

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

**RENAN ROCHA**

**ANÁLISE RAM DE UM CONJUNTO TENSOR DE UMA LINHA DE  
GALVANIZAÇÃO**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2017**

**RENAN ROCHA**

**ANÁLISE RAM DE UM CONJUNTO TENSOR DE UMA LINHA DE  
GALVANIZAÇÃO**

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. Dr. Carlos Henrique Mariano

**CURITIBA**

**2017**



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ANÁLISE RAM DE UM CONJUNTO TENSOR DE UMA LINHA DE GALVANIZAÇÃO**

por

**RENAN ROCHA**

Esta monografia foi apresentada em 03 de Novembro de 2017, 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. Carlos Henrique Mariano Dr.  
Professor Orientador - UTFPR

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

---

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

Dedico este trabalho a Deus, minha esposa e minha filha por sempre me apoiarem nesta jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a ArcelorMittal por me permitir participar desta especialização.

Agradeço aos professores que compartilharam seu conhecimento ao longo deste curso.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Fulano, por me guiar neste desafio.

Agradeço aos meus colegas de sala pelo apoio prestado.

Agradeço a minha esposa por sempre me apoiar neste período turbulento.

Enfim, gostaria de agradecer a todos que de algum modo me ajudaram a vencer este desafio.

## RESUMO

ROCHA, Renan. **Análise RAM de um conjunto tensor de uma linha de Galvanização**. 2017. 54 folhas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A competitividade da indústria está diretamente relacionada com o nível de confiabilidade dos seus equipamentos. Um equipamento que falha pouco ou que apresenta condições de prever a sua falha com um nível de confiança adequado é de fundamental importância para os bons resultados da companhia. A engenharia de confiabilidade tem papel relevante neste novo cenário e traz ferramentas para que o nível de confiabilidade dos equipamentos ou sistemas possa ser mensurado, estudado e melhorado. Este trabalho apresenta a metodologia utilizada para realizar um estudo de otimização da confiabilidade realizado em um conjunto tensor de uma linha de galvanização visando comparar os dados de confiabilidade encontrados antes e depois das melhorias realizadas e avaliar se as mesmas foram eficazes ou se alguma modificação ainda é necessária. Para tal o sistema será modelado utilizando o diagrama de blocos de confiabilidade. Em seguida os dados de falha do equipamento serão analisados e os valores de confiabilidade determinados em função do modelo do equipamento utilizado. Com estes dados históricos conhecidos, uma função densidade de probabilidade será determinada e com utilização de software específico as medidas de confiabilidade (Confiabilidade, disponibilidade e MTBF) do equipamento serão determinadas tornando disponível a comparação entre o antes e o depois das alterações realizadas pela equipe de manutenção.

**Palavras-chave:** Competitividade. Confiabilidade. Disponibilidade. MTBF.

## **ABSTRACT**

ROCHA, Renan. **RAM analysis of a bridle rolls unit of a galvanizing line.** 2017. 54 pages. Monography (Specialization in Reliability Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2017.

The competitiveness of the industry is directly related to the level of reliability of its equipment. An equipment that fails little or that is able to predict its failure with an adequate level of confidence is of fundamental importance for the good results of the company. Reliability engineering has a relevant role in this new scenario and brings tools so that the level of reliability of the equipment or systems can be measured, studied and improved. This work presents the methodology used to perform a reliability optimization study on a bridle roll unit of a galvanizing line in order to compare the reliability data found before and after the improvements made and to evaluate if they were effective or if some modification is still required. For this the system will be modeled using the reliability block diagram. Then the equipment failure data will be analyzed and the reliability metrics determined depending on the model of equipment used. With this known historical data, a probability density function will be determined and with the use of specific software the reliability metrics (Reliability, Availability and MTBF) of the equipment will be determined making available the comparison between before and after the changes made by maintenance team.

**Keywords:** Competitiveness. Reliability. Availability. MTBF.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Localização ArcelorMittal Vega.....	19
Figura 2.2 - Seção de Entrada .....	20
Figura 2.3 - Seção de Processo .....	22
Figura 2.4 - Seção de Saída.....	23
Figura 2.5 - Conjunto Tensor nº 2 .....	24
Figura 3.1 - Configuração Série .....	27
Figura 3.2 - Configuração Paralela Simples.....	28
Figura 3.3 - Configuração Sistema k de N.....	29
Figura 3.4 - Densidade de Probabilidade Abaixo da Curva, entre a e b.....	30
Figura 3.5 – Função de Distribuição Acumulada.....	31
Figura 3.6 - Relação entre fdp e fdc .....	32
Figura 3.7 - Função Densidade de Probabilidade Gama .....	34
Figura 3.8 - Função Densidade de Probabilidade Weibull.....	35
Figura 4.1 - Subsistema Rolo 1 .....	42
Figura 4.2 - Subsistema Rolo 2 .....	42
Figura 4.3 - Subsistema Rolo 3 .....	43
Figura 4.4 - Conjunto Tensor nº 2 .....	43
Figura 4.5 - Dados Encoder "A" no Weibull++ .....	44
Figura 4.6 - Teste de Aderência Encoder "A" .....	44
Figura 4.7 - Parâmetros da Distribuição Gama do Encoder "A" .....	45
Figura 4.8 - Gráfico da pdf Encoder "A" .....	45
Figura 4.9 - Dados Encoder "B" no Weibull++ .....	46
Figura 4.10 - Teste de Aderência Encoder "B" .....	46
Figura 4.11 - Parâmetros da Distribuição Weibull-2P do Encoder "B".....	47
Figura 4.12 - Gráfico da pdf Encoder "B" .....	47
Figura 4.13 - Configuração do subsistema no BlockSim para o Encoder "A" .....	48
Figura 4.14 - Configuração do subsistema no BlockSim para o Encoder "B" .....	49



## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Falhas Rolo 1 .....	39
Tabela 4.2 - Falhas Rolo 2 .....	39
Tabela 4.3 - Falhas Rolo 3 .....	40
Tabela 4.4 - Histórico de Falhas Encoder "A" .....	41
Tabela 4.5 - Histórico de Falhas Encoder "B" .....	41
Tabela 4.6 - Confiabilidade do Encoder "A" .....	45
Tabela 4.7 - Confiabilidade do Encoder "B" .....	47
Tabela 4.8 - Confiabilidade Encoder "A" x Encoder "B" .....	48
Tabela 4.9 - Confiabilidade BS2 com o Encoder "A" e com Encoder "B" .....	49
Tabela 4.10 - Disponibilidade Média e MTBF Encoder "A" x Encoder "B" .....	50

## LISTA DE SIGLAS

BS2	Conjunto tensor nº 2
BS	Conjunto tensor
cdf	Função distribuição acumulada
fdc	Função distribuição acumulada
fdp	Função densidade de probabilidade
FTA	Análise de árvore de falhas
GAL	Linha de galvanização
MTBF	Tempo médio entre falhas
MTTF	Tempo médio até a falha
MTTR	Tempo médio de reparo
pdf	Função densidade de probabilidade
PLC	Controlador lógico programável
RAM	Confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade
RBD	Diagrama de blocos de confiabilidade
SP	Set point

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\infty$	Infinito
$\gamma$	Parâmetro de forma na distribuição Gama
$\lambda$	Parâmetro de escala na distribuição Gama
$\beta$	Parâmetro de forma na distribuição Weibull
$\eta$	Parâmetro de escala na distribuição Weibull

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA .....	13
1.2	OBJETIVOS .....	14
1.2.1	Objetivo Geral.....	14
1.2.2	Objetivos Específicos .....	14
1.3	JUSTIFICATIVA .....	14
1.4	PRECEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	14
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2</b>	<b>ÁREA DE APLICAÇÃO .....</b>	<b>17</b>
2.1	A EMPRESA ARCELORMITTAL.....	17
2.2	A ARCELORMITTAL NO BRASIL .....	17
2.3	A ARCELORMITTAL VEGA .....	18
2.4	LOCALIZAÇÃO .....	18
2.5	LINHA DE GALVANIZAÇÃO .....	19
2.5.1	Seção de Entrada.....	20
2.5.2	Seção de Processo .....	21
2.5.3	Seção de Saída.....	22
2.5.4	Conjunto Tensor.....	23
2.6	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	25
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>26</b>
3.1	ASPECTOS GERAIS .....	26
3.2	DIAGRAMA DE BLOCOS.....	27
3.2.1	Configuração Série.....	27
3.2.2	Configuração Paralela Simples .....	28
3.2.3	Configuração Paralela k de N.....	28
3.3	MEDIDAS DE CONFIABILIDADE .....	29
3.3.1	Função Densidade de Probabilidade.....	30
3.3.2	Função de Distribuição Acumulada .....	31
3.3.3	Função Confiabilidade.....	32
3.3.4	Tempo Médio Até a Falha – MTTF .....	33
3.3.5	Distribuição Gama .....	33
3.3.6	Distribuição Weibull .....	34
3.3.7	Tempo Médio Entre Falhas – MTBF.....	35
3.3.8	Tempo Médio de Reparo – MTTR.....	35
3.3.9	Disponibilidade .....	36
3.4	SOFTWARE PARA ESTUDO DE CONFIABILIDADE .....	37
3.5	ANÁLISE RAM .....	37
3.6	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	38
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>39</b>
4.1	BASE DE DADOS .....	39
4.2	MODELAMENTO DO SISTEMA .....	41
4.3	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	50
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Galvanização (GAL) é uma linha de produção que tem processo contínuo que e tem por objetivo produzir bobinas de aço com revestimento superficial de Zinco/Alumínio, dentro das características de qualidade demandada pelos clientes.

