motivos causadores das perdas nos processos de envase, surgiu-se a necessidade de realizar uma análise minuciosa para a criação de um processo, ou seja, criar uma estratégia para implementar, priorizar, restaurar, dar sustentabilidade, analisar e melhorar os equipamentos críticos de forma contínua utilizando a engenharia de confiabilidade.

O processo incorpora metodologias que tratam informações quantitativas e qualitativas e estas metodologias são utilizadas à medida que o projeto evolui sobre os ativos. Nas indústrias de bebidas, o envasamento em latas e garrafas é considerado como setores que exigem maior disponibilidade dos ativos, pois os minutos são importantíssimos e por esta razão os equipamentos são extremamente exigidos.

O processo elaborado para a implementação da engenharia de confiabilidade nos ativos está representada conforme demonstrado na Figura 2:

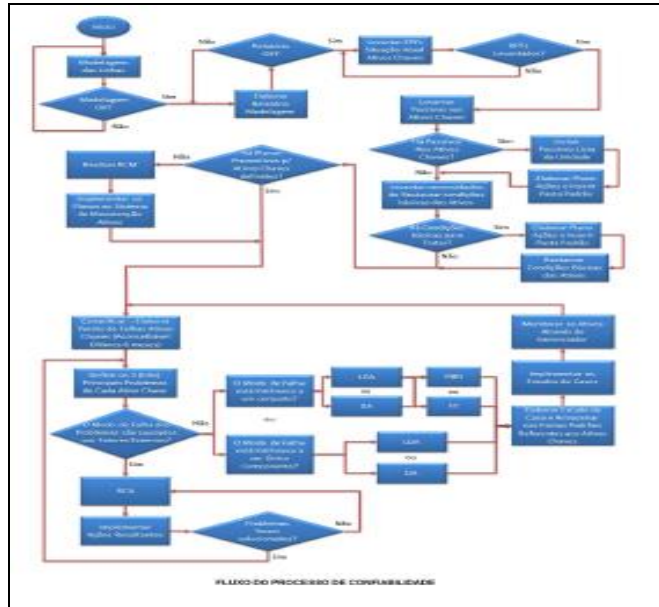


Figura 2 – Processo de Implementação de Engenharia da Confiabilidade
Fonte: Autoria própria (2016)

A metodologia aqui detalhada para a execução deste projeto abordará a primeira fase do processo de implementação apresentado na Figura 2 onde serão identificados os ativos críticos por linha de envase que influenciam ou corroboram com os baixos índices de produtividade, disponibilidade e eficiência. As demais etapas do processo apresentados na Figura 2 a qual este projeto faz parte não serão abordadas neste trabalho.

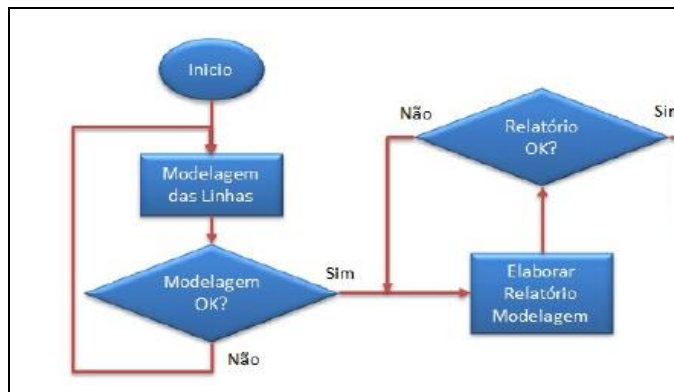


Figura 3 – Etapa de Priorização de Ativos
Fonte: Autoria própria (2016)

Busca-se direcionar os esforços para a resolução de problemas através da análise e tratativa de dados de um período amplo de produção permitindo a partir da priorização (Figura 3), iniciar um trabalho “forte” na elaboração dos planos de manutenção centrados em confiabilidade, tratar as falhas repetitivas, viabilizar investimentos em passivos (itens ou equipamentos obsoletos, que possam tornar os ativos incapaz de operar), direcionar estudos aplicando as técnicas de confiabilidade reduzindo ou otimizando os custos de manutenção.

Os resultados desta priorização serão utilizados para as aberturas de times de TPM (Manutenção Planejada) e para abertura de novos projetos, quando for envolver equipamentos de envase. Os ativos identificados estão inseridos no gerenciador de confiabilidade para monitorar todas as falhas, KPIs, biblioteca de trabalhos de engenharia de confiabilidade, lista de passivos e evidentemente o desempenho destes.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Aplicar a metodologia de priorização de ativos para identificar cem ativos impactantes de vinte linhas de produção de envase de bebidas que estão distribuídas e instaladas em seis unidades fabris.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para o cumprimento do objetivo proposto para a execução deste projeto fez-se necessário:

- Desenvolver fluxo do processo de mapeamento para identificação dos ativos críticos;
- Adquirir *softwares* específicos para a aplicação da metodologia de priorização dos ativos nas linhas de envase de bebidas;

- Coletar e analisar os dados quantitativos obtidos dos gerenciadores de produção e do gerenciamento de manutenção;
- Elaborar planilha específica para a extração dos dados de falhas e de reparo dos ativos das linhas de produção;
- Definir os critérios para a definição dos ativos críticos dos processos de envasamento, analisando os resultados obtidos ao fim das simulações realizadas pelos *softwares*;
- Realizar um modelamento “piloto” aplicando a metodologia de priorização em uma linha de envase de bebidas.
- Elaborar as diretrizes, instruções de trabalho e procedimentos necessários para implementar de forma corporativa a metodologia de priorização nas seis unidades fabris;

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente monografia será composta por 5 (cinco) capítulos constituídos de 22 (vinte e dois) itens explicitando o conteúdo do trabalho elaborado conforme a distribuição:

- O Capítulo 1 trata especificamente da parte introdutória desta monografia, o tema central, e os fatores determinísticos que definiram os objetivos para a criação de um processo de implementação da engenharia da confiabilidade;
- O Capítulo 2 apresenta através de ilustrações as unidades e as fotos de algumas das vinte linhas de produção de bebidas onde estão sendo aplicados os métodos de priorização e os estudos de engenharia da confiabilidade;
- O Capítulo 3 referencia as teorias de engenharia da confiabilidade aplicadas às linhas de produção de envase de bebidas. Estas técnicas serão constantemente utilizadas aos processos e ativos priorizados como instrumentos de melhoria contínua;
- O Capítulo 4 descreve detalhadamente a etapa de priorização dos ativos, etapa esta denominada como ponto inicial do processo de implementação

da engenharia da confiabilidade. O Capítulo aborda a tratativa de dados de falhas e de reparos, a determinação dos modelos, testes dos modelos, criação do diagrama de blocos, simulações e os resultados com os critérios para a determinação dos ativos priorizados;

- As conclusões do trabalho são apresentadas no Capítulo 5, sequencialmente, as referências usadas para confecção deste trabalho.

2 LINHAS DE ENVASE DE BEBIDAS

2.1 DESCRIÇÃO DE FUNCIONAMENTO

Em linhas de envase de bebidas, o equipamento que determina a velocidade nominal de uma linha de envase de cerveja é a enchedora (Figura 10) e os demais equipamentos instalados a jusante e a montante deste equipamento possuem capacidades maiores do que a enchedora para manter o equipamento principal em produção.

As capacidades produtivas de cada equipamento instalado nas linhas de envase são determinadas acima da capacidade nominal de enchimento da enchedora, cujas capacidades destes equipamentos instalados a montante e a jusante da enchedora respeitam a configuração que formam um gráfico denominado de “Gráfico V” (Figura 4), onde o vértice do “V” é atribuído à máquina motriz que é quem determina a capacidade produtiva da linha de produção e que neste caso refere-se à enchedora.

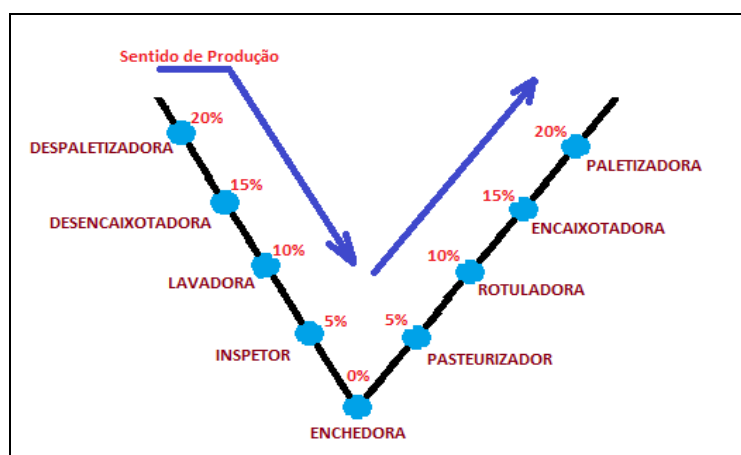


Figura 4 – Gráfico V de uma linha de Envase
Fonte: Autoria própria (2016)

Os valores percentuais na figura acima representam o quanto os equipamentos instalados na linha de produção devem estar com a capacidade produtiva acima ao da capacidade produtiva da enchedora, desta forma, podemos afirmar que a enchedora é considerada como se fosse o “coração da linha de produção”.

2.2 LAYOUTS DE LINHAS DE ENVASE

As linhas de envase de bebidas são constituídas por equipamentos diversificados e com diferentes funções no processo de envasamento. Estas linhas são construídas e montadas em diferentes *layouts* para envasar diferentes tipos de produtos e frascos (latas ou garrafas) com diferentes capacidades nominais de produção.

O volume de um determinado tipo de frasco também é fator determinante na capacidade produtiva da linha de envase, devido ao tempo de enchimento deste frasco durante a passagem do vasilhame na enchedora. Isto ocorre principalmente nos casos em que uma determinada linha de produção adquirida para um determinado volume de enchimento em um frasco, passe a encher outro formato de vasilhame com volume inferior/superior ao especificado no projeto na época da compra da linha. Neste caso, é necessário adequar todas as capacidades nominais dos demais equipamentos conforme as porcentagens de velocidade demonstrada na Figura 4:



Figura 5 – Linha de Envase de Cervejas

Fonte: Parceria de longo prazo: Grupo Petrópolis e Kronen – Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=lhOJKq3ZYLE>>. Acesso em: 05 Out. 2016.

Os equipamentos que fazem parte deste projeto são interligados através de transportadores de frascos ou de caixas com diferentes tamanhos e com diferentes velocidades para atender as capacidades produtivas de cada equipamento instalado na linha. Estes transportadores são controlados por conversores de frequência para acelerar e desacelerá-los à medida que os equipamentos alimentados por eles

solicitam. Os transportadores tem a finalidade, além de transportar frascos e caixas, absorver as “micros-paradas” quando estas ocorrem, eles trabalham como uma espécie de “pulmão” entre os equipamentos evitando assim perdas de produção desnecessárias.

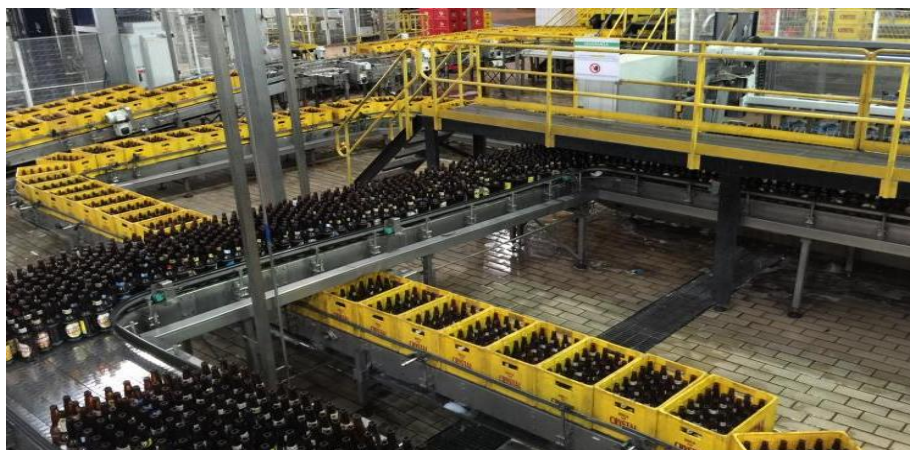


Figura 6 – Transportadores de Frascos e de Caixas
Fonte: Autoria própria (2016)

Para atuar com assertividade nas soluções de problemas de desempenho de produtividade diante de uma grande quantidade de equipamentos instalados em uma linha de produção, a primeira atividade a ser feita é o chamado “Modelamento de Sistemas Complexos” para a identificação dos ativos impactantes, escopo inicial deste processo de implementação e detalhado nesta monografia no Capítulo 4.

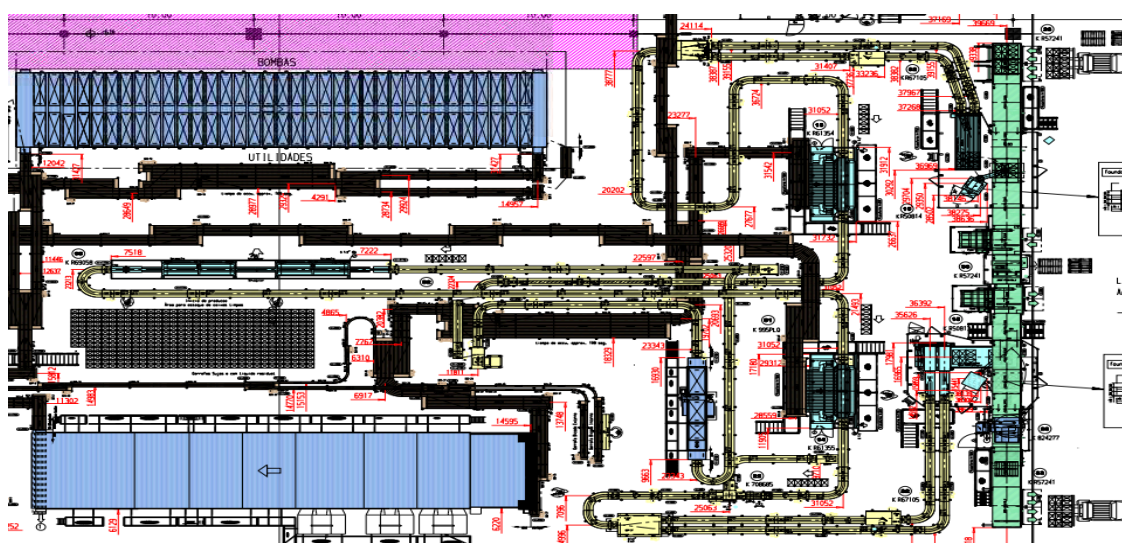


Figura 7 – Exemplo de *Layout* de uma Linha de Envase
Fonte: Engenharia Eletromecânica do Grupo Petrópolis (2016)

2.3 EQUIPAMENTOS DE LINHAS DE ENVASE

Os equipamentos instalados nas linhas de envase são comuns em sua maioria das unidades do grupo por serem de mesmo fabricante, modelo e de capacidades produtivas semelhantes, o que nos permite entender através da aplicação da metodologia os comportamentos de cada ativo avaliando os resultados das simulações e comparando-os com as condições de uso destes ativos em cada unidade.

A identificação de equipamentos prejudiciais ao desempenho da linha de produção permite o direcionamento correto de melhorias e correções em pró aos resultados estipulados pela companhia. Normalmente, as linhas de produção são constituídas em média por 14 equipamentos principais, aumentando a importância de uma avaliação criteriosa dos dados coletados dos gerenciamentos de produção e de manutenção.

A Figura 8 apresenta alguns dos principais equipamentos ao qual este projeto esta sendo aplicado:

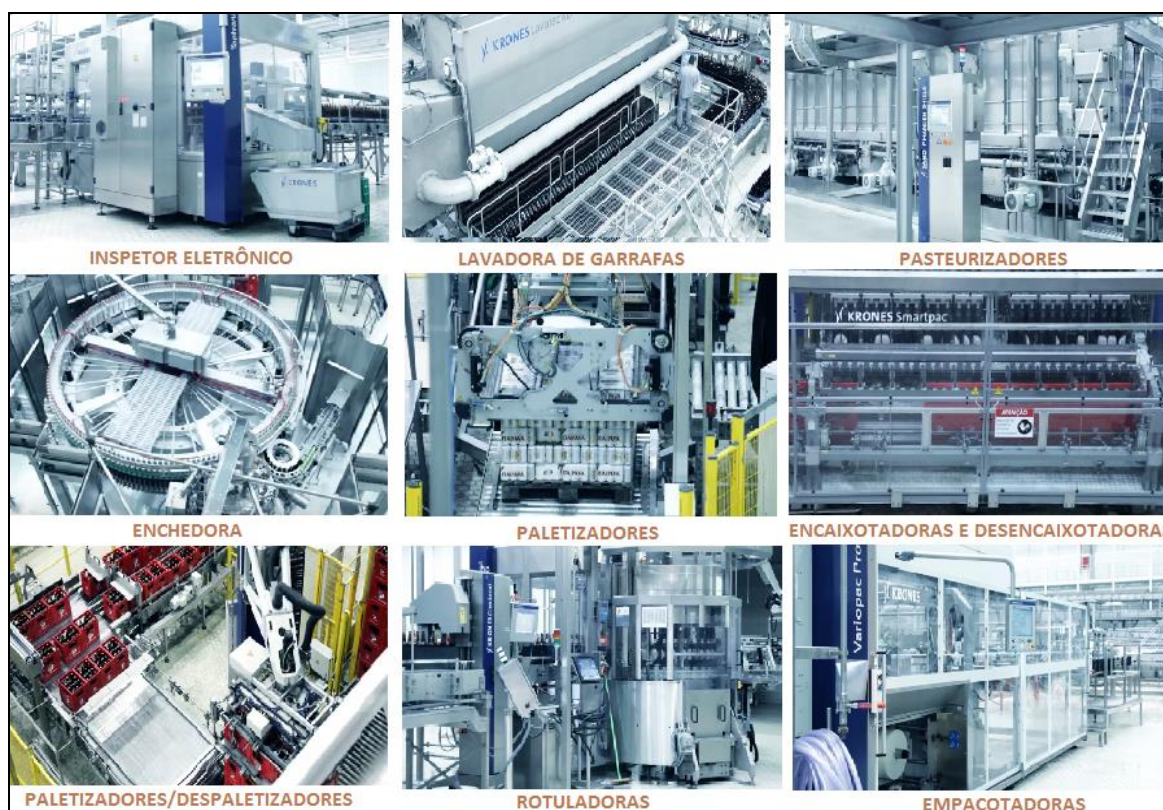


Figura 8 – Equipamentos Instalados nas Linhas de Envase

Fonte: Parceria de longo prazo: Grupo Petrópolis e Kronos – Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=IhOJKq3ZYLE>>. Acesso em: 05 Out. 2016.

Estes equipamentos constituem as linhas de envase, sendo um total de vinte linhas de produção onde estão sendo aplicados os projetos. Estas linhas de envase estão distribuídas em seis unidades fabris do Grupo Petrópolis conforme as localidades apresentadas na Figura 9:

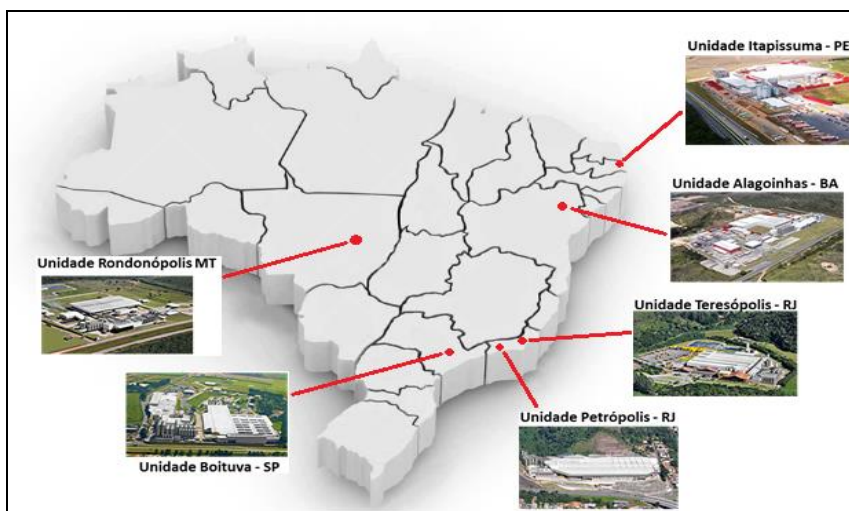


Figura 9 – Unidades Fabris do Grupo Petrópolis no Brasil
Fonte: Autoria própria (2016)

3 REFERENCIAL TEÓRICO DA ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

Este capítulo tem o objetivo de apresentar a teoria da engenharia da confiabilidade aplicada à priorização de ativos que faz parte do processo de implementação, abordando como referencial teórico aplicável ao trabalho, a Análise de Dados de Vida e o Modelamento de Sistemas.

3.1 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

3.1.1 Conceitos Gerais

A análise de dados de vida é utilizada para determinarmos através de uma análise estatística o comportamento de vida de um determinado produto.

Os dados coletados e depois de calculados, permite através de distribuições para os dados coletados de uma determinada amostra, estimar a confiabilidade, probabilidade de falha, a vida média, tempo de garantia e a taxa de falha.

A análise dos dados de vida requer que o profissional (RELIASOFT..., 2017) execute:

- Reúna os dados de vida do produto;
- Selecione uma distribuição de tempo de vida que corresponda aos dados e modele a vida útil do produto;
- Estime os parâmetros que irão caber à distribuição aos dados;
- Gerar gráficos e resultados que estimem as características de vida do produto, como a confiabilidade ou a vida média.

3.1.2 Dados de Vida

A vida do produto pode ser medida em horas, milhas, ciclos ou qualquer outra métrica que se aplique ao período de operação bem-sucedida de um determinado produto (RELIASOFT..., 2017).

É importante conhecer os tipos de dados aos quais estamos coletando e analisando para que os resultados esperados sejam fidedignos ao que realmente ocorre em campo.

Uma má interpretação dos resultados pode levar o engenheiro de confiabilidade a cometer um erro, por exemplo, criar um plano de troca de um determinado item distorcido do tempo real de vida útil, podendo acarretar em ônus financeiro, troca desnecessária ou dependendo do caso, em quebras de maquinário.

Os dados coletados para a realização deste projeto concentram-se em dois tipos de dados extraídos dos gerenciadores, sendo eles:

- Dados Completos: Tempo Até Falha;
- Dados Censurados à Direita: Suspensões.

3.1.3 Dados Completos

Dados completos significam que o valor de cada unidade de amostra é observado ou conhecido. Por exemplo, se testássemos cinco unidades (Figura 10) e todas falhassem (e seus tempos de falha fossem registrados), teríamos então informações completas sobre o tempo de cada falha na amostra (RELIAWIKI..., 2017).

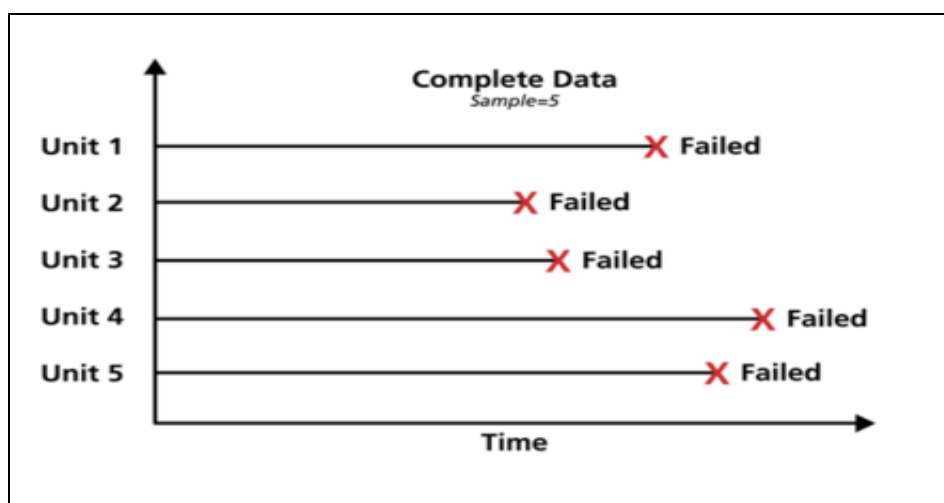


Figura 10 – Dados Completos

Fonte: Life Data Classification – Disponível em: <http://www.reliawiki.org/index.php/Life_Data_Classification>. Acesso em: 24 Mar. 2017.

3.1.4 Dados de Censura Direita (Suspensão)

No caso de dados de vida, estes conjuntos de dados são compostos por unidades que não falharam. Por exemplo, se testássemos cinco unidades (Figura 11) e apenas três tivessem falhado no final do teste, teríamos dados censurados corretos (ou dados de suspensão) para as duas unidades que não falharam. O termo direito censurado implica que o evento de interesse (ou seja, o tempo até a falha) está à direita do nosso ponto de dados (RELIAWIKI..., 2017).

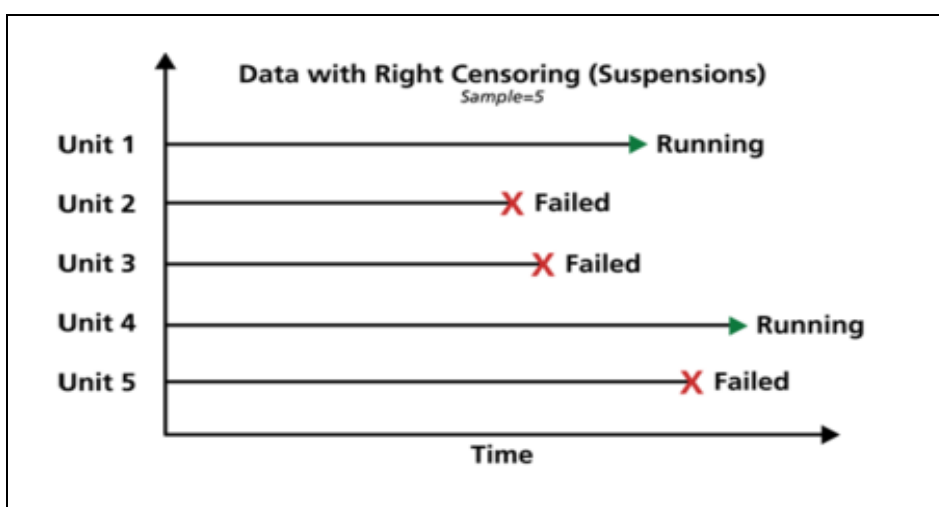


Figura 11 – Dados de Censura Direita (Suspensão)

Fonte: Life Data Classification – Disponível em: <http://www.reliawiki.org/index.php/Life_Data_Classification>. Acesso em: 24 Mar. 2017.

3.1.5 Configuração das Análises

Outra informação importante para a realização de um estudo de confiabilidade ao analisar os dados, é a configuração das análises. Baseando-se no quantitativo das amostras, os métodos seguem a seguinte configuração (RELIASOFT..., 2017):

- Método da Regressão (RRX ou RRY): Dados completos e pequenas amostras;
- Método da Máxima Verossimilhança (MLE): Dados completos e censurados, grandes amostras (mais de 30 falhas), suspensões e dados agrupados.

3.1.6 Modelos (Distribuições de Vida)

Os modelos representam os comportamentos de vida dos equipamentos e são constituídos baseados no quantitativo de dados de falha ou de reparo ao longo de um determinado período de tempo (Figura 27). Estas representações gráficas são denominadas de função de densidade de probabilidade (PDF).

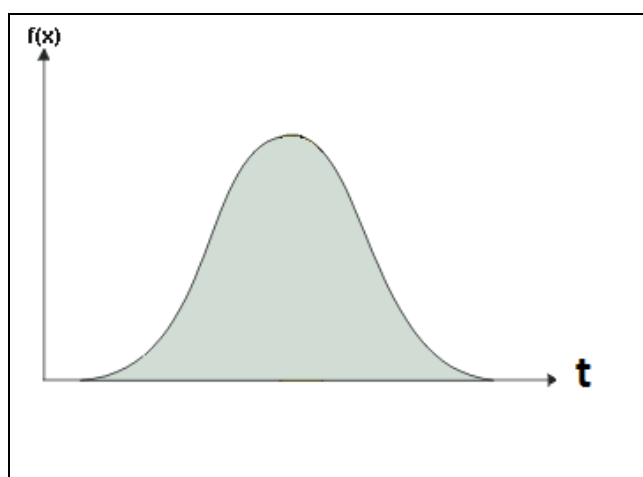


Figura 12 – Representação Gráfica de uma PDF

Fonte: Lifetime Distributions– Disponível em: < <http://www.weibull.com/basics/lifedata.htm>>. Acesso em: 24 Mar. 2017.

Para uma melhor compreensão, considere o histograma conforme a Figura 13 que representa um conjunto de dados de uma determinada amostra:

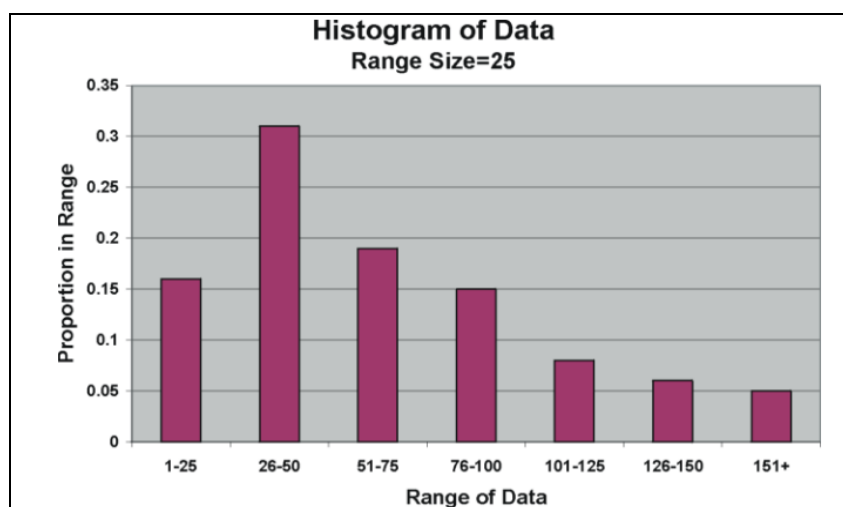


Figura 13 – Histograma de uma Determinada Amostra

Fonte: The Probability Density Function – Disponível em: < <http://www.weibull.com/hotwire/issue12/re basics12.htm>>. Acesso em: 24 Mar. 2017.

Baseando-se na amostragem de dados apresentada na Figura 13, a PDF que representaria esta amostragem estaria conforme a Figura 14:

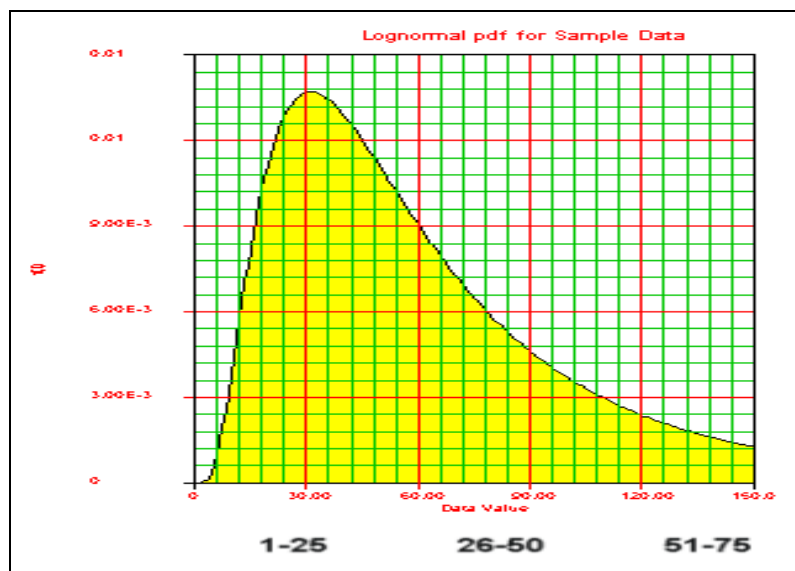


Figura 14 – PDF Representação de uma Determinada Amostra

Fonte: The Probability Density Function – Disponível em: <<http://www.weibull.com/hotwire/issue12/re basics12.htm>>. Acesso em: 24 Mar. 2017.

3.1.7 Características das Distribuições

Para a realização deste trabalho, as distribuições serviram para determinar a melhor representação do comportamento de vida dos equipamentos verificados.

Apesar do *software* de confiabilidade escolher a melhor função matemática, foi necessário analisar se os resultados calculados quanto ao número de falhas e ao tempo de indisponibilidade de cada equipamento aproximavam-se do quantitativo de dados coletado e analisado em campo.

Quando estes resultados calculados eram muito divergentes, fez-se necessário determinar manualmente o melhor modelo matemático, tanto para os dados de falha, como para os de reparo.

Estes ajustes estão detalhados no capítulo 4 e serviram para representar com exatidão o desempenho de cada equipamento nas linhas de produção.

3.1.8 Distribuição de Weibull

Existem diferentes distribuições matemáticas que representam diferentes comportamentos, sejam eles máquinas, subconjuntos, componentes, etc. Nomeado pelo seu inventor, Waloddi Weibull, esta distribuição é amplamente utilizada na engenharia de confiabilidade e em outros lugares devido à sua versatilidade e relativa simplicidade (RELIASOFT..., 2017).

A distribuição de Weibull é composta de três parâmetros que nos permite determinar e entender o comportamento de um determinado item em análise. Os parâmetros que constituem a função de Weibull (RELIASOFT..., 2017) são:

- β é o parâmetro de forma;
- η é o parâmetro de escala;
- γ é o parâmetro de localização;

A expressão geral do PDF de Weibull é dada pela expressão de distribuição Weibull de três parâmetros, ou:

$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

onde:

$$f(T) \geq 0, T \geq 0 \text{ or } \gamma, \beta > 0, \eta > 0, -\infty < \gamma < \infty$$

Figura 15 – Expressão da Distribuição de Weibull

Fonte: Weibull distribution expression – Disponível em: <<http://www.weibull.com/hotwire/issue14/re basics14.htm>>. Acesso em: 24 Mar. 2017.

Na expressão demonstrada na Figura 15, os equipamentos são classificados conforme a taxa de falhas dada por β . O parâmetro β indica qual o comportamento de vida que cada equipamento possui. Se relacionarmos o parâmetro em questão com a curva da banheira da Figura 16, estes parâmetros terão as seguintes conclusões:

- $\beta < 1$ característica de falhas prematuras;
- $\beta = 1$ característica de falhas aleatórias;
- $\beta > 1$ característica de falhas por desgaste.