Por se tratar de um processo contínuo, um alto nível de desempenho é esperado de cada ativo fazendo com que o índice de disponibilidade geral da linha esteja dentro da meta estipulada pela alta direção da empresa, o que proporciona à equipe de operação as condições para fabricar um produto de alta qualidade, com custo competitivo, comparando-se aos mercados nacionais e internacionais.

Os equipamentos nem sempre apresentam a confiabilidade para os quais foram projetados por uma série de motivos. No momento em que o ativo começa a apresentar falhas é necessário intervir para restaurar sua condição básica ou até mesmo realizar um reprojeto para melhorar a condição inicial de projeto.

O conjunto tensor nº 2 (BS2), responsável por manter a chapa de aço tensionada na entrada do forno de recozimento, apresentava um elevado número de falhas no seu sistema de acionamento eletro/mecânico, puxando para baixo a disponibilidade da linha de Galvanização. As tarefas de manutenção não estavam surtindo o efeito desejado, levando a equipe de manutenção a realizar um estudo para aumentar a confiabilidade dos seus componentes e, por conseguinte, aumentar a disponibilidade do equipamento.

### 1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Aparentemente o BS2 se diferencia dos demais equipamentos da linha, semelhantes a ele em função, em relação a sua disponibilidade. É importante então conhecer os indicadores de confiabilidade ,deste equipamento, bem como o dos demais conjuntos tensores para poder comparar se realmente ele é o mais problemático ou se é apenas uma impressão devido a uma crise momentânea ou algo do gênero. Como aparentemente ele é o vilão (sem análise dos dados históricos) foi decidido então atuar nele a fim de identificar as oportunidades de melhoria já que a simples tarefa de “manter” o equipamento operando em condições básicas por um longo período de tempo não estava sendo alcançada.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Realizar o estudo de Análise RAM do BS2, avaliando seus níveis de confiabilidade e disponibilidade antes e depois das melhorias aplicadas ao sistema.

Avaliar se as alterações realizadas foram eficazes e atendem os parâmetros de confiabilidade e disponibilidade exigidos para a GAL.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- Conhecer os valores de confiabilidade do BS2 antes e depois das alterações realizadas;
- Conhecer o valor de disponibilidade antes e depois das alterações realizadas;
- Recomendar ações para os demais conjuntos tensores da GAL que possuem equipamentos com as configurações semelhantes;

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho surgiu da necessidade de se conhecer os valores de confiabilidade dos componentes problemáticos da linha para poder tomar ações para aumentar a disponibilidade geral da linha. Como o BS2 apresentava muitos problemas que impactavam no resultado geral, e por se tratar de um equipamento que existem outros semelhantes na linha, as ações que serão levantadas podem ser aplicadas aos demais equipamentos também, sendo este um equipamento piloto.

## 1.4 PRECEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia proposta é fazer o levantamento dos indicadores de confiabilidade do conjunto tensor completo, em seguida explodir o equipamento até

o menor nível de manutenção e, com base nos dados históricos destes equipamentos instalados na GAL, conhecer a confiabilidade destes componentes. Com estes dados será possível identificar quais componentes merecem ser estudados para adotar uma solução que aumente os indicadores de confiabilidade do equipamento e disponibilidade.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será composto por cinco partes, sendo:

- Parte 1 – Capítulo Introdutório: Capítulo 1;
- Parte 2 – Fundamentação Teórica: Capítulos 2 e 3;
- Parte 3 – Procedimentos Metodológicos: Capítulo 4;
- Parte 4 – Conclusões: Capítulo 5.

No capítulo 1 é tratada a introdução deste trabalho. Nele são apresentados os objetivos, a justificativa e procedimentos metodológicos que serão utilizados para alcançar os resultados pretendidos.

No capítulo 2 a área de aplicação do trabalho é abordada. Ele trás as informações do contexto industrial onde o trabalho foi desenvolvido.

É nele também que é realizada a apresentação da empresa e da linha de produção que contém os equipamentos analisados para que o seu funcionamento possa ser compreendido.

O capítulo 3 caracteriza-se pela apresentação dos procedimentos e ferramentas utilizadas para desenvolver o trabalho, com a explicação teórica básica para fundamentar a sua utilização.

Serão apresentados os diagramas de blocos responsáveis pela modelagem do sistema bem como as medidas de confiabilidade que serão utilizadas para analisar o sistema.

Também serão apresentados os softwares utilizados para modelar e levantar as medidas de confiabilidade citadas anteriormente.

Ainda neste capítulo será apresentado o conceito do que é uma análise RAM.

No capítulo 4 o desenvolvimento do trabalho é apresentado. Nele as ferramentas abordadas no capítulo 3 serão colocadas em prática e os resultados tabulados para realizar a comparação entre os dois equipamentos em questão. Nele serão apresentadas as bases de dados que foram utilizadas no estudo, o modelamento do sistema em si e os resultados que foram encontrados.

O capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas com os dados alcançados e apresenta a sugestão para novos trabalhos.



## 2 ÁREA DE APLICAÇÃO

Este trabalho será aplicado na ArcelorMittal Vega, sem São Francisco do Sul/SC. Em seguida serão apresentados detalhes sobre a companhia.

### 2.1 A EMPRESA ARCELORMITTAL

Observação: Os dados a seguir estão em conformidade com (ARCELORMITTAL S/A).

A ArcelorMittal, resultado da fusão da Arcelor e da Mittal Steel, é a maior empresa siderúrgica do mundo, com 320 mil empregados, presença em mais de 60 países e capacidade de produção de 130 milhões de toneladas/ano – aços planos, longos e inoxidáveis, o que corresponde a mais de 10% da produção mundial de aço.

Ocupa posição de liderança em seus principais mercados, entre eles o de automóveis, construção, eletrodoméstico e embalagens. O grupo conta com tecnologia de vanguarda e mantém presença destacada no segmento de matérias-primas, além de trabalhar com extensa rede de distribuição.

A ArcelorMittal adota elevados padrões de Responsabilidade Social Corporativa, um compromisso comprovado com a divulgação periódica de indicadores de desenvolvimento sustentável.

### 2.2 A ARCELORMITTAL NO BRASIL

Constituída no final de 2005, agrupando as empresas Belgo, CST e ArcelorMittal Vega é a empresa siderúrgica de maior valor do mercado no país. Tem presença destacada nos mercados interno e internacional de aço, ofertando produtos longos (laminados e trefilados) e planos (placas e laminados) de qualidade diferenciada para as mais diversas aplicações – automóveis, eletrodomésticos, embalagens, construção civil e naval, entre outras.

### 2.3 A ARCELORMITTAL VEGA

A ArcelorMittal Vega, localizada em São Francisco do Sul/SC, é uma das mais modernas unidades de transformação de aços planos do mundo, operando com avançados processos de decapagem, laminação a frio e galvanização. A empresa processa bobinas a quente fornecidas pela ArcelorMittal Tubarão, em Vitória/ES, que são transportadas por meio de um inovador sistema de barcaças oceânicas.