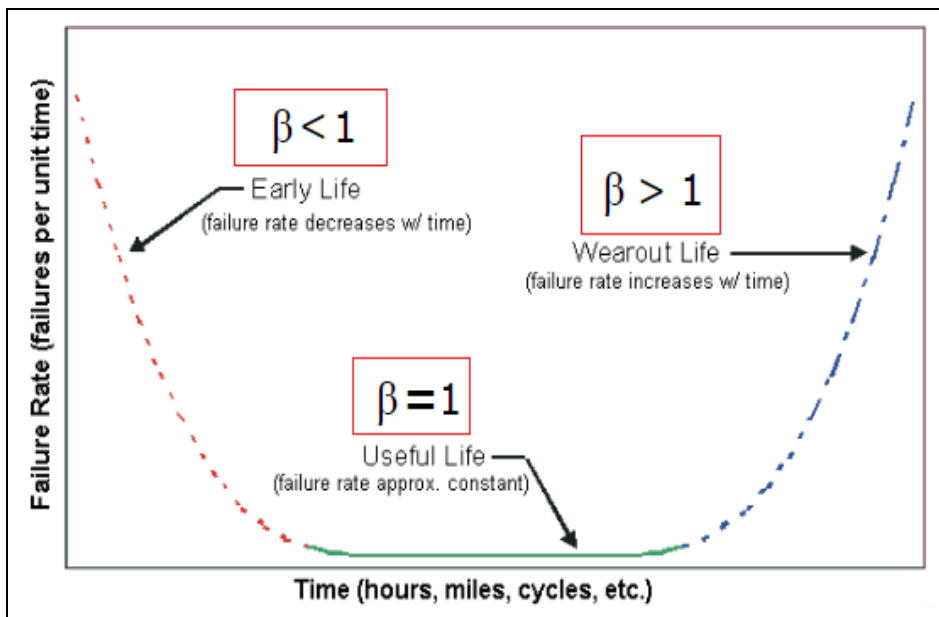


Figura 16 – Relação da Curva da Banheira com Parâmetro de Forma

Fonte: Weibull distribution expression – Disponível em: <
<http://www.weibull.com/hotwire/issue14/relbasics14.htm>>. Acesso em: 24 Mar. 2017.

Baseando-se nas conclusões acima descritas, teremos as seguintes formas de PDF:

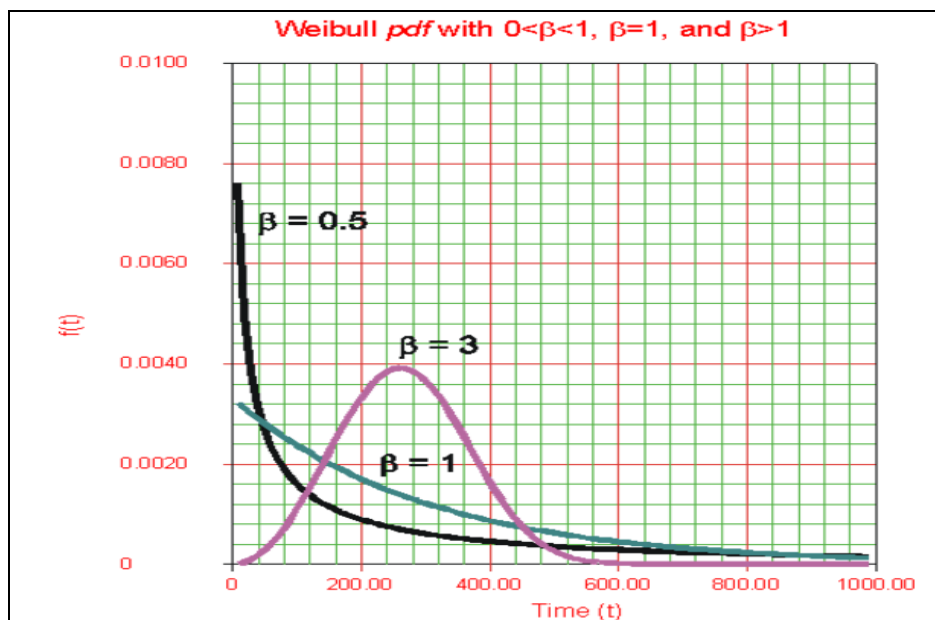


Figura 17 – Influência do Parâmetro β na PDF da Distribuição Weibull

Fonte: Weibull distribution expression – Disponível em: <
<http://www.weibull.com/hotwire/issue14/relbasics14.htm>>. Acesso em: 24 Mar. 2017.

O parâmetro de forma de Weibull, β , é também conhecido como o declive de Weibull. Isso ocorre porque o valor de β é igual à inclinação da linha em um gráfico de probabilidade. Valores diferentes do parâmetro de forma podem ter efeitos

marcados no comportamento da distribuição. De fato, alguns valores do parâmetro de forma farão com que as equações de distribuição se reduzam às de outras distribuições. Por exemplo, quando $\beta = 1$, o PDF do Weibull de três parâmetros reduz-se para o da distribuição exponencial de dois parâmetros. O parâmetro β é um número puro, ou seja, é adimensional (RELIASOFT..., 2017).

O parâmetro de escala η apresentado na Figura 15 é o que determina o período até a falha na expressão de Weibull, determina a vida característica que cada equipamento em análise possui, tendo a como unidade idêntica à unidade de tempo (horas, ciclos, metros, etc.).

Uma mudança no parâmetro de escala, η , tem o mesmo efeito na distribuição como uma mudança da escala de abcissas. Aumentar o valor de η enquanto mantém constante β tem o efeito de esticar o PDF. Uma vez que a área sob uma curva PDF é um valor constante de um, o "pico" da curva pdf também irá diminuir com o aumento de η (RELIASOFT..., 2017), como indicado na Figura 18:

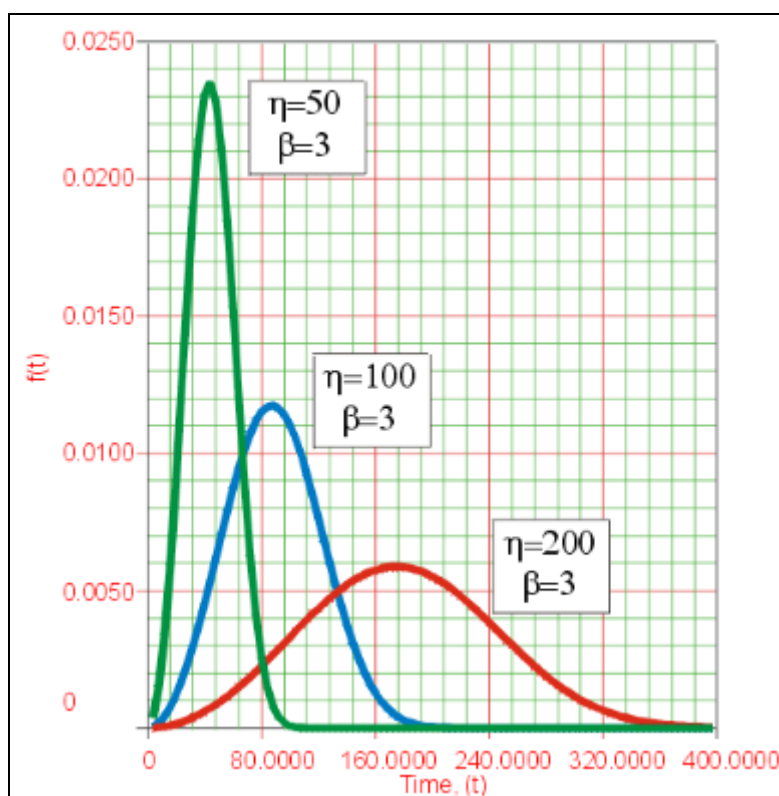


Figura 18 – Influência do Parâmetro η na PDF da Distribuição Weibull

Fonte: Weibull distribution expression – Disponível em: <<http://www.weibull.com/hotwire/issue14/re basics14.htm>>. Acesso em: 24 Mar. 2017.

O parâmetro γ representa o tempo inicial de vida de cada equipamento em questão. No caso deste trabalho, como os equipamentos já se encontravam em operação, este tempo inicial variava entre os equipamentos, já que os tempos até a primeira falha não eram os mesmos. Na Figura 19, pode-se verificar a influência do parâmetro γ na PDF da distribuição de Weibull:

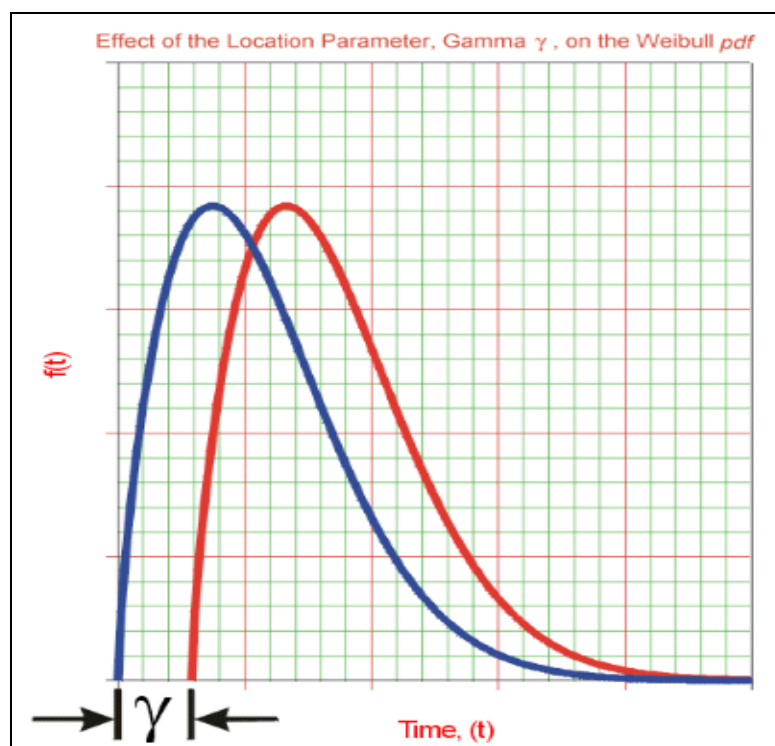


Figura 19 – Influência do Parâmetro γ na PDF da Distribuição Weibull

Fonte: Weibull Location Parameter – Disponível em: <<http://www.weibull.com/basics/parameters.htm>>. Acesso em: 24 Mar. 2017.

Os modelos matemáticos calculados neste trabalho representam os dados de falha e os dados de reparo de cada equipamento. Nesta fase do projeto, fez-se necessário elenca-los para que fosse possível realizar as simulações no *software* “BlockSim”. Como estamos tratando de um sistema reparável, para a realização das simulações, temos de elencar os modelos de confiabilidade (dados de tempo até falha) e os modelos de manutenibilidade (dados de tempo de reparo).

Estes modelos representaram, depois de adequados, o comportamento destes equipamentos fidedignamente, possibilitando averiguar com precisão os impactantes observando-se um período de tempo a qual estes equipamentos foram utilizados.

As PDF elencadas de cada equipamento poderão ser utilizadas para posteriores entendimentos de funcionamento e comportamento para as tratativas na

resolução de problemas. A grande maioria dos equipamentos, devido a grande quantidade de falhas coletadas e devido o fato de não estarmos tratando uma falha específica, mas considerando todas, leva a maioria dos equipamentos a ter uma característica de falhas prematuras ($\beta < 1$). Posteriormente, ao priorizarmos um determinado equipamento, quando tratarmos falhas específicas, teremos diferentes valores de forma e escala.

3.2 MODELAMENTO DE SISTEMAS

3.2.1 Conceitos Gerais

Como descreve a RELIASOFT (2017), Modelamento de sistemas é um diagrama que representa como os componentes, representados por "blocos", são organizados e relacionados. Esta representação também é chamada de diagrama de blocos de confiabilidade ou Reliability Block Diagram (RBD).

3.2.2 Conexões em um RBD

Os blocos podem estar interligados em diferentes modos de conexão, sendo estas conforme a Figura 20:

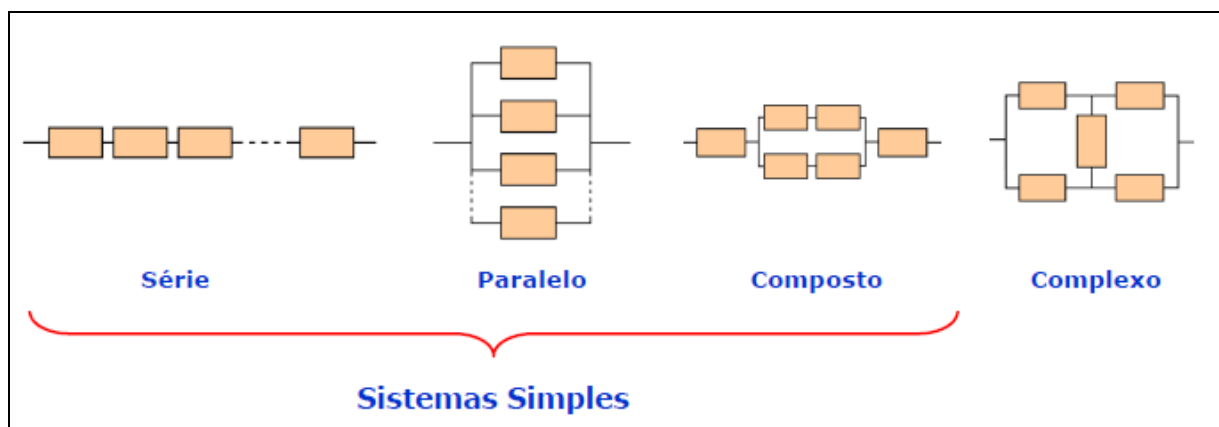


Figura 20 – Tipos de Conexões em um RBD
Fonte: RIGONI, Confiabilidade de Sistemas (2015).

Vale ressaltar que a distribuição dos blocos nos RBD nem sempre representam a distribuição “física” aos quais estes equipamentos estão instalados. É importante conhecer a correlação entre os mesmos para que não afete os resultados esperados de confiabilidade e manutenibilidade ao das simulações.

As conexões dos blocos em série (Figura 21) podem ser comparadas a uma corrente, onde o elo mais fraco é determinante para a redução da confiabilidade, ou seja, se este vier a falhar, o sistema falha.

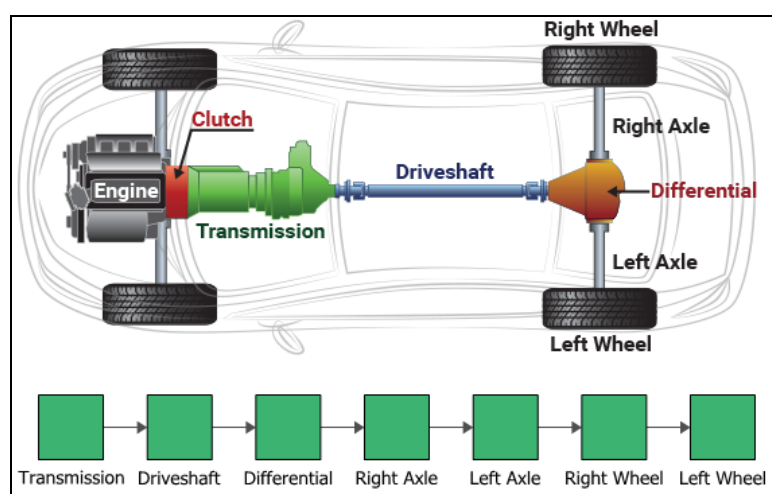


Figura 21 – Conexões de RBD em Série

Fonte: System Reliability Analysis– Disponível em: <http://www.weibull.com/basics/system_reliability.htm>. Acesso em: 25 Mar. 2017.

Segundo Rigoni (2015), as falhas dos componentes de um sistema em série são estatisticamente independentes, então a Confiabilidade do Sistema Série (R_s), é dada conforme demonstrada na Figura 22:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n (R_i) = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots \times R_n$$

n → Número de subsistemas ou componentes

R_i → Confiabilidade do i -ésimo componente

Figura 22 – Confiabilidade do Sistema em Série
Fonte: RIGONI, Confiabilidade de Sistemas (2015).

Sistemas com conexões em paralelo somente serão consideradas como falhas se todos os blocos vierem a falhar. Segundo Rigoni (2015), como todas as unidades do sistema estão ativas e compartilhando carga, as falhas dos

componentes são consideradas estatisticamente independentes, então a confiabilidade do sistema paralelo é dada conforme demonstrada na Figura 23:

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) = 1 - (1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n)$$

n → Número de subsistemas ou componentes
R_i → Confiabilidade do enésimo componente

Figura 23 – Confiabilidade do Sistema em Paralelo
Fonte: RIGONI, Confiabilidade de Sistemas (2015).

3.2.3 Modelos De Vida do Sistema

Cada bloco inserido ao RBD representa um equipamento instalado na linha de produção e cada bloco receberá dois modelos matemáticos calculados, cujos modelos representam o comportamento de vida. Este processo está detalhado no capítulo 4 (item 4.10 e item 4.11).

Cada equipamento pode ter modelos de vida diferenciados e quando agrupados determinam o Modelo do Sistema conforme demonstrado na Figura 24:

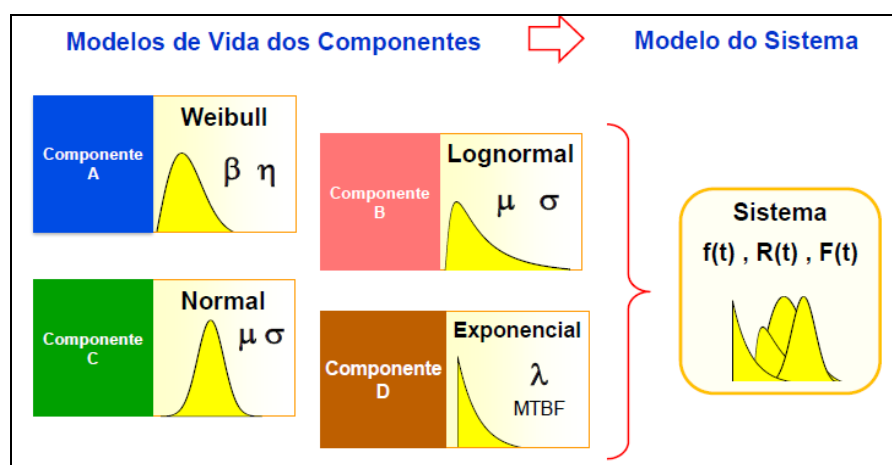


Figura 24 – Modelos de Vida que Formam o Sistema
Fonte: RIGONI, Confiabilidade de Sistemas (2015).

Neste trabalho a assertividade da escolha do melhor modelo para a formação do modelo do sistema, como dito anteriormente, tem papel importante na definição dos ativos denominados chaves. Também não foi abordada como fator determinante dos ativos, a confiabilidade dos equipamentos sobre o sistema, pois

como simulamos um período consideravelmente grande, exemplo de 8760 h, a confiabilidade ao fim das simulações, será zero, isto porque inúmeras falhas em diversos equipamentos ocorreram ao longo deste período e como elas são acumulativas, levam a este resultado. Os critérios definidos como determinantes para a identificação dos ativos críticos estão detalhados no capítulo 4.

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO DE ATIVOS

Este capítulo tem como objetivo detalhar a aplicação da metodologia de priorização de ativos utilizando as ferramentas avançadas de engenharia da confiabilidade abordando as fases de coleta e tratativa de dados, cálculo e ajustes de modelos matemáticos, criação do diagrama de blocos, simulações e critérios para a priorização baseando-se nos resultados obtidos.

4.1 COLETA DE DADOS

Para uma avaliação criteriosa dos cenários estabeleceu-se como premissa, coletar um ano de dados de produção para cada linha de envase, dados estes provenientes de um sistema de manutenção de ativos e/ou provenientes de um gerenciador de produção.

O importante para o cumprimento desta fase é analisar grandes períodos, pois há a possibilidade de que todas as possíveis falhas para cada equipamento já tenham ocorrido. Períodos menores podem não conter as falhas repetitivas, ou seja, aquelas onde a manutenção de emergência atua e não toma medidas para evitar as reincidências.

4.2 TRATATIVAS DE DADOS

A tratativa de dados demanda do engenheiro de confiabilidade um maior tempo de trabalho, devido as constantes inconsistências que são encontradas nos apontamentos de produção ou sistema de manutenção de ativos. Problemas comumente encontrados durante a tratativa dos dados coletados são as descrições para as falhas, as mesmas podem estar diferentemente registradas e normalmente referem-se ao mesmo problema, tais como:

- Troca do selo mecânico;
- Trocando selo mecânico;

- Calibrando VP;
- Válvula de pressão sendo calibrada;

Os apontamentos errôneos de paradas de produção para equipamentos devem ser realocados para os respectivos responsáveis, como por exemplo:

- Parada de linha devido ao enrosco de latas na Recravadora devido a latas com nível baixo de cerveja.

O equipamento denominado de Recravadora (Figura 26) é a responsável por recravar às tampas nas latas, porém, o equipamento que deve “garantir” o nível correto nas latas é o equipamento denominado de Enchedora (Figura 25).



Figura 25 – Enchedora de Latas
Fonte: Autoria própria (2016)

A Enchedora e a Recravadora são dois equipamentos acoplados, porém distintos, os dados de falhas e os de reparos erroneamente atribuídos, podem levar a uma priorização incorreta.



Figura 26 – Enchedora e Recravadora Acopladas por um Transportador
Fonte: Aatoria própria (2016)

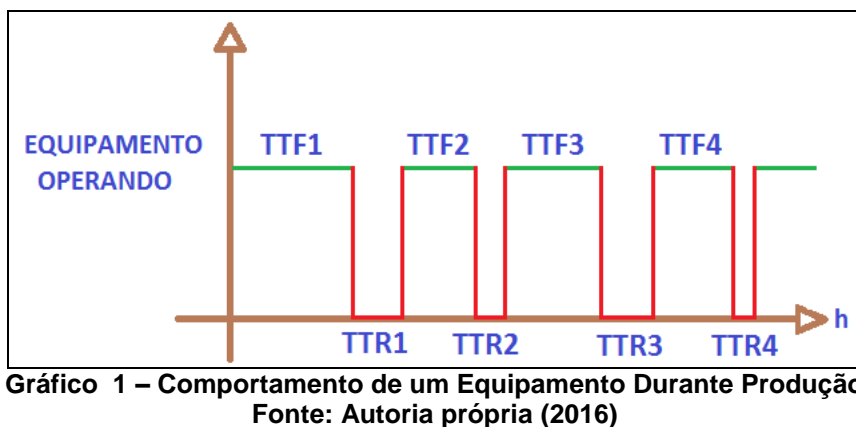
Os dados representam o aspecto mais importante na realização de análises quantitativas e “É FUNDAMENTAL que os dados sejam CATEGORIZADOS de forma ADEQUADA”.

4.3 TIPOS DE DADOS

Os dois tipos de dados necessários de um sistema reparável para elencar as curvas de confiabilidade e de manutenibilidade, podem ser extraídos coletando um determinado período de tempo de operação de um equipamento qualquer.

Os tempos denominados de TTF são os tempos em que o equipamento efetivamente esteve em operação e os tempos determinados efetivamente para reparo, são os tempos denominados como TTR.

O Gráfico 1 a seguir demonstra como os dados estão distribuídos:



Sendo assim, podemos afirmar que:

- TTF = Dados de Confiabilidade;
- TTR = Dados de Mantenedibilidade.

Para a realização deste trabalho, não foi considerado as rampas de aceleração e as rampas de desaceleração dos equipamentos.

Os dados coletados e analisados não contém informação sobre as rampas dos equipamentos, apenas as informações:

- Data e hora inicial da avaria;
- Data e hora final da avaria;
- Equipamento;
- Descrição da Falha;
- Custo da Mão de Obra.

4.4 EXTRAÇÕES DOS DADOS

Para facilitar a extração e cálculo dos dados de TTF e dos dados de TTR existentes no gerenciamento de produção ou de um sistema de manutenção de ativos, executam-se macros criadas em uma planilha em Excel (VBA) desenvolvida especificamente para a extração dos apontamentos de produção e realização dos cálculos, os dados depois de calculados, estarão disponibilizados conforme demonstrado na Figura 27:

DATA	HORA	TEMPO	ÁREA	COMENTÁRIOS	INICIO	FIM	F/S	TTF(h)	TTR	TTR (h)
09/05/2014	08:10	10	Elétrica	Limpeza no canhão	09/05/2014 08:10	09/05/2014 08:20	S	176,1667	10	0,1667
09/05/2014	10:28	13	Elétrica	Conector do encorder o mesmo estava quebrado e foi troc	09/05/2014 10:28	09/05/2014 10:41	F	2,1333	13	0,2167
19/05/2014	12:20	15	Elétrica	Limpeza e ajustes no datador.	19/05/2014 12:20	19/05/2014 12:35	F	241,6500	15	0,2500
23/05/2014	00:30	5	Elétrica	falha na codificação parada para limpeza	23/05/2014 00:30	23/05/2014 00:35	F	83,9167	5	0,0833
26/05/2014	08:10	5	Elétrica	Falha na impressão.	26/05/2014 08:10	26/05/2014 08:15	F	79,5833	5	0,0833
16/08/2014	06:01	5	Elétrica	Limpeza do datador da taxa 1	16/08/2014 06:01	16/08/2014 06:06	F	1965,7667	5	0,0833
18/08/2014	15:10	10	Elétrica	Falha no datador	18/08/2014 15:10	18/08/2014 15:20	F	57,0667	10	0,1667
01/09/2014	13:01	17	Elétrica	Datadores: Fechou curto circuito nas tomadas de alimenta	01/09/2014 13:01	01/09/2014 13:18	F	333,6833	17	0,2833
19/09/2014	19:08	8	Elétrica	Falha no datador, eletrcista efetuando limpeza e ajuste.	19/09/2014 19:08	19/09/2014 19:16	F	437,8333	8	0,1333
20/09/2014	03:00	5	Elétrica	Troca do datador N02, devido a falha de impressão da dat	20/09/2014 03:00	20/09/2014 03:05	F	7,7333	5	0,0833
06/10/2014	17:30	9	Elétrica	Datador da seladora 01, falha na impressão	06/10/2014 17:30	06/10/2014 17:39	F	398,4167	9	0,1500
16/10/2014	11:40	6	Elétrica	Falha na impressão - Limpeza no canhão	16/10/2014 11:40	16/10/2014 11:46	F	234,0167	6	0,1000
16/10/2014	14:54	6	Elétrica	Falha na impressão.	16/10/2014 14:54	16/10/2014 15:00	F	3,1333	6	0,1000
30/10/2014	19:36	5	Elétrica	Falha na impressãp, necessario limpeza no datador da ta	30/10/2014 19:36	30/10/2014 19:41	F	340,6000	5	0,0833
03/11/2014	06:00	7	Elétrica	Falha na impressão, foi trocado o datador 1.	03/11/2014 06:00	03/11/2014 06:07	F	82,3169	7	0,1167
21/11/2014	03:00	6	Elétrica	Falha na impressão da data.	21/11/2014 03:00	21/11/2014 03:06	F	428,8831	6	0,1000
20/12/2014	00:20	5	Elétrica	Falha no datador 1: Falha na codificação da data e lote	20/12/2014 00:20	20/12/2014 00:25	F	693,2333	5	0,0833
13/01/2015	18:01	20	Elétrica	Falha na impressao do datador, foi substituido o mesmo.	13/01/2015 18:01	13/01/2015 18:21	F	593,6000	20	0,3333
13/01/2015	19:01	22	Elétrica	Falha na impressao do datador, foi substituido o mesmo.	13/01/2015 19:01	13/01/2015 19:23	F	0,6667	22	0,3667
15/01/2015	20:00	14	Elétrica	Falha na codificação foi feito limpeza varias vezes.	15/01/2015 20:00	15/01/2015 20:14	F	48,6167	14	0,2333
15/03/2015	10:18	6,8	Elétrica	Datador 1 - começou a falhar a codificação, eletrcista rea	15/03/2015 10:18	15/03/2015 10:24	F	1406,0667	6	0,1000
					31/03/2015 23:59		S	397,5833	0	

Figura 27 – Planilha de Modelamento para Cálculos de TTF e TTR

Fonte: Autoria própria (2016)

Os dados de TTF de um equipamento qualquer são calculados com a subtração da data/hora inicial (B) de uma avaria com a data/hora final (A) da avaria anterior. A subtração demonstrada na Figura 28 resulta no tempo (C) em horas:

COMENTÁRIOS	INICIO	FIM	F/S	TTF(h)
OPERACIONALIDADE - AJUSTE NA HASTE DE VIBRAÇÃO	18/03/2013 21:04	18/03/2013 21:08	F	0,2906
GUIA DE SAIDA EMPENOU DEVIDO A ENROSCAMENTO DE GARRA	31/03/2013 16:02	31/03/2013 16:40	F	306,9

Figura 28 – Forma de Cálculos dos Dados de TTF

Fonte: Autoria própria (2016)

Os dados de TTR de um equipamento qualquer são calculados com a subtração da data/hora final (B) de uma avaria com a data/hora inicial (A) desta mesma avaria. A subtração demonstrada na Figura 29 resulta no tempo (C) em horas:

COMENTÁRIOS	INICIO	FIM	TTR (h)
GUIA DE SAIDA EMPENOU DEVIDO A ENROSCAMENTO DE GARRA	31/03/2013 16:02	31/03/2013 16:40	0,6
GUIA DE SAIDA EMPENOU DEVIDO A ENROSCAMENTO DE GARRA	31/03/2013 17:00	31/03/2013 17:47	0,7833

Figura 29 – Forma de Cálculos dos Dados de TTR

Fonte: Autoria própria (2016)

A planilha permite escolher diferentes linhas de produção, unidades, equipamentos, especialidades e períodos para extração dos dados:

<i>Linha:</i>	LINHA 02 - PTR
<i>Máquina:</i>	Enchedora
<i>Especialidade:</i>	Elétrica/Mecânica
<i>Data Inicial:</i>	18/1/14 0:00
<i>Data Final:</i>	31/09/15 23:59

Quadro 1 – Seleção do Usuário para Filtro

Fonte: Autoria própria (2016)

Este tipo de priorização denomina-se de estilo “caixa-preta” e é por esta razão que estão sendo consideradas todas as paradas de produção ocasionadas por problemas de operação e de manutenção independentemente da especialidade atribuída no instante da falha para os equipamentos analisados. As demais especialidades (Quadro 2), tais como paradas administrativas, logísticas, etc., não foram consideradas no desenvolvimento deste trabalho.

<i>Especialidade:</i>	Elétrica/Mecânica
-----------------------	-------------------

Quadro 2 – Tipo de Especialidade para Filtro

Fonte: Autoria própria (2016)

A extração dos TTF e TTR é realizada quando pressionamos o botão “FILTRAR DADOS” na “Planilha de Modelamento” (Figura 27).

SELEÇÃO
FILTRAR DADOS
ENCERRAR

Quadro 3 – Botão para Iniciar Filtro

Fonte: Autoria própria (2016)

Ao término da filtragem, a planilha disponibilizará os dados já calculados e prontos para exportação para o *software* “Weibull++”. As curvas de confiabilidade e de manutenibilidade de cada ativo em análise são elencadas com estas informações.

Os dados que serão transportados para o *software* podem ser visualizados nas colunas [F/S], [TTF] e [TTR] da “Planilha de Modelamento” (Figura 27).

F/S	TTF(h)	TTR (h)
S	176,1667	0,1667
F	2,1333	0,2167
F	241,6500	0,2500
F	83,9167	0,0833
F	79,5833	0,0833
F	1965,7667	0,0833
F	57,0667	0,1667
F	333,6833	0,2833
F	437,8333	0,1333
F	7,7333	0,0833
F	398,4167	0,1500
F	234,0167	0,1000
F	3,1333	0,1000
F	340,6000	0,0833
F	82,3169	0,1167
F	428,8831	0,1000
F	693,2333	0,0833
F	593,6000	0,3333
F	0,6667	0,3667
F	48,6167	0,2333
F	1406,0667	0,1000
S	397,5833	

Figura 30 – Dados de TTF e TTR Calculados
Fonte: Autoria própria (2016)

A coluna [F/S] da Figura 30 distingue quais os tipos de dados, sendo “F” (falha) ou em “S” (suspensão). Observe na Figura 30, que o primeiro dado da coluna [F/S] sempre será “S”, pois não conhecemos quando foi à última falha antes da “Data Inicial” especificada para filtragem dos dados (Quadro 1).

Caso o equipamento for iniciar as suas operações (novo no sistema), o primeiro dado seria um tipo de dado “F”, pois o tempo inicial de operação do equipamento seria conhecido.

O dado final também será tratado como uma suspensão, por ser o último apontamento até a interrupção da coleta de dados inserida pelo usuário na “Data Final” (Quadro 1), ou seja, será o momento em que estamos finalizando a avaliação dos dados extraídos ou como dito em confiabilidade, encerrando os testes.

Todos os dados entre a “Data Inicial” e “Data Final” serão tratados como tempo até a falha.

Depois de filtrar os apontamentos, será possível averiguar na “Planilha de Modelamento” (Figura 27) no canto superior direito informações conforme demonstrada na Figura 31, a quantidade de dados de falha e o tempo total de reparo do equipamento escolhido:

Falhas:	<u>20</u>	Dados
Tempo:	<u>3:19:00</u>	h

Figura 31 – Número Total de Falhas e de Tempo Indisponível
Fonte: Autoria própria (2016)

Estes dados acima serão utilizados para comparar se os modelos que o *software* “Weibull++” calculou, coincidem ou aproximam-se dos dados de falha e do tempo indisponível contidos na “Planilha de Modelamento” (Figura 27).

Esta comparação é realizada utilizando a simulação no *software* “BlockSim” e é necessária para a adequação dos modelos calculados.

Todos os ativos das linhas de produção passaram pelo processo de tratativa de dados e para o cálculo dos dados de TTF e dos dados de TTR.