Tem capacidade de produção de 880 mil toneladas de aço por ano entre laminados a frio e galvanizados, destinados principalmente às indústrias de automóvel e de eletrodomésticos, à produção de tubos e à construção civil. A empresa é fruto de um investimento de US\$ 420 milhões, o maior investimento privado da história de Santa Catarina, e gera, no Condomínio Vega, cerca de 900 empregos.

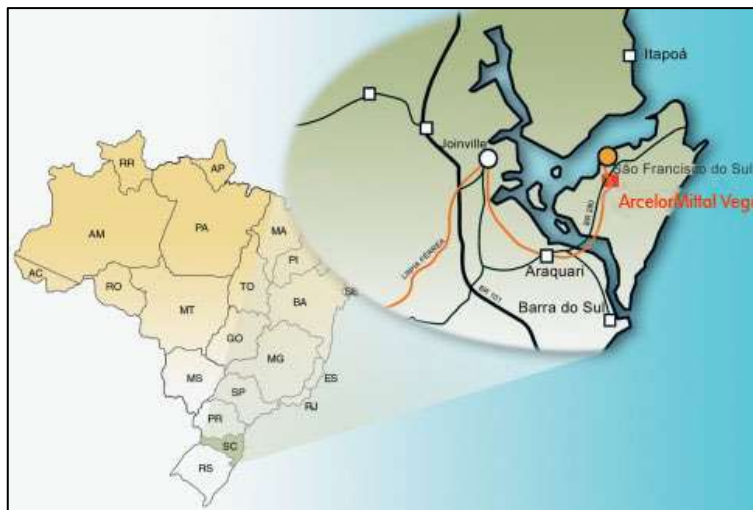
A operação da primeira linha de Galvanização (Galva 1) começou em Julho de 2003. As linhas de decapagem e laminação começaram a operar em setembro e outubro, respectivamente, e até o final de 2003 todas as linhas da unidade industrial estavam em funcionamento. A inauguração oficial foi em 27 de abril de 2004 e fez parte das comemorações dos 500 anos de descobrimento de São Francisco do Sul.

Em Março de 2010, como processo de ampliação do parque fabril, entrou em funcionamento a segunda linha de Galvanização (Galva 2), ampliando a produção da unidade para 1,4 milhão de toneladas de aço por ano.

### 2.4 LOCALIZAÇÃO

A cidade de São Francisco do Sul foi escolhida como base da unidade industrial devido a sua localização estratégica em relação às montadoras do Sul e Sudeste do país e do MERCOSUL, e a proximidade ao porto de São Francisco do Sul, ferrovia e rodovia como pode ser visto na figura 2.1, onde é apresentado o mapa com a localização da empresa.

Figura 2.1 - Localização ArcelorMittal Vega



Fonte: <http://vega.arcelormittal.com/empresa/localizacao/localizacao.asp>

A unidade industrial está totalmente integrada ao meio ambiente. Ocupa uma área de 100 mil metros quadrados, o que representa menos de 5% do terreno de 2,2 milhões de metros quadrados.

## 2.5 LINHA DE GALVANIZAÇÃO

A Linha de Galvanização (GAL) aplica o revestimento de zinco / Alumínio à chapa de aço através de um processo conhecido como imersão a quente. Este processo faz com que a chapa adquira uma camada superficial muito resistente à corrosão, com uma excelente qualidade superficial, o que faz com estes produtos sejam indicados para praticamente todos os setores, tais como: automotivo, industrial e linha branca.

A GAL é dividida em três setores:

- Entrada;
- Processo;
- Saída.

A união dos três setores torna o funcionamento da linha contínuo.

### 2.5.1 Seção de Entrada

O setor de entrada é responsável por fazer a união das bobinas de aço (através de solda) que mantém o processo operando de forma contínua. A entrada é subdividida em outros processos, tais como:

- Berços de recebimento de bobinas e preparação;
- Medição de espessura do material;
- Soldagem do material;
- Acumulador de entrada.

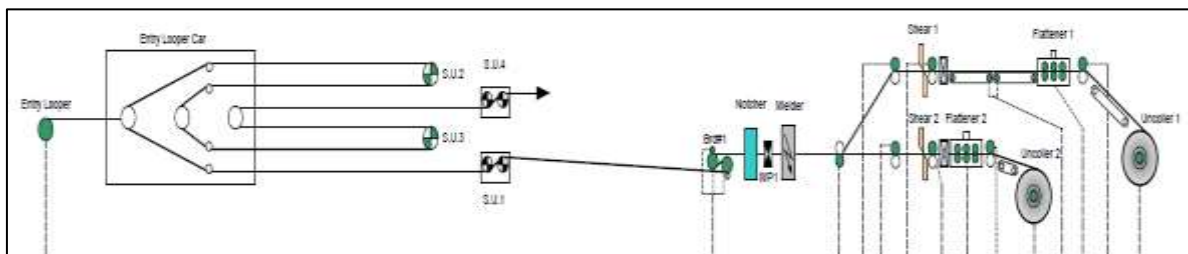
As bobinas de aço são abastecidas na linha de produção através do setor de berços e preparação. Neste setor as bobinas são conferidas pela equipe de operação e inseridas nas desbobinadeiras para que possam chegar até a estação de medição de espessura. Depois de conferido a espessura e descartado a parte fora da tolerância, a chapa de aço aguarda até que seja necessário efetuar a solda no fim de cada bobina.

É na máquina de solda que ocorre o processo de união das duas bobinas, início de uma e fim da outra.

Para manter o resto do processo sem parar é utilizado um acumulador que permanece a maior parte do tempo cheio, abastecendo com chapa a seção de processo nos instantes em que a seção de entrada permanece parada.

O diagrama esquemático da seção a seção de entrada é representado na figura 2.2

Figura 2.2 - Seção de Entrada



Fonte: o autor (2017).

Em seguida é apresentada a seção de processo.

### 2.5.2 Seção de Processo

Na seção de processo é realizada a galvanização da chapa de aço. Para isso é necessário preparar o material para receber o Zinco ou o Alumínio e restaurar as propriedades mecânicas do aço que foram duramente afetadas durante o processo anterior (laminação a frio).

A seção de processo é dividida em:

- Seção de limpeza (Desengraxe);
- Seção de recozimento (forno);
- Seção de revestimento;
- Seção de resfriamento;
- Seção de alongamento;
- Seção de revestimento químico.

Na seção de limpeza os finos de ferro e óleos do processo anterior são removidos da chapa através de desengraxe e escovação da mesma.

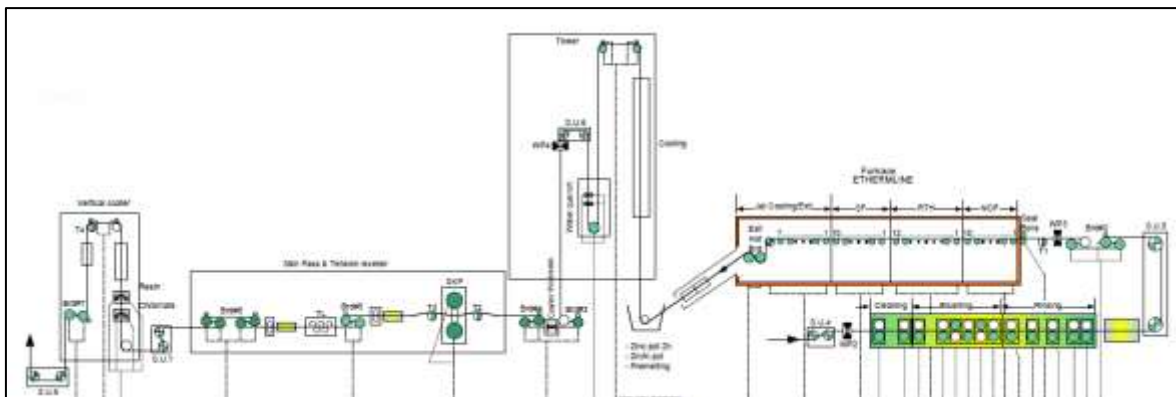
Em seguida a chapa é enviada ao forno de recozimento para restaurar as propriedades mecânicas do material, que em seguida é imerso em Zinco ou Alumínio derretido nos potes de indução.

Como a chapa sai com temperatura elevada é necessário resfriar o revestimento na torre de resfriamento e em seguida recebe um alongamento no laminador de encruamento que lhe confere propriedades mecânicas como rugosidades e plasticidade.

A sequência e fim da seção do processo é o setor de revestimento químico onde uma camada extra de proteção é adicionada a superfície do material.