4.5 CONFIGURAÇÕES NO SOFTWARE WEIBULL++

Com todos os dados de todos os ativos extraídos e calculados, o próximo passo será configurar o *software* Weibull++ fornecido pela Reliasoft do Brasil e criar um projeto, ou seja, criar um “Repositório”. Para cada linha de envase, foi criado um nome de repositório conforme Figura 32:

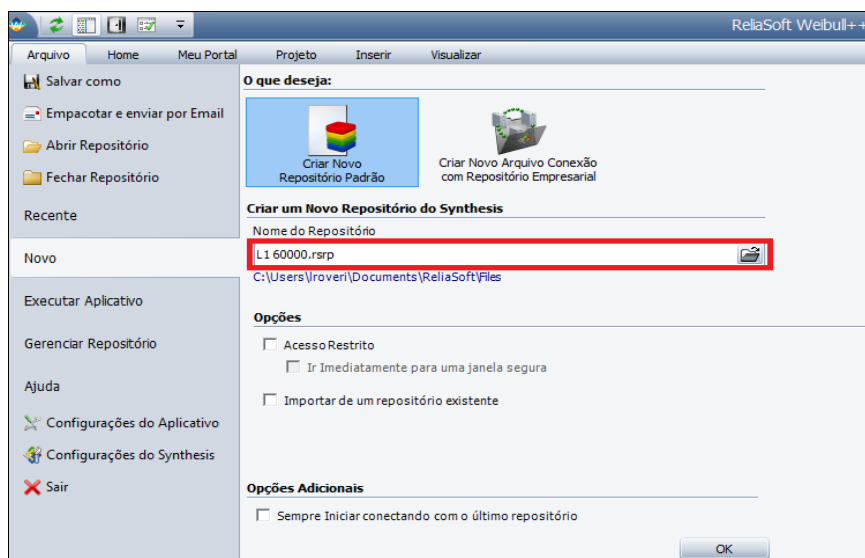


Figura 32 – Tela de Criação de Repositório no Weibull++
Fonte: Software Weibull++ - Reliasoft Brasil (2016)

Criado o repositório no *software*, a inserção dos dados de falha e o de reparo será inserida na “Planilha Padrão do Weibull ++” localizada na coluna “Gestor de Projeto” (Figura 33).

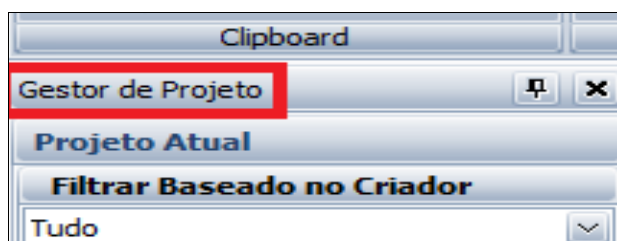


Figura 33 – Clipboard “Gestor de Projeto” no Weibull++
Fonte: Software Weibull++ - Reliasoft Brasil (2016)

Os nomes inseridos na coluna “Gestor de Projeto” para as “Planilhas Padrão Weibull++” são idênticos aos nomes dos equipamentos atribuídos na “Planilha de Modelamento” (Figura 27).

As listas dos nomes dos equipamentos estarão disponibilizadas em planilhas conforme Figura 34:

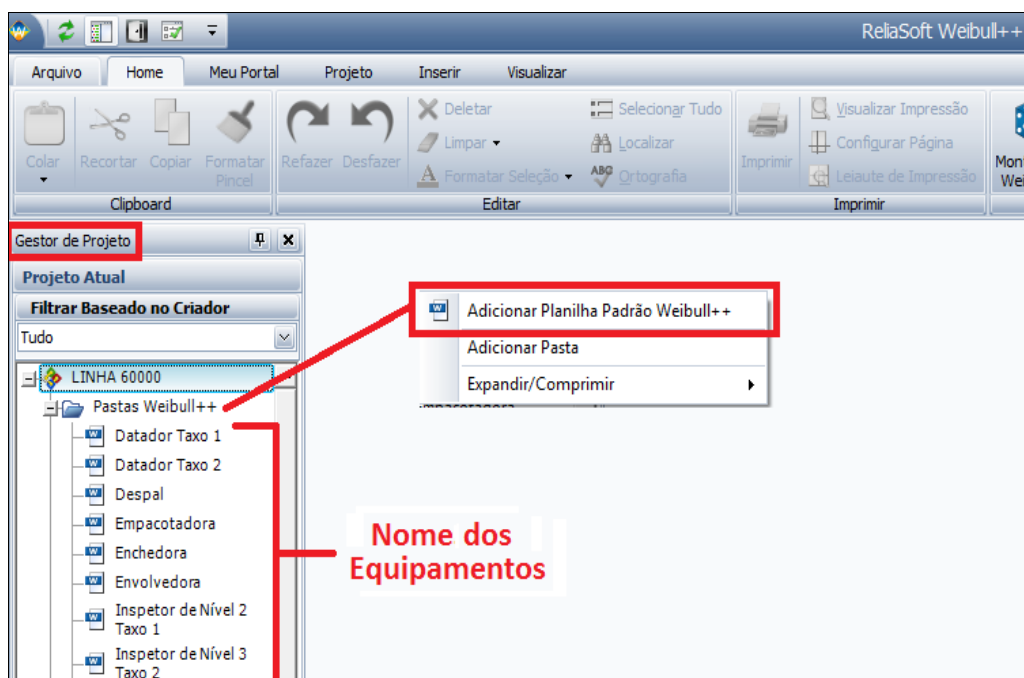


Figura 34 – Nome de Equipamentos em “Gestor de Projeto” no Weibull++
Fonte: Autoria própria (2016)

Em cada planilha padrão criada no “Weibull++”, os cálculos dos dados TTF de cada equipamento obedecem à seguinte configuração conforme Figura 35:

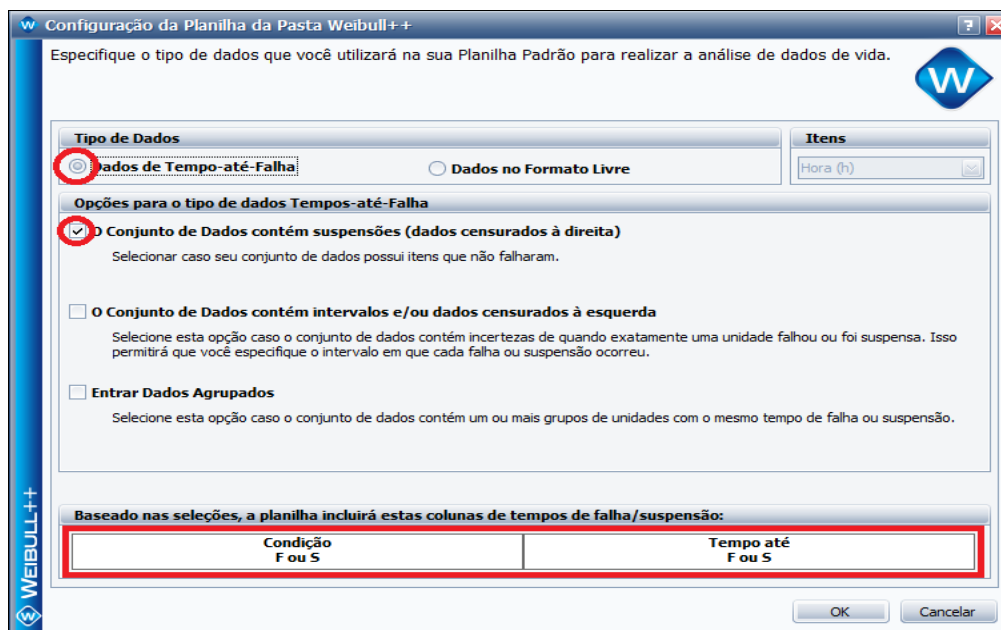


Figura 35 – Configuração para Dados de TTF no Weibull++

Fonte: Autoria própria (2016)

Devido os dados extraídos da “Planilha de Modelamento” (Figura 27) conter suspensões, a opção “Conjunto de Dados Contém Suspensões” da “Planilha da Pasta Weibull++” apresentada na figura acima, deve estar selecionada.

Para os cálculos de TTR na planilha padrão criada no Weibull++, os cálculos obedecem à seguinte configuração conforme Figura 36:

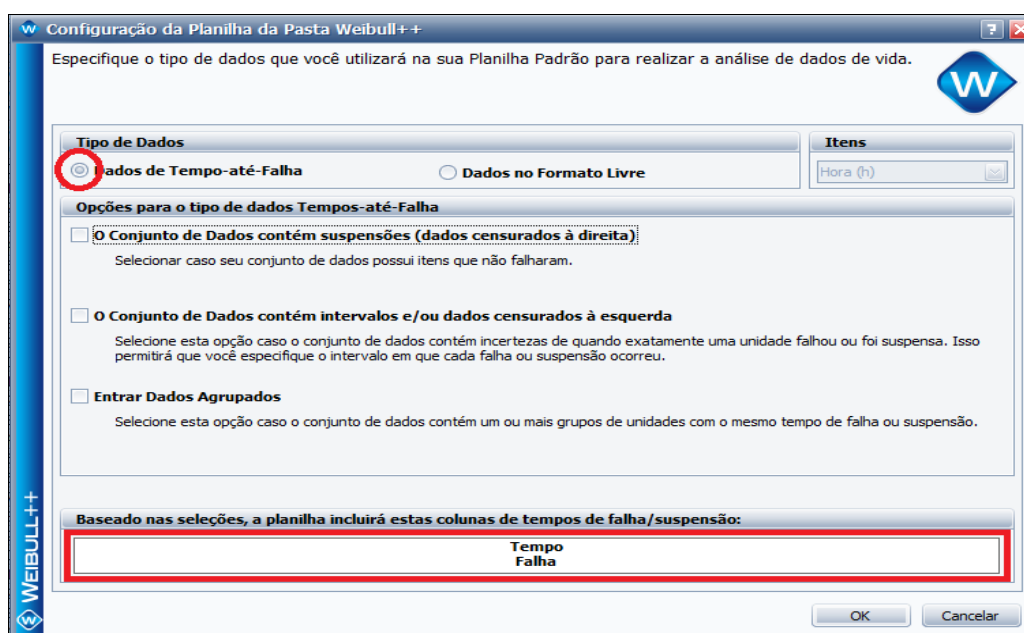


Figura 36 – Configuração para Dados de TTR no Weibull++

Fonte: Autoria própria (2016)

4.6 INSERINDO OS DADOS TTF E TTR NO WEIBULL++

Todas as pastas criadas para os equipamentos nas pastas do “Weibull++” contêm duas planilhas nomeadas de TTF e TTR.

Os dados de falha serão copiados da “Planilha de Modelamento” (Figura 27), colunas [F/S] e [TTF(h)], e inseridos na planilha correspondente ao equipamento em análise na aba denominada de **TTF** conforme a Figura 37.

O mesmo processo deve ser repetir para com os dados de **TTR**, cujos mesmos serão copiados da “Planilha de Modelamento” (Figura 27), coluna [TTR(h)] e inseridos na planilha correspondente ao equipamento em análise na aba denominada de **TTR**, conforme Figura 38.

The screenshot shows the Weibull++ interface. On the left is a tree view of folders under 'LINHA 60000'. The main window displays a data table with columns 'Estado F ou S', 'F/S', 'Tempo da F ou S', and 'TTF(h)'. A summary box on the right shows 'Falhas: 11' and 'Tempo: 2,42 h'. Below this is a table with columns 'DATA', 'HORA', 'TEMPO', 'ÁREA', 'F/S', 'TTF(h)', 'TTR', and 'TTR (h)'. A red circle at the bottom of the interface highlights the 'TTF TTR' tab.

Estado F ou S	F/S	Tempo da F ou S	TTF(h)
1	S	121,25	
2	F	274,85	
3	F	320,7333	
4	F	1861,3667	
5	F	0,5	
6	F	15,3333	
7	F	4,25	
8	F	751	
9	F	2053,75	
10	F	2381	
11	S	247,5333	

DATA	HORA	TEMPO	ÁREA	F/S	TTF(h)	TTR	TTR (h)
07/03/2013	04:46	5,3	Mecânica	S	121,2500	4	0,0667
18/03/2013	20:42	4,28	Elétrica	F	274,8500	8	0,1333
18/03/2013	21:04	4,2	Elétrica	F	320,7333	6	0,1000
31/03/2013	16:02	38	Mecânica	F	1861,3667	60	1,0000
31/03/2013	17:00	47,13	Mecânica				
25/04/2013	16:56	4,5	Elétrica	F	0,5000	25	0,4167
03/05/2013	00:26	4,08	Elétrica	F	15,3333	10	0,1667
03/05/2013	05:36	5,12	Mecânica	F	4,2500	10	0,1667
22/05/2013	10:45	5	Elétrica	F	751,0000	8	0,1333
05/06/2013	09:00	39,25	Mecânica	F	2053,7500	6	0,1000
05/06/2013	14:46	10,41	Mecânica	F	2381,0000	8	0,1333
05/06/2013	15:00	49,5	Mecânica	S	247,5333	0	

Figura 37 – Transferindo os Dados de TTF para a Planilha TTF no Weibull++

Fonte: Autoria própria (2016)

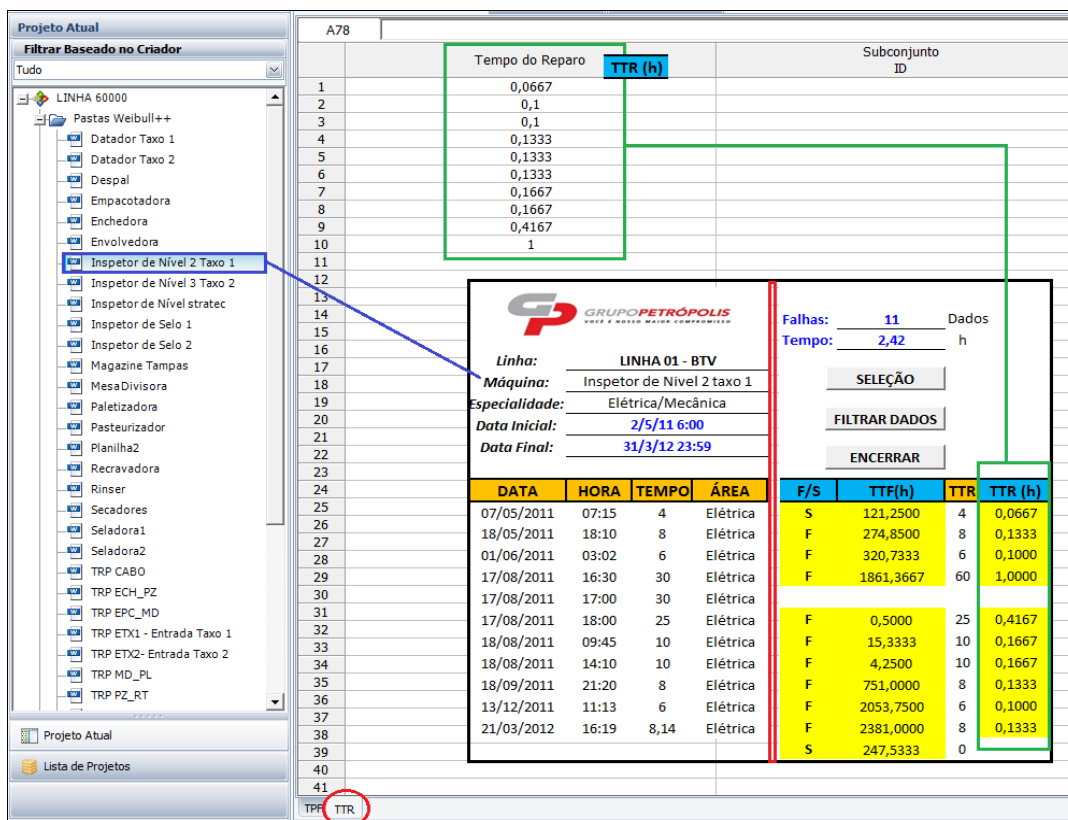


Figura 38 – Transferindo os Dados de TTR para a Planilha TTR no Weibull++

Fonte: Autoria própria (2016)

4.7 CONFIGURAÇÕES DAS ANÁLISES NO WEIBULL++

Os dados já inseridos nas planilhas de seus respectivos equipamentos, deve-se manter a seguinte configuração das análises através da caixa “Distribuição” localizada no canto direito do Weibull ++ conforme Figura 39:

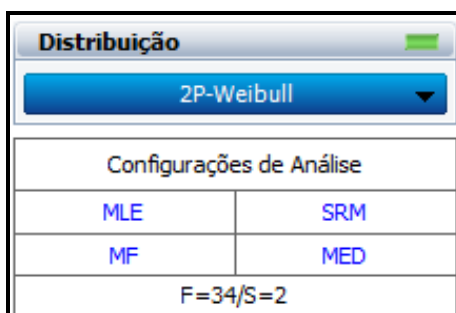


Figura 39 – Caixa Distribuição Weibull++

Fonte: Software Weibull++ - Reliasoft Brasil (2016)

O método de estimação de parâmetros pode ser alterado para **RRX** ou **RRY** dependendo da quantidade de dados obtidos.

4.8 CONFIGURAÇÕES PARA OS TESTES DE ADERÊNCIA NO WEIBULL++

Para calcular as Curvas de Confiabilidade para os dados de TTF inseridos, é necessário configurar as distribuições matemáticas conforme Figura 40:

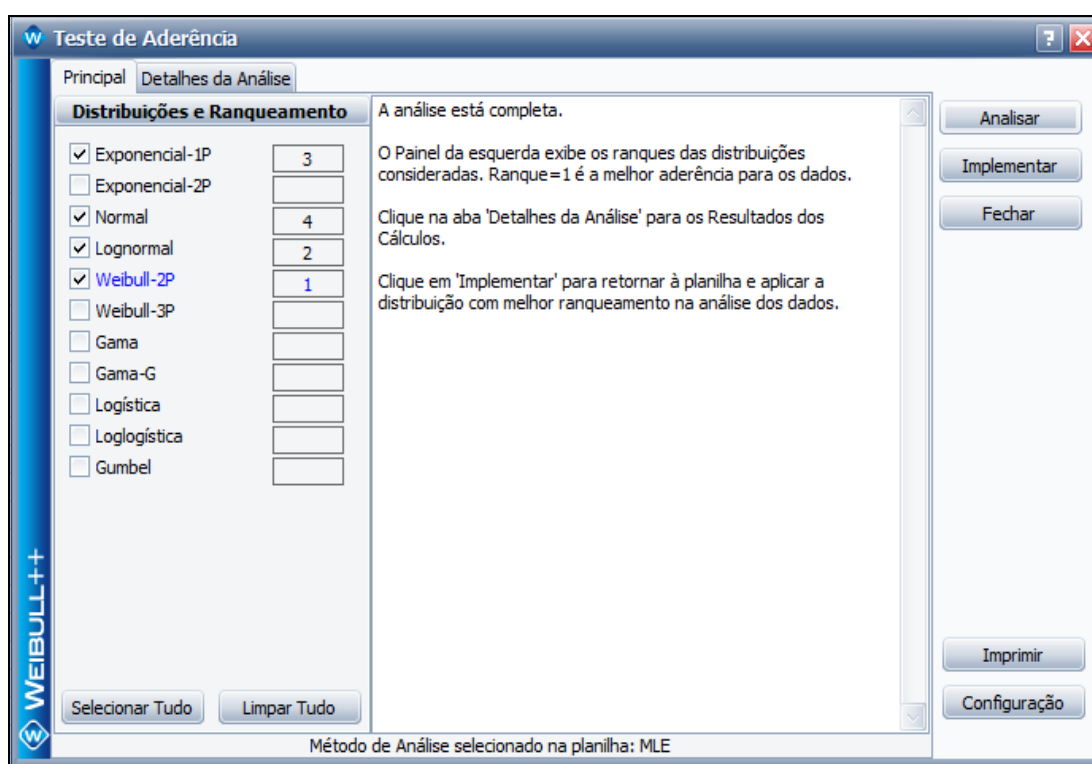


Figura 40 – Distribuições para Calculo Curva de Confiabilidade

Fonte: *Software Weibull++ - Reliasoft Brasil (2016)*

Para calcular as Curvas de Manutenibilidade para os dados de TTR inseridos é necessário configurar as distribuições matemáticas conforme a Figura 41:

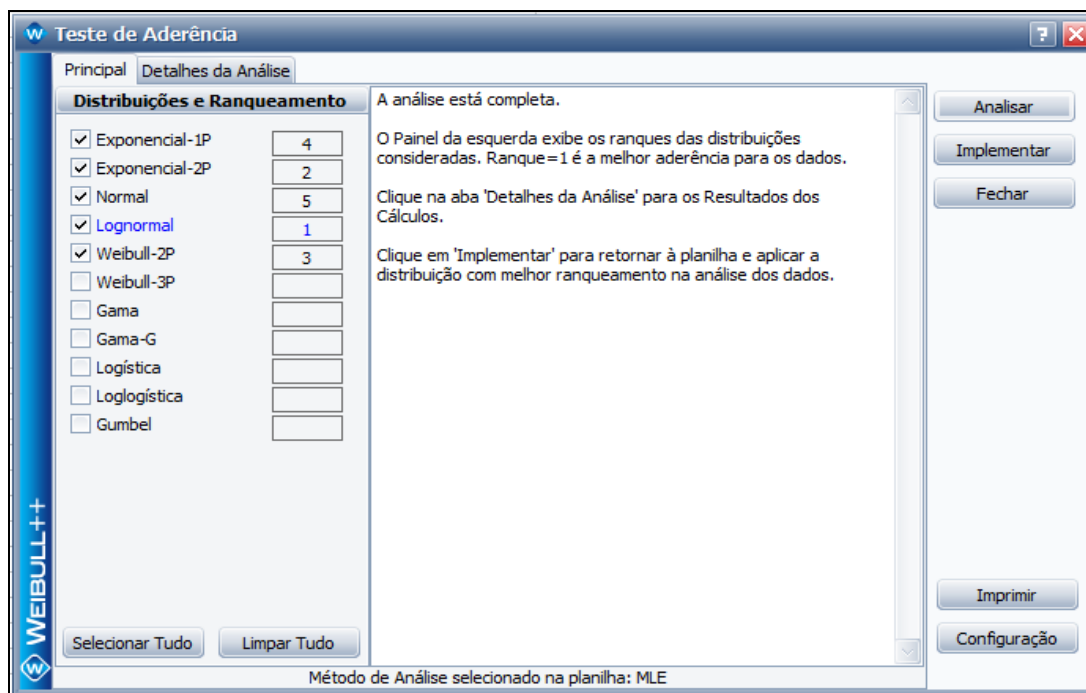


Figura 41 – Distribuições para Calculo Curva de Manutenibilidade.

Fonte: Software Weibull++ - Reliasoft Brasil (2016)

As configurações acima citadas são realizadas para determinar os modelos (distribuições e parâmetros) de confiabilidade e de manutenibilidade para os equipamentos, outras distribuições poderão ser utilizadas, caso seja necessário adequar as curvas dos modelos aos dados coletados.

4.9 PUBLICAÇÕES DOS MODELOS

Todos os modelos necessitam ser publicados no *software* “Weibull++” para que seja possível selecioná-los quando criarmos os blocos de simulação no *software* “BlockSim”. A publicação de um modelo no “Weibull++” é realizada clicando o botão apresentado conforme a Figura 42:



Figura 42 – Botão de Publicação de Modelos

Fonte: Software Weibull++ - Reliasoft Brasil (2016)

Ao clicar neste botão da Figura 42, será aberta uma janela denominada de “Modelo Publicado”, onde o próprio “Weibull++” irá sugerir um nome de modelo como demonstrada na Figura 43 a para publicação, unindo o “NOME DA PASTA com o NOME DA ABA”.

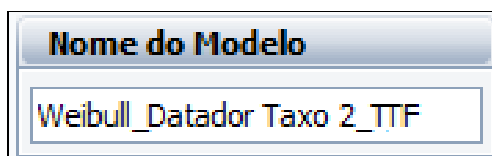


Figura 43 – Nome do Modelo Publicado no Weibull++.

Fonte: Autoria própria (2016)

Na Figura 44, estão demonstrados os resultados dos cálculos que este modelo contempla e antes de publicá-los, deve-se especificar a qual “Categoria de Modelo” a que estes resultados pertencem.

As duas categorias que serão utilizadas são as de “Confiabilidade” para os dados de TTF e os de “Duração” para os dados de TTR.

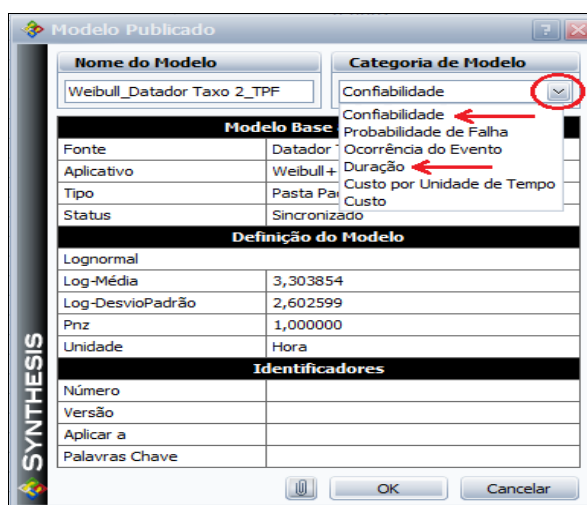


Figura 44 – Categoria de Modelo Publicado no Weibull++

Fonte: Autoria própria (2016)

4.10 ADICIONANDO OS MODELOS CALCULADOS NO BLOCO TESTE

Cada modelo de curva calculado no “Weibull++” de Confiabilidade e de Manutenibilidade dos equipamentos será introduzido em um diagrama de bloco de teste para simulação no *software* “BlockSim”.

Este tipo de teste é realizado para comparar se o modelo aproxima-se da quantidade de falha e do tempo total indisponível calculado na “Planilha de Modelamento” (Figura 27).

A Figura 45 demonstra como inserir um “Diagrama de Bloco de Confiabilidade” de simulação no *software* “BlockSim”:

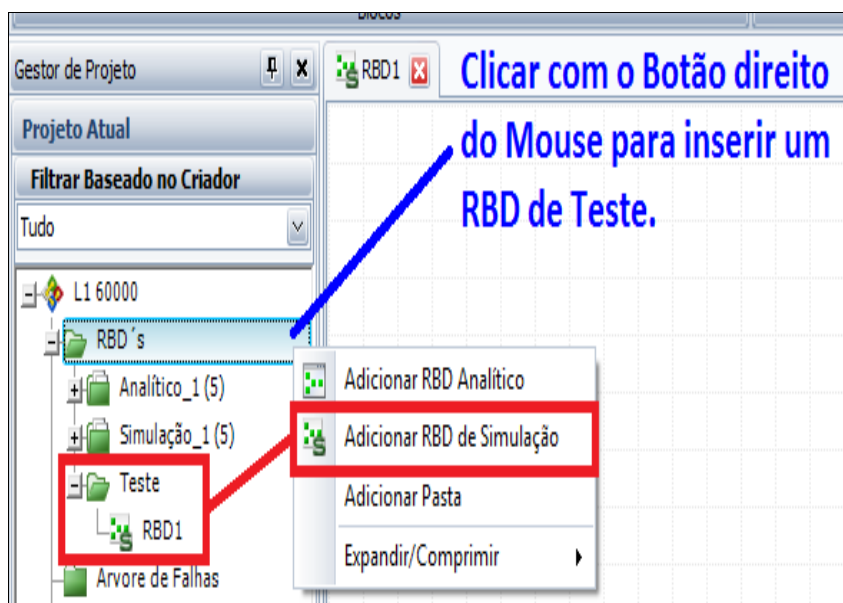


Figura 45 – Adicionando um RBD de Simulação no BlockSim

Fonte: Autoria própria (2016)

Para a realização da simulação, depois de criado o diagrama, será adicionado um único bloco para que sejam inseridos os “Modelos-Confiabilidade” e os “Modelos-Mantenabilidade” publicados.

Para que seja executada uma simulação de um sistema reparável, é necessário fornecer ao “BlockSim” os modelos de confiabilidade e os modelos de manutenibilidade.

Os modelos calculados e inseridos no bloco permitem obter outras informações após a simulação, tais como Disponibilidade, Tempo Indisponível do Sistema, MTBF, MTTR, Custos, etc..

O próximo passo será adicionar ao bloco teste no RBD de simulação, através da opção de “Propriedade de Blocos”, os modelos de confiabilidade e de manutenibilidade do equipamento em teste.

Primeiramente, seleciona-se o modelo de confiabilidade do equipamento (Figura 46):

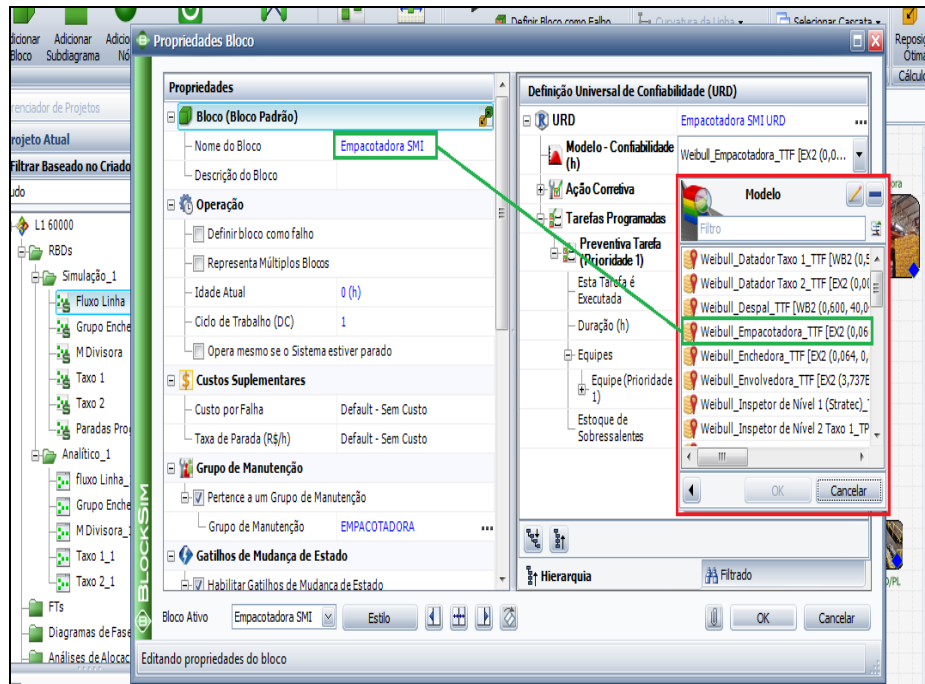


Figura 46 – Selecionando o Modelo de Confiabilidade do Equipamento
 Fonte: Autoria própria (2016)

Em seguida, seleciona-se o modelo de manutenibilidade do equipamento (Figura 47):

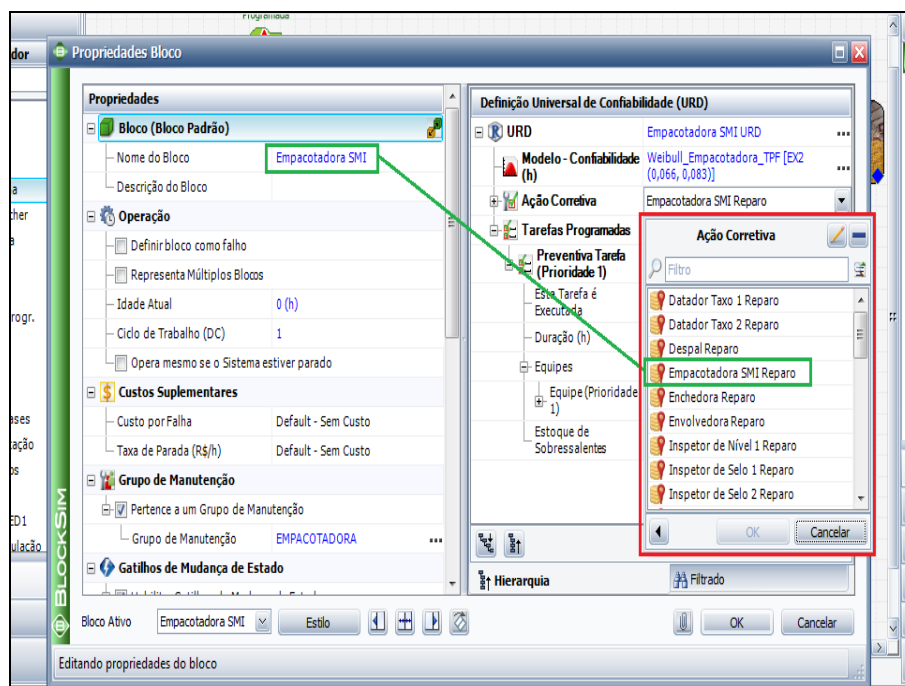


Figura 47 – Selecionando o Modelo de Manutenibilidade do Equipamento
 Fonte: Autoria própria (2016)

Finalizada a introdução dos modelos de confiabilidade e de manutenibilidade no bloco do equipamento em teste, teremos na URD da Figura 48, as seguintes informações:

Definição Universal de Confiabilidade (URD)	
URD	Datador Taxo 1 URD ...
Modelo - Confiabilidade (h)	Weibull_Datador Taxo 1_TTF [WB2 (0,531674, 147,237183)] ...
Ação Corretiva	Datador Taxo 1 Ação Corretiva ...
Iniciar Tarefa Corretiva	Na Falha do Item
Duração (h)	Weibull_Datador Taxo 1_TTR [WB2 (1,401043, 0,162507)] ...