O diagrama esquemático da seção de processo é representado na figura 2.3.

Figura 2.3 - Seção de Processo



Fonte: o autor (2017).

Em seguida é apresentada a seção de saída.

### 2.5.3 Seção de Saída

Na seção de saída são aparadas as bordas da chapa para garantir a largura desejada pelo cliente e as bobinas são divididas conforme o peso desejado pelo cliente.

A seção de saída é dividida em:

- Acumulador de saída;
- Tesoura de bordas;
- Seção de inspeção;
- Tesoura de pontas;
- Desbobinadeira e berços de saída;

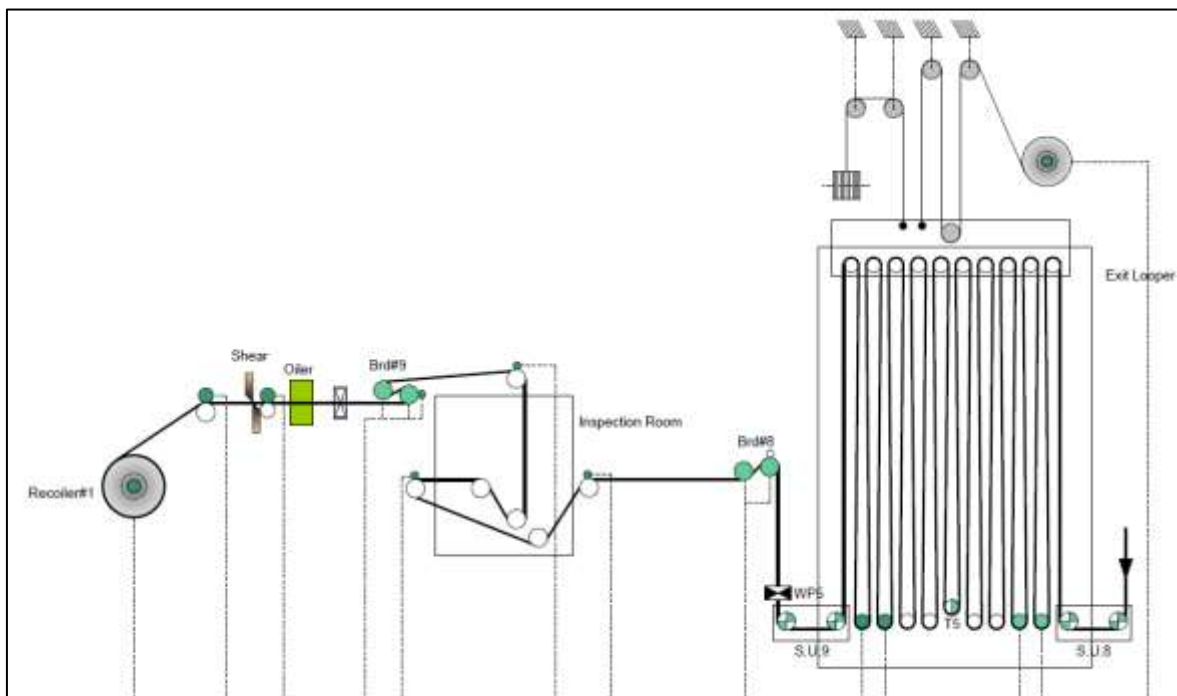
Assim como na entrada a saída possui o acumulador, só que desta vez o equipamento trabalha sempre vazio para fazer com que a parada da seção de saída não paralise a seção de processo. Quando a chapa sai do acumulador ela é dirigida a tesoura de bordas que aparada a mesma conforme a medida solicitada pelo cliente.

O próximo passo é a seção de inspeção, onde a equipe técnica qualificada realiza a inspeção no material para garantir a excelência do produto comercializado pela ArcelorMittal.

Em seguida a chapa é dividida na tesoura de pontas e retirada da linha através da desbobinadeiras e dos berços de saída.

A seção de saída é representada na figura 2.4.

Figura 2.4 - Seção de Saída



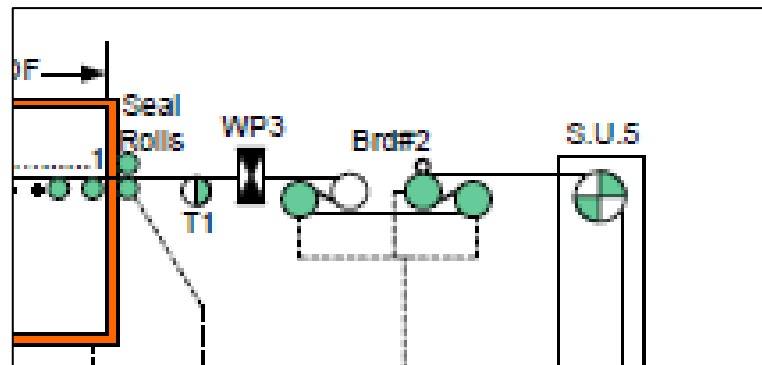
Fonte: o autor (2017).

Um equipamento foco deste trabalho é chamado de conjunto tensor e ele será abordado a seguir.

#### 2.5.4 Conjunto Tensor

Para que chapa de aço se mantenha estável ao longo da linha de passe de todo o processo é fundamental controlar a tensão com que a mesma é esticada. Se a chapa estiver com pouca tensão ela vai desalinhar e parar a linha, por outro lado, se a chapa for tensionada demais ela pode arrebentar e também ocasionar a parada da linha com consequências catastróficas para o processo. Por isso é importante controlar a tensão com que a chapa é tensionada. Para realizar este controle são foram instalados ao longo da linha nove conjuntos tensores, os BS's como são chamados (Bridlle Section). O foco deste estudo é o conjunto tensor nº 2 ou BS2. Ele fica posicionado na seção do processo, entre a saída do desengraxante e a entrada do forno, como pode ser visto em detalhe na figura 2.5.

Figura 2.5 - Conjunto Tensor nº 2



Fonte: o autor (2017).

O BS2 é composto por:

- Três rolos motorizados;
- Um rolo tensiômetro.

Cada rolo motorizado é composto por: Inversor de Frequência, Motor, Encoder, Acoplamento, Freio, Caixa Redutora, Mancais e Rolo.

O rolo tensiômetro é composto por: Mancais, Tensiômetros e o rolo.

O conjunto tensor trabalha tensionando a chapa de aço através da deflexão da mesma na mesa dos rolos e o controlando a velocidade e torque nos motores.

Como o sistema é composto por três rolos motorizados, os mesmos trabalham compartilhando a carga que é medida pelo rolo tensiômetro. Esta informação é enviada ao Programador Lógico Controlável (PLC) que efetua os cálculos de tensão e devolve o Set Point (SP) de velocidade aos inversores de frequência que por sua vez controlam a velocidade dos motores.

Qualquer falha que ocorrer nestes rolos (motorizados ou tensiômetro) causa parada da seção de processo, que por sua vez causa grande prejuízo financeiro a empresa.

O BS2 foi escolhido para fazer receber este trabalho, pois apresentava uma alta taxa de falhas, se diferenciando dos demais BS's da linha. Grande parte destas falhas estava relacionada ao sistema de acionamento do rolo, mais precisamente no conjunto que controla a velocidade do rolo (motor/inversor de frequência/encoder).



## 2.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada a informações relevantes sobre a empresa e a linha de produção alvo deste trabalho. Cada setor foi retratado de forma sucinta a fim de dar uma ideia ao leitor de como funciona uma linha de galvanização e familiarizado com as falhas que ocorriam em quantidade excepcional no conjunto tensor nº 2.

No próximo capítulo serão abordadas as ferramentas utilizadas para a execução do trabalho de aumento de confiabilidade.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados os conceitos de Otimização da Confiabilidade de Sistemas, também conhecida como análise RAM, do Inglês Reliability, Availability, Maintainability.