Figura 48 – Modelos Inseridos no Bloco
Fonte: Autoria própria (2016)

4.11 VERIFICAÇÕES E ADEQUAÇÕES DOS MODELOS SIMULADOS

Depois de inserido os modelos, realiza-se a simulação do bloco teste clicando no símbolo “S” demonstrado na Figura 49:

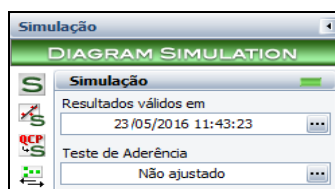


Figura 49 – Simulação do Diagrama
Fonte: Software BlockSim - Reliasoft Brasil (2016)

Na tela de simulação do *software* “BlockSim”, deve-se levar em conta que para verificar a adequação e aproximação dos modelos de confiabilidade e de manutenibilidade que o “Weibull++” calculou, o campo “Tempo Final da Simulação” (Figura 50) terá de conter o mesmo período de tempo inserido para filtro na “Planilha de Modelamento” (Figura 27):



Figura 50 – Configuração do Tempo Final de Simulação
Fonte: Software BlockSim - Reliasoft Brasil (2016)

Finalizada a simulação, devem-se comparar os valores obtidos (Figura 51) nos resultados em “Visão Geral do Sistema” do *software* “BlockSim” com os valores obtidos da “Planilha de Modelagem” (Figura 27):

Visão Geral do Sistema	
Geral	
Disponibilidade Média (Todos Eventos):	0,999513
Desvio Padrão (Disponibilidade Média):	3,3E-005
Disponibilidade Média (sem MP, OC e Inspeção):	0,999513
Disponibilidade Pontual (Todos Eventos) em 8030:	1
Confiabilidade(8030):	0
Quantidade Esperada de Falhas:	33,87
Desvio Padrão (Quantidade de Falhas):	2,53349
TMAFF (h):	72577,24351
Tempo Disponível/Indisponível do Sistema	
Tempo Disponível (h):	8026,088348
Tempo Indisponível da MC (h):	3,911652
Tempo Indisponível da Inspeção (h):	0
Tempo Indisponível MP (h):	0
Tempo Indisponível da OC (h):	0
Tempo Indisponível Total (h):	3,911652
Eventos com Parada do Sistema	
Número de Falhas:	33,87
Quantidade de MCs:	33,87
Quantidade de Inspeções:	0
Quantidade de MPs:	0
Quantidade de OCs:	0
Quantidade de Gatilhos:	0
Quantidade de Eventos:	33,87
Custos	
Custo Total:	0
Produção	
Produção Total:	N/D

Planilha "Modelagem"	
Falhas:	34
Tempo:	4:09
Dados h	
SELEÇÃO	
FILTRAR DADOS	
ENCERRAR	
F/S	TTF(h) TTR TTR (h)

Figura 51 – Comparação dos Resultados de Simulação do Bloco Teste
Fonte: Autoria própria (2016)

Caso o resultado da simulação do “BlockSim” não corresponda ou não tenha uma aproximação coerente, será necessário utilizar outras distribuições para ajuste dos modelos de confiabilidade e/ou de manutenibilidade. Feita todas as averiguações de valores entre os *softwares* “Weibull++” e “BlockSim”, teremos todos os modelos já definidos (Figura 52) e disponibilizados para a elaboração do RBD completo.

Gerenciador de Recursos (Projeto: L1 60000)							
Nome do Modelo	Distribuição	Categoria do Modelo	Unidade do Modelo	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Com	
Weibull_Inspeção de Nível ...	Lognormal	Duração		-1,78166873864456	0,785945415614983		
Weibull_Inspeção de Nível ...	Lognormal	Confiabilidade		7,458135327003	1,24160774723519		
Weibull_Inspeção de Nível ...	Lognormal	Duração		-2,53330649338193	1,4792678131018		
Weibull_Inspeção de Selo 1...	Lognormal	Confiabilidade		6,73015505182506	2,0162621353945		
Weibull_Inspeção de Selo 1...	2P-Exponencial	Duração		24,9875062468766	0,05		
Weibull_Inspeção de Selo 2...	2P-Weibull	Confiabilidade		1,1742592834425	1983,7206734718		
Weibull_Inspeção de Selo 2...	2P-Exponencial	Duração		15,0105073551486	0,0167		
Weibull_Magazine Tampas...	2P-Exponencial	Confiabilidade		0,0466430682833455	0,0833		
Weibull_Magazine Tampas...	2P-Exponencial	Duração		17,413550823759	0,0167		
Weibull_Mesa Divisora_TPF	2P-Exponencial	Confiabilidade		0,0164174024566299	0,1333		
Weibull_Mesa Divisora_TPR	2P-Exponencial	Duração		3,80266474612892	0,0167		
Weibull_Paletizadora_TPF	2P-Exponencial	Confiabilidade		0,0276514841626187	0,0833		
Weibull_Paletizadora_TPR	2P-Exponencial	Duração		3,98492580104221	0,0167		
Weibull_Pasteurizador_TPF	2P-Exponencial	Confiabilidade		0,0370905354194811	0,1003		
Weibull_Pasteurizador_TPR	2P-Weibull	Duração		0,903987982713509	0,151426248845727		
Weibull_Recravadora_TPF	2P-Exponencial	Confiabilidade		0,0452987989124695	0,0839		
Weibull_Recravadora_TPR	2P-Exponencial	Duração		12,0320810808093	0,0167		
Weibull_Rinsor_TPF	Lognormal	Confiabilidade		7,31323692290902	1,8196043411224		

Figura 52 – Gerenciador de Recursos (Modelos)
Fonte: Software BlockSim - Reliasoft Brasil (2016)

Com todos os modelos já adequados, é possível obter graficamente através do “Weibull++”, as PDFs, as curvas de Confiabilidade, Probabilidades de Falhas entre outros dados para cada equipamento. As PDFs demonstram ou representam o comportamento dos equipamentos, ou seja, o desempenho destes durante o período de produção que foi analisado. No Gráfico 2, é possível verificar exemplos de PDFs de alguns equipamentos modelados:

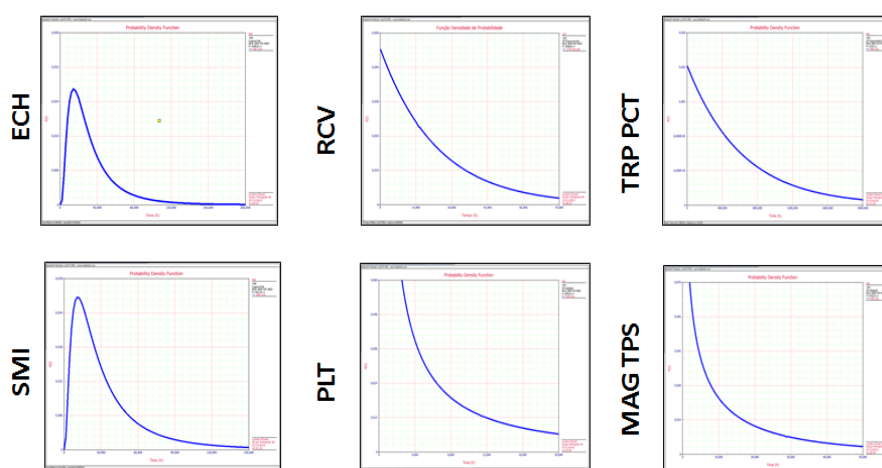


Gráfico 2 – PDFs de Equipamentos
Fonte: Autoria própria (2016)

Para os mesmos equipamentos, as curvas de Confiabilidade ao longo do tempo estão demonstradas conforme Gráfico 3:

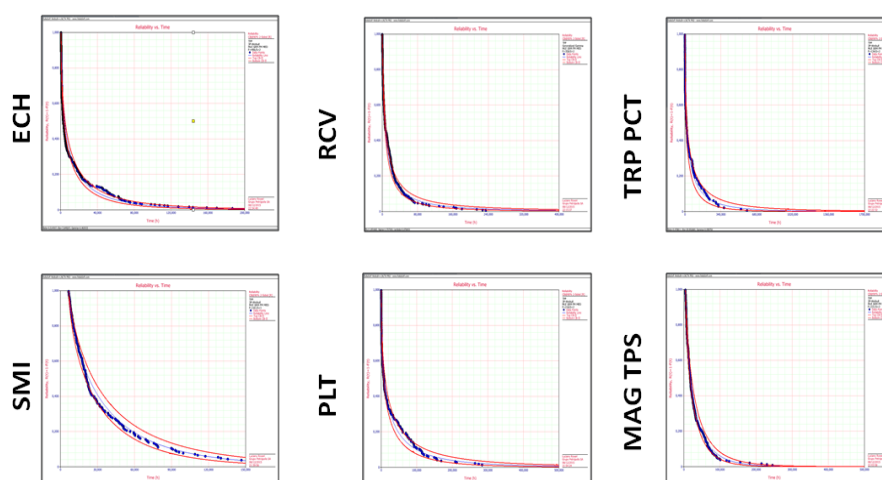


Gráfico 3 – Curvas de Confiabilidade ao Longo do Tempo
Fonte: Autoria própria (2016)

E as respectivas Probabilidades de Falhas ao longo do tempo destes mesmos equipamentos estão demonstradas conforme a seguir:

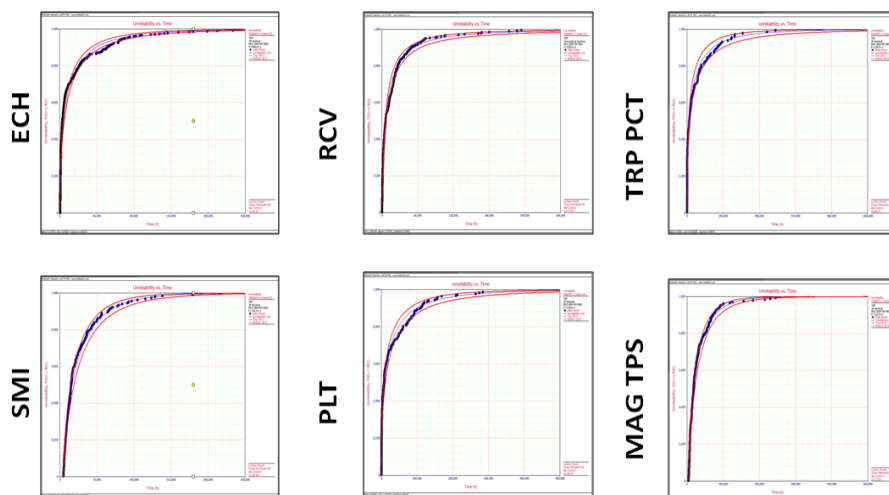


Gráfico 4 – Curvas de Probabilidade de Falhas ao Longo do Tempo
Fonte: Autoria própria (2016)

Há grande quantidade de dados observados nos gráficos acima por se tratar de que foram inseridas todas as falhas e todos os reparos ocorridos em cada equipamento.

4.12 DIAGRAMAS DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE – LINHA DE ENVASE

Os diagramas de blocos representam a disposição dos equipamentos na linha de produção, porém vale ressaltar que esta disposição no *software* “BlockSim”, ou seja, as conexões entre os blocos (equipamentos) podem divergir do *layout* físico em que os equipamentos estão instalados na linha de produção. Se as conexões dos blocos estiverem erroneamente interligadas, os resultados da simulação contendo número de Falhas Esperadas, MTBF, MTTR, Custos, Indisponibilidade, dentre outros dados calculados do sistema, estarão comprometidos, levando a uma priorização errônea dos ativos em estudo. O próximo passo será a elaboração do diagrama de blocos para os equipamentos que fazem parte do sistema em estudo. Cada bloco neste diagrama representa um equipamento e os modelos de Confiabilidade e de Manutenibilidade devem ser inseridos em seus respectivos blocos representativos.

A linha de produção do estudo detalhado nesta monografia esta representada na Figura 53 a seguir:

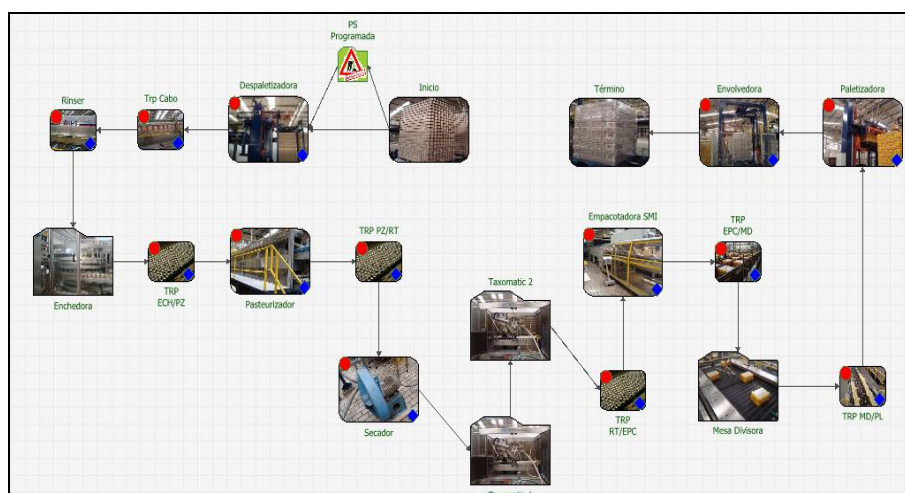


Figura 53 – RBD – Linha de Envase de Latas
Fonte: Autoria própria (2016)

Neste projeto foram utilizados os gatilhos para informar ao “BlockSim” qual o regime de trabalho da linha de produção em questão. O regime que estamos mencionando no caso desta linha de produção, refere-se a uma interrupção programada semanal para limpeza e manutenção de 12 horas e que ocorre a cada 168 horas. Os gatilhos são programados para causar a interrupção e/ou ativação do sistema (Figura 54) baseando-se no intervalo programado na propriedade do bloco:



Figura 54 – Influência dos Gatilhos no Sistema RBD
Fonte: Autoria própria (2016)

No diagrama de blocos principal (Figura 53), o bloco responsável pela ativação e desativação dos gatilhos poderá ser identificado conforme Figura 55:



Figura 55 – Bloco de Ativação e Desativação de Gatilhos (PS Programada)

Fonte: Autoria própria (2016)

4.13 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO RBD – LINHA DE ENVASE

Serão identificados nesta etapa os ativos prioritizados através dos resultados obtidos com a simulação do diagrama. O acesso à simulação e aos parâmetros de configuração dar-se-á igualmente descrito no **item 2.11**. O valor do campo “Tempo Final da Simulação” (Figura 35) deve ser o mesmo período de tempo dos dados coletados, pois estamos querendo determinar os “bad actors” deste período de produção. Neste estudo, estamos considerando 8760 horas o período em análise. Os resultados obtidos ao final da simulação do período em questão estarão disponibilizados da seguinte maneira:

Tabela 1 - Resultado Final Simulação RBD

Visão Geral do Sistema	
Geral	
Disponibilidade Média (Todos Eventos):	0,852949
Desvio Padrão (Disponibilidade Média):	0,001528
Disponibilidade Média (sem MP, OC e Inspeção):	0,918607
Disponibilidade Pontual (Todos Eventos) em 8760:	0,9
Confiabilidade(8760):	0
Quantidade Esperada de Falhas:	4410,2
Desvio Padrão (Quantidade de Falhas):	55,437057
TMAPF (h):	0,354991
MTBF (Tempo Total) (h):	1,986304
MTBF (Tempo de Funcionamento) (h):	1,694217
MTBE (Tempo Total) (h):	1,964919
MTBE (Tempo de Funcionamento) (h):	1,675976
Tempo Disponível/Indisponível do Sistema	
Tempo Disponível (h):	7471,837093
Tempo Indisponível da MC (h):	712,998659
Tempo Indisponível da Inspeção (h):	0
Tempo Indisponível MP (h):	575,164248
Tempo Indisponível da OC (h):	0
Downtime de Espera (h):	0
Tempo Indisponível Total (h):	1288,162907
Eventos com Parada do Sistema	
Número de Falhas:	4410,2
Quantidade de MCs:	4410,2
Quantidade de Inspeções:	0
Quantidade de MPs:	48
Quantidade de OCs:	0
Quantidade de Eventos OFF por Gatilho:	0
Total de Eventos:	4458,2
Custos	
Custo Total:	R\$ 112.785,67
Custos de Oportunidade (MC):	R\$ 0,00
Custos da OnCondition (Total):	R\$ 0,00

Fonte: Autoria própria (2016)

Dos resultados apresentados acima, cabe verificar importantes informações do sistema em análise como, por exemplo:

- Disponibilidade Média;
- Tempo Disponível;
- Quantidade de Falhas Esperadas;
- Tempo Indisponível para Manutenção Corretiva;
- Tempo Indisponível para Manutenção Preventiva;
- Tempo Indisponível Total;
- Quantidade de Paradas;
- Custo Total.

Os dados de TTR coletados e extraídos da “Planilha de Modelamento” (Figura 27), calculados no “Weibull++” e que deram origem aos modelos de Manutenibilidade, compõem os valores de “Tempo Indisponível da Manutenção Corretiva”, enquanto que os dados TTF coletados e extraídos da “Planilha de Modelamento” (Figura 27), calculados no “Weibull++” e que deram origem aos modelos de Confiabilidade compõe a “Quantidade de Manutenções Corretivas” e a “Quantidade Esperada de Falhas”.

Os gatilhos programados para informar ao “BlockSim” que o sistema semanalmente sofre uma parada de 12 horas para manutenção e limpeza compõem os valores de “Tempo Indisponível para Manutenção Preventiva” e a “Quantidade de Manutenção Preventiva”. O “Custo Total” apresentado na Tabela 1 está atribuído apenas ao “Custo da Mão de Obra” das equipes de mantenedores.

Não foram atribuídos outros custos, tais como os de peça, logísticos, etc. Os custos de peças, tarefas de manutenção, serão atribuídos durante o andamento do projeto.