#### 3.1 ASPECTOS GERAIS

No mercado competitivo que estamos inseridos cada hora de máquina parada representa valores incontáveis de dinheiro que as empresas deixam de faturar. Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 1) “Em seu sentido mais amplo, confiabilidade está associada à operação bem sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas.”. Ainda segundo Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 67) sistemas são “todo o conjunto de componentes interconectados segundo um projeto predeterminado, de forma a realizar um conjunto de funções de maneira confiável e com bom desempenho.”. Então, quando um sistema apresenta quantidade excessiva de falhas, dependendo da taxa de ocupação da linha de produção, pode causar o não cumprimento das metas de produção do ano todo, fazendo com que a empresa perca muito dinheiro. É primordial que os ativos apresentem alta confiabilidade durante todo o seu ciclo de vida de maneira a garantir o bom resultado da empresa, entretanto, para que isso ocorra, os equipamentos precisam ser bem dimensionados conforme a aplicação e o local onde serão instalados, pois a confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas (LEEMIS, 1995, tradução nossa). Então, se esperamos que um ativo tenha alta confiabilidade e disponibilidade, é necessário adquirir um ativo que garanta este requisito e que seja especificado para tal, afinal é como diz o provérbio popular não adianta comprar um Fusca e querer andar como uma Ferrari.

Como a confiabilidade está relacionada com a probabilidade de o equipamento/sistema desempenhar seu propósito ela pode então ser mensurada, desde que se tenha um banco de dados prévio para se realizar a análise e utilizando

algumas ferramentas da Engenharia de Confiabilidade que serão apresentadas em seguida.

### 3.2 DIAGRAMA DE BLOCOS

O diagrama de blocos é uma ferramenta da confiabilidade que conforme Birolini (2007, p. 28) responde a questão “Quais elementos do item em questão são necessários para o cumprimento da função requerida e quais podem falhar sem afetá-lo?”.

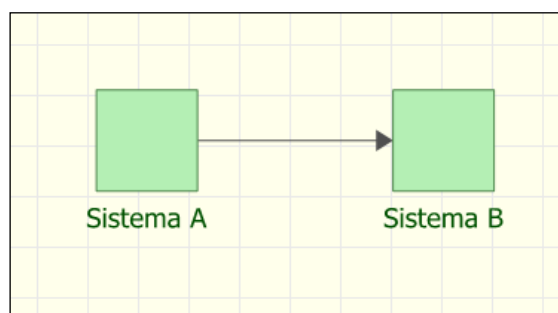
No diagrama de blocos, cada bloco pode representar um sistema, um subsistema ou um componente. Os blocos são ligados entre si seguindo um arranjo lógico representando o sistema em questão. As configurações mais usuais são:

- Configuração Série;
- Configuração Paralela Simples;
- Configuração Paralela k de N.

#### 3.2.1 Configuração Série

Na configuração série os blocos estão ligados de forma que se um falhar, o sistema todo falha. A figura 3.1 apresenta um diagrama de blocos em série.

Figura 3.1 - Configuração Série



Fonte: o autor (2017).

A equação para cálculo da confiabilidade de um sistema em série é apresentada na equação (3.1).

$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_n \quad (3.1)$$

Onde:

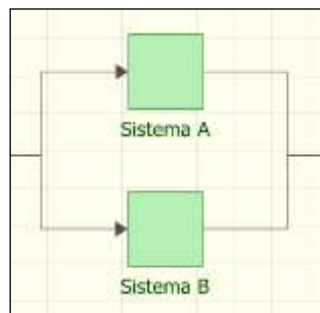
$R_S$  é a confiabilidade do sistema

$R_n$  é a confiabilidade dos “n” componentes do sistema

### 3.2.2 Configuração Paralela Simples

Na configuração Paralela Simples os blocos estão ligados de forma que se um falhar, o sistema continua operando. Esta configuração também é conhecida com redundância. A figura 3.2 apresenta um diagrama de blocos em Paralelo.

Figura 3.2 - Configuração Paralela Simples



Fonte: o autor (2017).

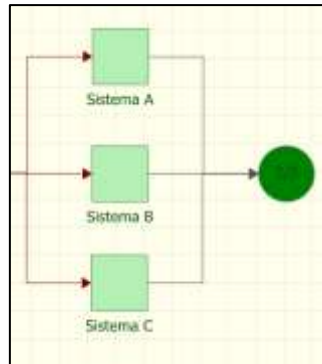
A equação para cálculo da confiabilidade de um sistema em paralelo é apresentada na equação (3.2).

$$R_S = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \times (1 - R_n)] \quad (3.2)$$

### 3.2.3 Configuração Paralela k de N

Uma variação da configuração paralela é a configuração k de N, conforme apresentado na figura 3.3.

Figura 3.3 - Configuração Sistema k de N



Fonte: o autor (2017).

Nesta configuração o sistema necessita de dois componentes funcionando para continuar a funcionar.

A equação para cálculo da confiabilidade de um sistema em paralelo é apresentada na equação (3.3).

$$R_s = R^n + nR^{n-1}(1 - R) + \frac{n(n-1) \times R^{n-2} \times (1 - R)^2}{2!} + \frac{n(n-1) \dots (n-k+1)R^{2-k}(1 - R)^k}{k!} \quad (3.3)$$

Após conhecido e preparado o arranjo físico do sistema é necessário conhecer os valores de confiabilidade do sistema.

### 3.3 MEDIDAS DE CONFIABILIDADE

A confiabilidade apresenta várias medidas. Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 8) “As três medidas de confiabilidade mais comumente usadas para unidades não reparáveis [...] são (i) a função de confiabilidade  $R(t)$ , (ii) a função de risco  $h(t)$  e (iii) o tempo médio até falha, MTTF (do Inglês *Mean time to Failure*).”.

Para conhecer o valor da Confiabilidade  $R(t)$  é necessário conhecer o tempo até falha dos componentes ou sistemas que estão sendo estudados. Com estes valores e, utilizando a função estatística densidade de probabilidade (pdf ou fdp) (do Inglês *probability density function*), este valor é encontrado.

A função densidade de probabilidade (pdf) e a função distribuição acumulada (cdf) são as funções mais importantes em confiabilidades e elas são relacionadas entre si (RELIASOFT, tradução nossa).

A seguir as duas funções serão abordadas.

### 3.3.1 Função Densidade de Probabilidade

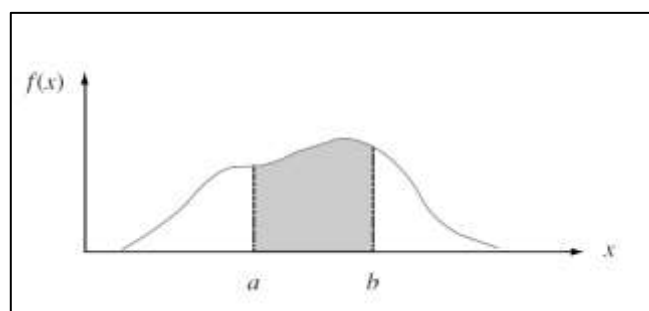
A função densidade de probabilidade pode ser encontrada nas referências teóricas como *pdf* ou *fdp*, dependendo do autor.

Sendo  $X$  uma variável contínua, a sua *fdp* será dada pela equação (3.4) desde que  $a \leq b$  (DEVORE, 2006, p. 129).

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x)dx \quad (3.4)$$

Ainda segundo Devore (2006, p. 129) “[...] a probabilidade de  $X$  ter um determinado valor no intervalo  $[a, b]$  é a área contida entre o intervalo e abaixo da curva da função de densidade”, então, como pode ser visto na figura 3.4, a *fdp* compreende a área sombreada que fica abaixo da curva e está entre  $a$  e  $b$ .

Figura 3.4 - Densidade de Probabilidade Abaixo da Curva, entre  $a$  e  $b$



Fonte: Devore (2006)

No entanto, para que a *fdp* seja válida, a mesma deve satisfazer as seguintes condições:

- 1)  $f(x) \geq 0$  para todos os valores possíveis de  $x$
- 2)  $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$

Podemos utilizar a fdp para “[...] calcular diversas características da população.” (DEVORE, 2006, p. 131), características estas, no caso, as medidas de confiabilidade, disponibilidade, entre outros.

Outra função mencionada é a função de distribuição acumulada (*cdf* ou *fdc*), de acordo com o autor em questão, que será abordada a seguir.

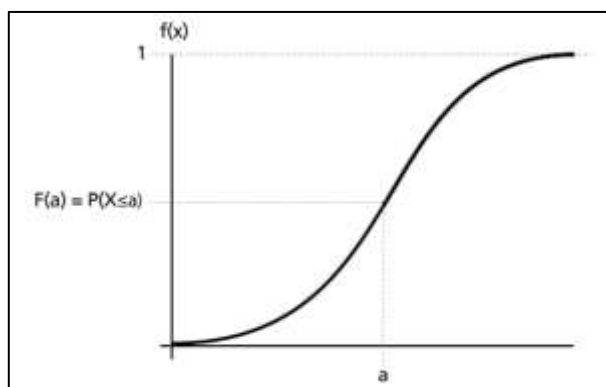
### 3.3.2 Função de Distribuição Acumulada

A *cdf* ou *fdc*, representada por  $F(x)$ , “fornece, para qualquer número específico  $x$ , a probabilidade  $P(X \leq x)$  e é obtida pela integração da fdp  $f(y)$  entre os limites  $-\infty$  e  $x$ .” (DEVORE, 2006, p. 133). Então, conforme a equação (3.5), o valor da fdc deverá ficar a esquerda do valor de  $x$  selecionado como parâmetro.

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(y) dy \quad (3.5)$$

Esta propriedade da função pode ser compreendida, verificando no gráfico da Figura 3.5, onde a área à esquerda de “ $a$ ” compreende a fdc.

Figura 3.5 – Função de Distribuição Acumulada



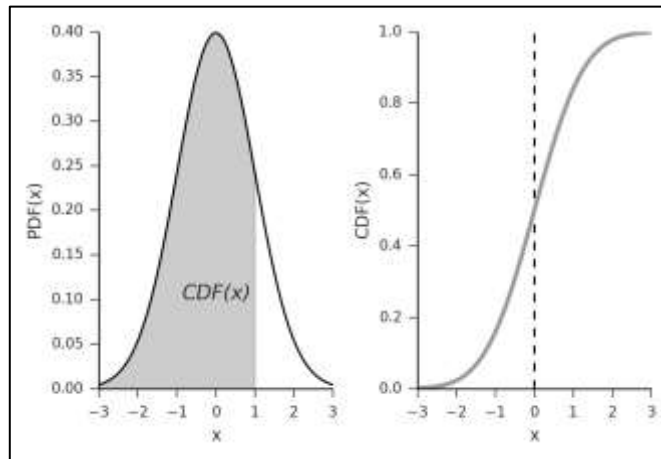
Fonte: [http://reliawiki.com/index.php/Statistical\\_Background](http://reliawiki.com/index.php/Statistical_Background) (2017)

A fdp  $f(x)$  e a fdc  $F(x)$  estão relacionadas matematicamente de acordo com a equação (3.6).

$$F(x) = \int_0^x f(x)dx \quad (3.6)$$

Então, como dito anteriormente, pode ser visto na figura 3.6 que realizando a integração da área abaixo da *fdp* (à esquerda) temos o resultado da *fdc* (à direita).

Figura 3.6 - Relação entre *fdp* e *fdc*



Fonte: <http://work.thaslwanger.at/Stats/html/statsDistributions.html> (2017)

Uma das características mais importantes utilizadas na engenharia de confiabilidade que pode ser calculada com a *fdp* é a Confiabilidade  $R(t)$ .

### 3.3.3 Função Confiabilidade

A confiabilidade da unidade pode ser definida como sendo “a sua probabilidade acumulada de sucesso” (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009, p. 10). Já para Mortelari, Siqueira e Pizzati (2014, p. 119) a confiabilidade é definida como “[...] a probabilidade que um item sobreviva a uma específica idade de operação, sob condições específicas de operação, sem falha.”. Trocando em outras palavras, pode ser entendida como a probabilidade que o equipamento tem de funcionar sem falha em um determinado período de tempo.

A função confiabilidade é o complemento da função de distribuição acumulada, como pode ser visto na equação (3.7).

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt \quad (3.7)$$



Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 10) “A função de confiabilidade  $R(t)$  é também denominada função de sobrevivência.”, pois ela representa a probabilidade que o item tem de continuar funcionando ao final de um período determinado.

### 3.3.4 Tempo Médio Até a Falha – MTTF

O tempo médio até a falha (MTTF) (do Inglês *Mean Time to Fail*) é uma medida de confiabilidade utilizada para itens que não são reparáveis. (SMITH, 2011, p. 16, tradução nossa).

Conforme Werner (1996, p. 15) o MTTF pode ser calculado “[...] dividindo o tempo total acumulado de operação pelo número total de falhas.”.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 12) o MTTF pode ser definido pela equação (3.8).

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (3.8)$$

Para estimar os tempos até falha é necessário usar uma distribuição de probabilidade. Os dados de falha dos equipamentos podem apresentar diversas distribuições de probabilidade, sendo que as mais conhecidas são: Normal, Log-normal, Exponencial, Gama e Weibull.

Neste trabalho será abordada a distribuição Gama e a distribuição Weibull.

### 3.3.5 Distribuição Gama

A distribuição Gama é composta por uma família de distribuições. A distribuição Gama pode ser trada como “uma generalização da distribuição exponencial.” (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009, p. 31).

A função densidade de probabilidade Gama é dada pela equação (3.9).

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\gamma)} (\lambda t)^{\gamma-1} e^{-\lambda t} \quad (3.9)$$

Onde:

- $\gamma$  – parâmetro de forma;
- $\lambda$  – parâmetro de escala.

A figura 3.7 apresenta o gráfico da função densidade de probabilidade da Gama.

Figura 3.7 - Função Densidade de Probabilidade Gama



Fonte: WERNER (1996)

### 3.3.6 Distribuição Weibull

A distribuição Weibull é “apropriada na modelagem de tempos até falha apresentando funções de risco constante, estritamente crescente e estritamente decrescente.” (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009, p. 29). Ela é umas das funções mais utilizadas na engenharia devido a uma vantagem: com apenas parâmetros (forma e escala) pode modelar uma infinidade de distribuições de dados (GNEDENKO, PAVLOV e USHAKOV, 1999, p. 14, tradução nossa).

A função densidade de probabilidade Weibull com dois parâmetros é dada pela equação (3.10).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.10)$$

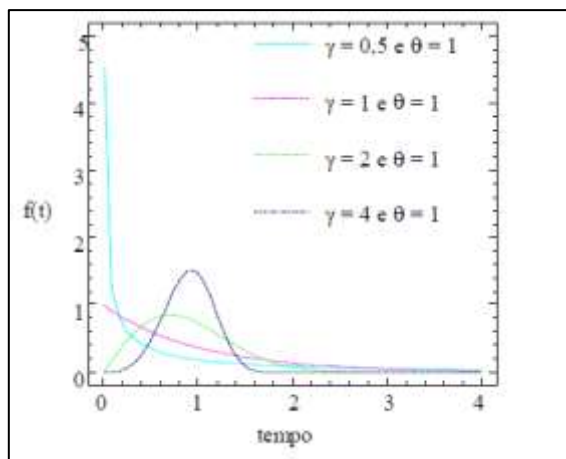
Onde:

- $\beta$  - parâmetro de forma;

- $\eta$  – parâmetro de escala.

A figura 3.8 apresenta a função densidade de probabilidade Weibull.

Figura 3.8 - Função Densidade de Probabilidade Weibull



Fonte: WERNER (1996)

As demais medidas da confiabilidade serão abordadas a seguir.

### 3.3.7 Tempo Médio Entre Falhas – MTBF

O tempo médio entre falhas (MTBF) (do Inglês *Mean Time Between Failure*) é uma medida de confiabilidade utilizada para calcular o tempo entre falhas de sistemas reparáveis (SMITH, 2011, p. 16, tradução nossa).

O MTBF pode ser calculado dividindo-se o tempo disponível de funcionamento do equipamento pelo número de falhas (BARAN, 2015, p. 28).

### 3.3.8 Tempo Médio de Reparo – MTTR

O tempo médio até o reparo (MTTR) (do Inglês *Mean Time to Repair*) é uma medida de confiabilidade usada para representar o tempo médio necessário para realizar o reparo em um equipamento após a ocorrência de uma falha. No cálculo do MTTR os tempos de setup e ajustes de produção são desconsiderados. (BARAN, 2015, p. 29).

### 3.3.9 Disponibilidade

A disponibilidade ( $A$ ) (do Inglês *Availability*), segundo Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 160) é a “[...] capacidade de um item, mediante manutenção apropriada, desempenhar sua função requerida em um determinado instante do tempo ou em um período de tempo predeterminado”.

A disponibilidade é dada pela equação (3.11).

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (3.11)$$

A disponibilidade pode ser classificada em alguns tipos, como por exemplo, a disponibilidade instantânea e a disponibilidade média.

Na disponibilidade instantânea,  $A(T=t)$ , o valor de disponibilidade é calculado para um determinado instante de tempo  $t$ .