4.14 CRITÉRIOS PARA PRIORIZAÇÃO DOS ATIVOS IMPACTANTES

Foram definidos cinco critérios para identificar e para priorizar os cinco Ativos das linhas de produção, sendo estes apresentados na Figura 56:

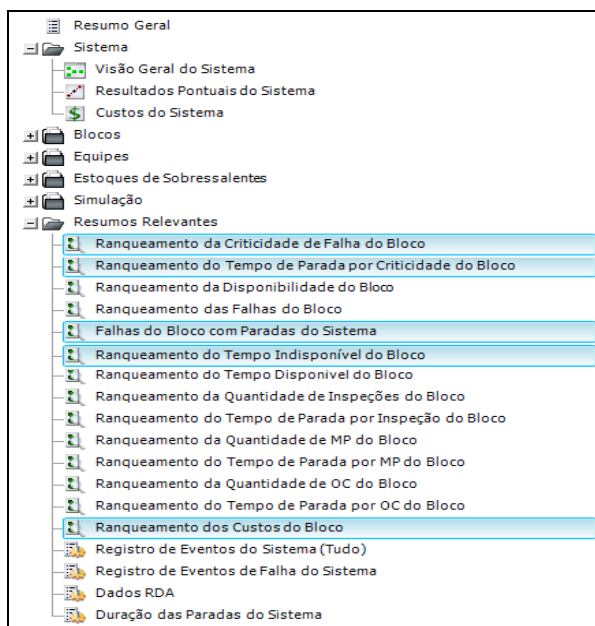


Figura 56 – Critérios de Priorização de Ativos

Fonte: Autoria própria (2016)

O primeiro critério é o “Ranqueamento da Criticidade de Falha do Bloco” e neste ranqueamento estão listados quais foram os equipamentos que mais impactaram em “Quantidade de Manutenção Corretiva”. Os valores em porcentagem apresentados na Tabela 2 correspondem ao número total de falhas do bloco (equipamento) dividido pelo número total de falhas do sistema:

Tabela 2 - Ranqueamento da Criticidade de Falha do Bloco

Ranqueamento da Criticidade de Falha do Bloco	
Nome do Bloco	RS FCI
Trp Cabo	12,41%
Empacotadora SMI	11,17%
ECH 60000	10,96%
Magazine de Tampas	8,20%
Recravadora	7,81%
ETX2	6,36%
Pasteurizador	6,33%
Paletizadora	5,05%
TRP EPC/MD	4,10%
Despaletizadora	3,92%
ETX1	3,66%
TRP ECH/PZ	3,28%
Mesa Distribuidora	2,92%
Seladora Taxo 1	2,22%
Seladora Taxo 2	2,20%
TRP RT/EPC	1,95%
Datador Taxo 1	1,51%
Datador Taxo 2	0,77%
TRP PZ/RT	0,76%
STX2	0,72%
TRP TK 81	0,52%
Inspetor Nível 1	0,51%
Inspetor Nível Taxo 1	0,45%
TRP MD/PL	0,43%
Inspetor Selos Taxo 1	0,39%
Inspetor Selos Taxo 2	0,27%
TRP TK 83	0,26%
Inspetor Nível Taxo 2	0,23%
Secador	0,23%
STX1	0,16%
Rinser	0,14%
Envolvedora	0,09%

Fonte: Autoria própria (2016)

O segundo critério é o “Ranqueamento do Tempo de Parada por Criticidade do Bloco” e neste ranqueamento estão listados quais foram os equipamentos que impactaram no “Tempo Indisponível para Manutenção Corretiva”.

Os valores em porcentagem apresentados na Tabela 3 correspondem ao tempo de parada causado pelo bloco (equipamento) dividido pelo tempo total de parada do sistema:

Tabela 3 - Ranqueamento do Tempo de Parada por Criticidade do Bloco

Ranqueamento do Tempo de Parada por Criticidade do Bloco	
Nome do Bloco	RS DTCI
Empacotadora SMI	11,18%
ECH 60000	9,45%
Paletizadora	5,20%
Trp Cabo	4,79%
Recravadora	4,69%
Pasteurizador	4,20%
Mesa Distribuidora	3,61%
Despaletizadora	3,45%
Seladora Taxo 1	3,38%
ETX2	3,30%
Seladora Taxo 2	2,91%
TRP EPC/MD	2,80%
Magazine de Tampas	2,51%
ETX1	1,81%
Datador Taxo 1	1,75%
Datador Taxo 2	1,65%
TRP ECH/PZ	1,18%
TRP RT/EPC	1,15%
TRP PZ/RT	0,84%
TRP MD/PL	0,75%
TRP TK 81	0,54%
STX2	0,41%
Inspetor Nivel Taxo 1	0,34%
Envolvedora	0,29%
STX1	0,25%
Inspetor Nivel Taxo 2	0,22%
TRP TK 83	0,16%
Inspetor Selos Taxo 1	0,12%
Inspetor Selos Taxo 2	0,08%
Inspetor Nivel 1	0,07%
Secador	0,06%

Fonte: Autoria própria (2016)

O terceiro critério é o “Bloco Provocando Eventos de Parada no Sistema” e neste ranqueamento estão listados os equipamentos da linha de produção que mais contribuíram para um mau desempenho do sistema, ou seja, levaram o sistema a parar de operar devido às falhas ocasionadas nos mesmos.

É possível visualizar o quantitativo de falhas que cada equipamento teve durante a operação, sendo que os números da Tabela 4 são apresentados do pior para o melhor equipamento e a soma de todos estes eventos de parada totaliza a quantidade de manutenções corretivas que o sistema sofreu durante o período que está sendo avaliado na simulação da linha de produção.

Tabela 4 - Bloco Provocando Eventos de Parada no Sistema

Bloco Provocando Eventos de Parada do Sistema	
Nome do Bloco	Eventos de Parada do Sistema
Trp Cabo	560,6
Empacotadora SMI	499,8
ECH 60000	483,75
Magazine de Tampas	360,3
Recravadora	347,5
Pasteurizador	284,8
ETX2	280,25
Paletizadora	222,4
TRP EPC/MD	187,85
Despaletizadora	170,5
ETX1	157,65
TRP ECH/PZ	136,15
Mesa Distribuidora	128,7
Seladora Taxo 1	104,55
Seladora Taxo 2	99,3
TRP RT/EPC	92,35
Datador Taxo 1	66,8
Datador Taxo 2	40,1
STX2	33,95
TRP PZ/RT	32,65
TRP TK 81	25,1
Inspetor Nível 1	21,95
Inspetor Nível Taxo 1	21,15
TRP MD/PL	19,95
Inspetor Selos Taxo 1	16,85
Inspetor Selos Taxo 2	11,25
Inspetor Nível Taxo 2	10,9
TRP TK 83	10,05
Secador	9,75
STX1	7,3
Rinser	5,65
Envolvedora	5,1

Fonte: Autoria própria (2016)

O quarto critério é o “Ranqueamento do Tempo Indisponível do Bloco” e neste ranqueamento estão listados os equipamentos da linha de produção que demandaram um maior tempo da equipe de mantenedores para restabelecimento do sistema através das manutenções corretivas e manutenções preventivas.

Os valores para cada bloco é o resultado da soma dos tempos de indisponibilidade por corretivas e os tempos destinados à parada semanal programada gerada pelo gatilho.

Como o tempo para a parada semanal programada destinada a manutenção e limpeza estão somadas aos tempos de corretivas para todos os blocos (equipamentos), podemos considerar na Tabela 5 apresentada a seguir, que a listagem corresponde à ordem do pior ao melhor equipamento em termos de tempo para reparo.

Tabela 5 - Bloco Provocando Eventos de Parada no Sistema

Ranqueamento do Tempo Indisponível do Bloco	
Nome do Bloco	Tempo Indisponível do Bloco (h)
Empacotadora SMI	694,101329
ECH 60000	670,510764
Trp Cabo	638,184044
Paletizadora	636,014083
Pasteurizador	622,548634
ETX2	617,052511
Mesa Distribuidora	610,913933
Despaletizadora	610,815113
Recravadora	610,292507
TRP EPC/MD	609,105352
Magazine de Tampas	602,64138
ETX1	596,855299
Seladora Taxo 1	591,453758
TRP RT/EPC	589,70123
Seladora Taxo 2	588,905796
TRP ECH/PZ	588,537713
TRP PZ/RT	583,625738
Datador Taxo 1	583,452536
TRP TK 81	582,232422
Datador Taxo 2	581,342023
Inspetor Nivel Taxo 1	581,098653
TRP MD/PL	580,725865
STX2	579,33404
Inspetor Nivel Taxo 2	578,88336
Envolvedora	577,599413
Inspetor Selos Taxo 1	577,474815
TRP TK 83	577,265603
Inspetor Selos Taxo 2	577,011917
Inspetor Nivel 1	576,921517
Secador	576,681321
Rinser	576,485981
STX1	576,444305

Fonte: Autoria própria (2016)

O quinto e último critério é o “Ranqueamento dos Custos do Bloco” e neste ranqueamento estão listados os equipamentos da linha de produção onde ocorreram os maiores gastos com mão de obra da equipe mantenedora. Na Tabela 6 a seguir, estão listados onde os custos de reparo corretivos foram atribuídos:

Tabela 6 - Ranqueamento do Tempo de Parada por Criticidade do Bloco

Ranqueamento dos Custos do Bloco	
Nome do Bloco	Custo Total
Empacotadora SMI	R\$ 12.277,53
ECH 60000	R\$ 11.614,56
Recravadora	R\$ 9.840,62
Seladora Taxo 1	R\$ 9.264,88
Seladora Taxo 2	R\$ 9.195,64
Paletizadora	R\$ 6.214,37
Datador Taxo 1	R\$ 6.107,24
Datador Taxo 2	R\$ 6.036,76
Pasteurizador	R\$ 5.825,78
Despaletizadora	R\$ 5.457,33
Mesa Distribuidora	R\$ 5.449,56
Magazine de Tampas	R\$ 3.755,16
Trp Cabo	R\$ 3.364,95
TRP EPC/MD	R\$ 3.213,87
TRP MD/PL	R\$ 2.349,35
ETX2	R\$ 2.138,14
Envolvedora	R\$ 1.518,73
ETX1	R\$ 1.515,23
TRP RT/EPC	R\$ 1.302,24
TRP ECH/PZ	R\$ 1.264,01
TRP PZ/RT	R\$ 1.115,36
STX2	R\$ 983,94
TRP TK 81	R\$ 926,04
STX1	R\$ 895,46
TRP TK 83	R\$ 773,63
Inspetor Nivel Taxo 1	R\$ 156,91
Inspetor Nivel Taxo 2	R\$ 88,29
Inspetor Selos Taxo 1	R\$ 45,16
Inspetor Selos Taxo 2	R\$ 30,98
Inspetor Nivel 1	R\$ 28,22
Secador	R\$ 20,86
Rinser	R\$ 14,88

Fonte: Autoria própria (2016)

4.15 ATIVOS PRIORIZADOS

Baseando-se nos critérios apresentados no **item 2.14**, os ativos priorizados nesta linha de produção são:

- Empacotadora SMI;
- Trp Cabo;
- ECH 60000;
- Recravadora;
- Magazine de Tampas.

Identificado os cinco ativos (equipamentos) impactantes da linha de produção de envase, o próximo passo será a elaboração de RCM (planos de manutenção centrados em confiabilidade), análise de falhas crônicas, resolução de falhas repetitivas e aplicação das ferramentas de Engenharia de Confiabilidade, dentre outras atividades propostas.

5 CONCLUSÕES

A metodologia apresentada mostrou-se eficaz, precisa e embasada em dados quantitativos de acordo com o demonstrado nos softwares apresentados. Atualmente foram priorizados todos os cem ativos conforme objetivo proposto. As etapas desta metodologia apresentadas nos tópicos acima se resumem conforme Figura 57:

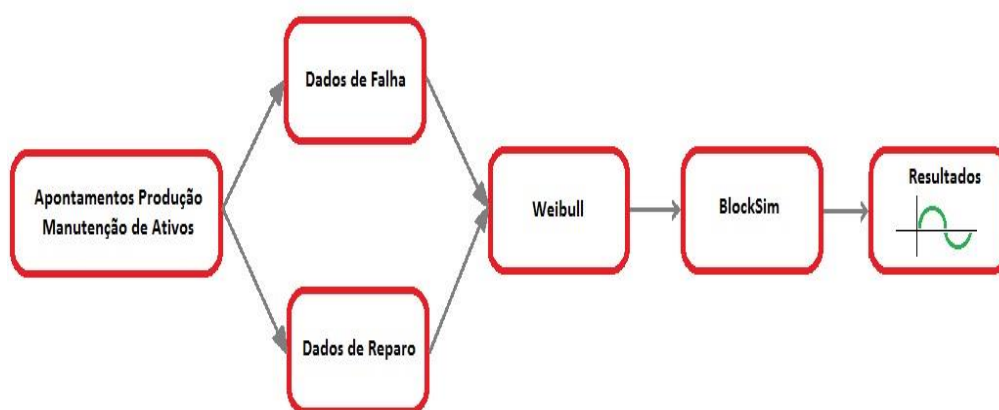


Figura 57 – Resumo do Processo de Modelamento
Fonte: Autoria própria (2016)

As simulações permitiram identificar os ativos impactantes nas linhas de produção do através dos critérios de priorização apresentados. Os resultados obtidos com as simulações demonstraram que determinados ativos identificados necessitam de:

- Elaborar/melhorar Planos de Manutenção aplicando o RCM;
- Capacitar Equipes de Mantenedores para minimizar tempos de diagnóstico e conseqüentemente minimizar os tempos de reparo;
- Determinar Quantitativo de Mão de Obra necessária para atendimento das ocorrências corretivas e preventivas;
- Direcionar Investimentos nos ativos certos;
- Tratar Passivos que possam impossibilitar o ativo de operar (Ex. Tecnologia obsoleta);
- Direcionar a aplicação da Engenharia de Confiabilidade;
- Determinar Capacidades Produtivas da Linha de Produção;
- Etc.

Os diagramas de blocos das linhas de produção serão utilizados para comparação de cenários (Antes e Depois). Aplicando os itens acima, espera-se uma melhora do sistema, que poderá ser verificado através de uma nova simulação com novos modelos.

Os resultados das novas simulações permitirão avaliar se a estratégia que esta sendo aplicada está ou não sendo efetiva para ganhos de desempenho dos equipamentos durante o período em que são utilizados.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

A aplicação desta metodologia de priorização utilizando o modelamento será ampliado para as demais áreas das cervejarias (fabricação, utilidades e filtração), atualmente está aplicado ao envasamento de bebidas. Para os ativos priorizados e dando sequencia ao processo de implementação da engenharia da confiabilidade, estão listadas a seguir as próximas etapas passos a serem executados nestes ativos:

- Levantamento de Passivos;
- Restauração das Condições Básicas;
- Elaboração de planos estruturados de manutenção;
- Tratativa em Falhas Repetitivas;
- Aplicação de Estudos de Degradação;
- Otimização de Planos de Manutenção;
- Melhoria de Sistemas;
- Melhoria de Componentes e Homologação de Fornecedores;
- Padronização de Tarefas de Manutenção.
- Apresentação de Ganhos Monetários com a Aplicação da Engenharia da Confiabilidade.

O processo implementado é um sistema de melhoria continua, tipo DMAIC, após a identificação do ativo, o coordenador de confiabilidade realiza modelamentos

e melhorias nos subconjuntos destes ativos aprimorando-os utilizando ferramentas de engenharia de confiabilidade.

Este modelamento posteriormente será aplicado aos ativos prioritizados identificando pontos fracos buscando aumentar a confiabilidade dos subconjuntos e/ou componentes (Figura 58):



Figura 58 – Abrangência de Aplicação da Engenharia da Confiabilidade
Fonte: Autoria própria (2016)

REFERÊNCIAS

LOPES, Luís. **Manual das Funções Exponenciais e Logarítmicas**: Funções Hiperbólicas, Logarítmicas e I Título. Rio de Janeiro: Editora Intercedência Ltda., 1998. 132p. ISBN: 85-7193-014-7.

MOUBRAY, John. **RCM II: Reliability-centered Maintenance**. 2 ed. New York, NY: Industrial Press Inc., 1997. 440p. ISBN: 0-8311-3078-4.

RELIASOFT Brasil: **Confiabilidade de Sistemas-Avançado**. Rev. 10.0.0. São Paulo, SP. 2013. Não Paginado.

RELIASOFT Brasil: **Gestão de Ativos Suportada Pela Engenharia de Confiabilidade**. Rev. 1.0.6. São Paulo, SP. 2012. Não Paginado.

RIGONI, Emerson: Confiabilidade de Sistemas. **Parte_3 (Anotações)**. São Paulo, SP. 2015. Não Paginado.

RELIASOFT Corporation. **WEIBULL++ Version 7: Life Data Analysis Reference**. Tucson, AZ USA: Reliasoft Publishing, 2005. 580p.

RELIAWIKI.ORG. **Basics of System Reliability Analysis**. Disponível em http://reliawiki.org/index.php/Basics_of_System_Reliability_Analysis#Basic_Terminology. Acesso em 25/02/2015.

WEIBULL.COM. **Advanced RBD Modeling Using State Change Triggers**. Disponível em: <http://www.weibull.com/hotwire/issue134/hottopics134.htm>. Acesso em: 14/04/2015.

WEIBULL.COM. **Life Data Analysis (Weibull Analysis)**. Disponível em: <http://www.weibull.com/basics/lifedata.htm>. Acesso em: 23/03/2017

WEIBULL.COM. **How can I set maintenance tasks to be performed together in BlockSim?** Disponível em: <http://www.weibull.com/hotwire/issue158/tooltips158.htm>. Acesso em: 04/05/2015.

WEIBULL.COM. **Modeling a Complex Maintenance Scenario in BlockSim.**

Disponível em: <http://www.weibull.com/hotwire/issue89/hottopics89.htm>. Acesso em: 25/01/2015.

WEIBULL.COM. **System Reliability Analysis.** Disponível em:

http://www.weibull.com/basics/system_reliability.htm. Acesso em: 25/03/2017.

RELIAWIKI.ORG. **Life_Data_Classification.**

Disponível em: http://www.reliawiki.org/index.php/Copyright_Information. Acesso em: 24/03/17.

FLEXSIM. **Bottling Line Case Study.**

Disponível em: <http://www.flexsim.com/bottling-line-case-study-2/>. Acesso em: 20/03/2017.