A disponibilidade instantânea pode ser calculada utilizando a equação (3.12).

$$A(t) = R(t) + \int_0^t R(t-u)m(u)du \quad (3.12)$$

Na disponibilidade média,  $\overline{A(T)}$ , o valor de disponibilidade é calculado para um determinado período de tempo.

A disponibilidade média pode ser calculada utilizando a equação (3.13).

$$\overline{A(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T A(t)dt \quad (3.13)$$

Como apresentado anteriormente existem diversas equações para se calcular as medidas de confiabilidade. Realizar estes cálculos manualmente, embora possível, é inviável devido a grande quantidade de cálculos necessários. Por isso, são utilizados softwares para facilitar o trabalho e tornar os cálculos mais precisos e rápidos.

### 3.4 SOFTWARE PARA ESTUDO DE CONFIABILIDADE

Para realizar o estudo de confiabilidade, os softwares escolhidos foram BlockSim e o Weibull++ da ReliaSoft que, segundo Reliasoft (2017, tradução nossa) “O software BlockSim fornece uma plataforma para a análise da confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade de sistemas, utilizando a abordagem de diagrama de blocos de confiabilidade (RBD) e análise de árvore de falha (FTA)”.

A ferramenta oferece várias ferramentas gráficas e de simulação que facilitam a análise e a torna mais eficiente.

Já o Weibull++ é um software mundialmente utilizado e conforme Reliasoft (2017, tradução nossa) “O Weibull++ oferece um conjunto completo de ferramentas para a análise de dados de vida (análise de confiabilidade), permitindo diversos tipos de cálculos, gráficos e relatórios”.

O método empregado para realizar as análises será tratado a seguir.

### 3.5 ANÁLISE RAM

A análise RAM pode ser definida como um conjunto de técnicas de engenharia que tem por objetivo aperfeiçoar as estratégias de manutenção de equipamentos ou sistemas (SMITH, 2011, tradução nossa).

Conforme Calixto e Bretas (2008, p. 1) o objetivo da Análise RAM é “[...] avaliar o desempenho de um equipamento ou sistema através da definição e melhoria dos equipamentos críticos, para que o sistema atinja a disponibilidade necessária”. Ainda segundo Calixto e Bretas (2008, p. 1) o primeiro passo para realização da Análise RAM é realizar o “[...] levantamento dos modos de falha dos equipamentos, que causam perda para o sistema estudado, o histórico de falhas e o tempo necessário para reparar cada modo de falha.”. Assim sendo um banco de dados confiável e completo é indispensável para realização desta análise.

No capítulo quatro as ferramentas vistas anteriormente serão aplicadas e a confiabilidade do sistema será determinada com base nas informações do banco de dados de falhas do sistema.

### 3.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordadas as ferramentas que serão utilizadas para tratar os dados de falhas do sistema e gerar as medidas de confiabilidade que são o foco do estudo.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Nos próximos parágrafos serão detalhadas as etapas do desenvolvimento do trabalho, iniciando pelo tratamento da base de dados.

### 4.1 BASE DE DADOS

A base de dados utilizada foi o histórico de paradas de linha desde o ano de 2010. O histórico foi filtrado de maneira a apresentar as falhas relevantes dos três rolos do conjunto tensor nº2 (BS2) que possuem acionamento eletromecânico.

Os dados colhidos foram agrupados pelo número do rolo e o ano em que aconteceram. Foram agrupados também pelo modo de falha que foi apresentado.

A tabela 4.1 apresenta os dados de falha do rolo 1.

Tabela 4.1 - Falhas Rolo 1

<b>FALHAS ROLO 1</b>			
<b>ANO</b>	<b>ENCODER</b>	<b>FREIO</b>	<b>MOTOR ELÉTRICO</b>
2010	0	0	0
2011	0	0	1
2012	1	1	0
2013	0	0	0
2014	0	0	0
2015	1	0	0
2016	0	0	0
2017	0	0	0

Fonte: O autor (2017)

Como pode ser visto, a falha de encoder apresentou incidência ligeiramente maior (duas ocorrências) do que as demais falhas de freio e motor elétrico que apresentaram uma falha cada um.

A tabela 4.2 apresenta os dados de falha do rolo 2.

Tabela 4.2 - Falhas Rolo 2

<b>FALHAS ROLO 2</b>			
<b>ANO</b>	<b>ENCODER</b>	<b>FREIO</b>	<b>MOTOR ELÉTRICO</b>
2010	0	1	0
2011	1	0	0
2012	0	0	0
2013	0	0	0
2014	0	0	0

2015	1	0	0
2016	0	0	0
2017	0	0	0

Fonte: O autor (2017)

Os dados de falha do rolo 2 são parecidos com os do rolo 1 sendo também duas falhas de encoder ao longo do período contra uma falha de freio.

A tabela 4.3 apresenta os dados de falha do rolo 3.

Tabela 4.3 - Falhas Rolo 3

<b>FALHAS ROLO 3</b>			
<b>ANO</b>	<b>ENCODER</b>	<b>FREIO</b>	<b>MOTOR ELÉTRICO</b>
2010	0	0	0
2011	1	0	0
2012	0	0	0
2013	0	0	0
2014	0	0	0
2015	0	0	0
2016	0	0	0
2017	0	0	0

Fonte: O autor (2017)

No rolo 3 tivemos a incidência de apenas uma falha ao longo do tempo, sendo justamente a falha de encoder.

Como a falha de encoder é a que apresenta maior quantidade e causa maior impacto no funcionamento da linha ela será analisada para confirmar se a alteração de modelo de encoder utilizado se mostrou eficaz. Para os demais equipamentos, durante a simulação, será admitido que os mesmos não apresentaram falhas.

Para encontrar o valor de confiabilidade do encoder “A” (modelo original de encoder que foi fornecido juntamente com o motor) foram computados os dados de falha<sup>1</sup> de todos os motores da linha que utilizam o encoder “A”, conforme apresentado na tabela 4.4.

---

<sup>1</sup> Foram considerados no cálculo os dados de falha até o ano de 2015, pois neste ano o tipo de encoder “A” foi substituído pelo encoder “B”.



Tabela 4.4 - Histórico de Falhas Encoder "A"

FALHA ENCODER "A"								
ANO	BS2			BS3	BS7	BS7		DEFLETOR 860
	R1	R2	R3	R2	SNNUBER	R1	R2	
2010	0	0	0	1	0	1	0	0
2011	0	1	1	1	0	0	0	1
2012	1	0	0	0	1	1	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	1	0	0	1	0
2015	1	1	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: O autor (2017)

Os dados de falha dos demais motores que utilizam o encoder "B" foram compilados e são apresentados na tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Histórico de Falhas Encoder "B"

FALHA ENCODER "B"														
ANO	BS1		BS4		BS5		BS6				BS7		BS9	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R1	R2
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2015	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2016	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Fonte: O autor (2017)

Os dados de falha de ambos os encoders foram utilizados para modelar matematicamente o sistema conforme será apresentado no capítulo seguinte.

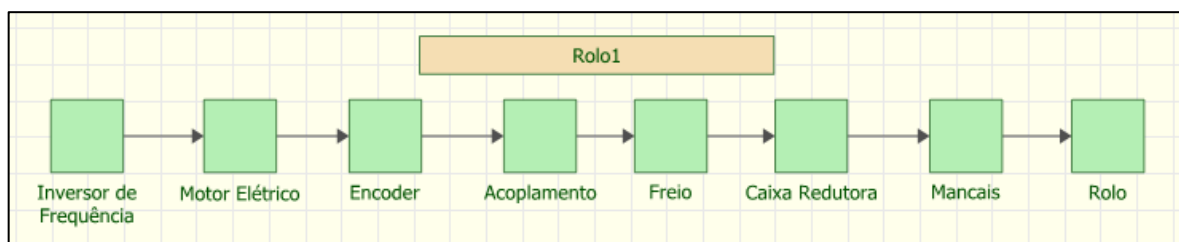
## 4.2 MODELAMENTO DO SISTEMA

Como explicado anteriormente, o BS2 é dividido em três rolos. Cada conjunto de rolo, por sua vez, é dividido em oito componentes: Inversor de Frequência, Motor, Encoder, Acoplamento, Freio, Caixa Redutora, Mancais e Rolo.

O primeiro passo foi modelar o sistema e os subsistemas utilizando diagrama de blocos com o software BlockSim (analítico) da ReliaSoft, conforme apresentado nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3.

A figura 4.1 apresenta o subsistema “Rolo 1”.

Figura 4.1 - Subsistema Rolo 1



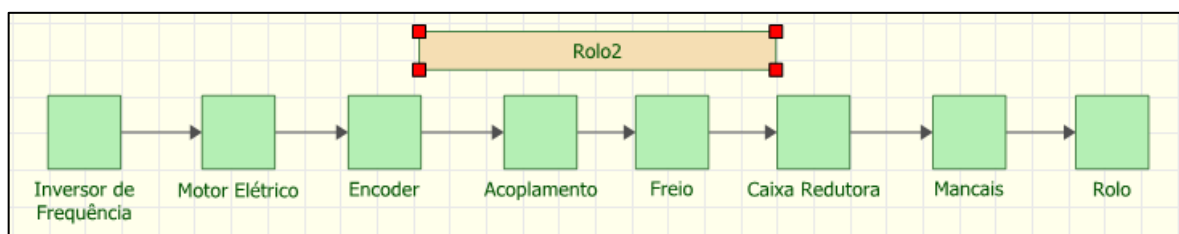
Fonte: O autor (2017)

Neste subsistema os componentes de menor nível de manutenibilidade são apresentados, sendo eles:

- Inversor de frequência;
- Motor elétrico;
- Encoder;
- Acoplamento;
- Freio;
- Caixa redutora;
- Mancais;
- Rolo.

A figura 4.2 apresenta o subsistema “Rolo 2”.

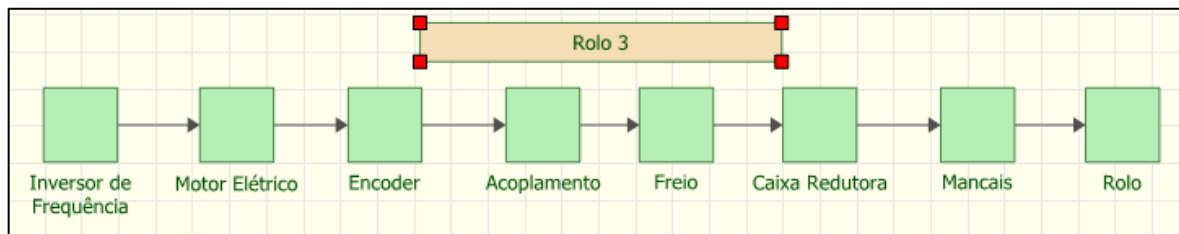
Figura 4.2 - Subsistema Rolo 2



Fonte: O autor (2017)

O subsistema do rolo 2 possui os mesmos componentes do rolo 1. A figura 4.3 apresenta o subsistema “Rolo 3”.

Figura 4.3 - Subsistema Rolo 3

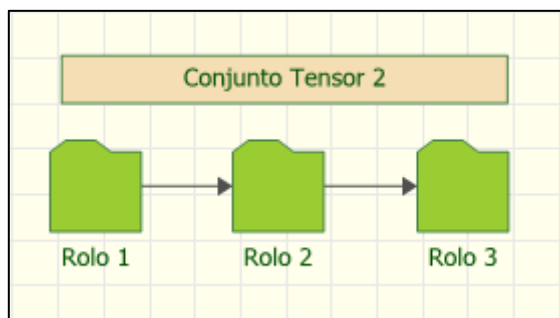


Fonte: O autor (2017)

O subsistema do rolo 3 é idêntico ao subsistema dos rolos 1 e 2.

A figura 4.4 apresenta o sistema “Conjunto Tensor nº 2”.

Figura 4.4 - Conjunto Tensor nº 2



Fonte: O autor (2017)

Em seguida, os valores de confiabilidade dos encoders “A” e “B” foram calculados utilizando o software Weibull++ da ReliaSoft.

Os dados de falha do encoder “A” apresentados na tabela 4.4 na foram inseridos no Weibull++ conforme apresentado na figura 4.5.

Figura 4.5 - Dados Encoder "A" no Weibull++

C30	Condição		Tempo até		Subconjunto
	F ou S		F ou S	(Ano)	
1	F		0		B53 - Rolo 1
2	F		0		B58 - Rolo 1
3	S		0		B52 - Rolo 1
4	S		0		B52 - Rolo 2
5	F		1		B52 - Rolo 2
6	F		1		B52 - Rolo 3
7	F		1		B53 - Rolo 3
8	F		1		Defletor 900
9	S		1		B53 - Rolo 2
10	S		1		B58 - Rolo 3
11	F		2		B52 - Rolo 1
12	F		2		B57 - Servo
13	F		2		B58 - Rolo 1
14	F		3		B52 - Rolo 1
15	S		3		B53 - Rolo 2
16	S		3		B17 - Servo
17	S		3		B56 - Rolo 1
18	F		4		B52 - Rolo 2
19	F		4		B58 - Rolo 2
20	S		4		B52 - Rolo 3
21	S		4		Defletor 900

Fonte: O autor (2017)

O teste de aderência para identificar qual melhor distribuição descreve o comportamento dos dados foi realizado e o resultado foi uma distribuição Gama, conforme apresentado na figura 4.6.

Figura 4.6 - Teste de Aderência Encoder "A"



Fonte: O autor (2017)

Os parâmetros da distribuição Gama calculados são apresentados na figura 4.7.

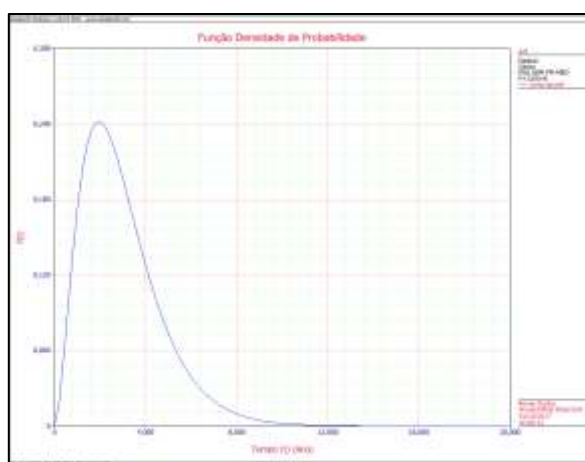
Figura 4.7 - Parâmetros da Distribuição Gama do Encoder "A"



Fonte: O autor (2017)

Pode ser visto no gráfico da *pdf* como a taxa de falha se comporta ao longo do tempo, conforme apresentado na figura 4.8.

Figura 4.8 - Gráfico da pdf Encoder "A"



Fonte: O autor (2017)

Aplicando o modelo de distribuição Gama foram calculados os valores de confiabilidade ao longo de cinco anos, os quais são apresentados na tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Confiabilidade do Encoder "A"

Encoder "A"	
Período [Ano]	R(t)
1	0,913775
2	0,666838
3	0,415570
4	0,233960
5	0,122938

Fonte: O autor (2017)

O mesmo processo foi repetido para os dados do encoder "B". Os dados da tabela 4.5 foram inseridos no Weibull++, conforme apresentado na figura 4.9.

Figura 4.9 - Dados Encoder "B" no Weibull++

	Condição P ou S	Tempo até P ou S (Ano)	Subconjunto B, I
1	F	8	#14 - ROLLO 1
2	S	8	#17 - ROLLO 2
3	F	1	#14 - ROLLO 1
4	F	1	#14 - ROLLO 1
5	F	1	#17 - ROLLO 1
6	S	1	#14 - ROLLO 1
7	S	1	#17 - ROLLO 1
8	F	2	#15 - ROLLO 1
9	S	1	#19 - ROLLO 3
10	F	4	#14 - ROLLO 1
11	F	4	#19 - ROLLO 2
12	F	5	#17 - ROLLO 1
13	S	5	#15 - ROLLO 1
14	F	7	#17 - ROLLO 2
15	S	7	#11 - ROLLO 1
16	S	7	#11 - ROLLO 2
17	S	7	#14 - ROLLO 2
18	S	7	#13 - ROLLO 2
19	S	7	#14 - ROLLO 1
20	S	7	#19 - ROLLO 2
21	S	7	#14 - ROLLO 4
22	S	7	#19 - ROLLO 1
23	S	7	#19 - ROLLO 2

Fonte: O autor (2017)

O teste de aderência para identificar qual melhor distribuição descreve o comportamento dos dados foi realizado e o resultado foi uma distribuição Weibull-2P, conforme apresentado na figura 4.10.

Figura 4.10 - Teste de Aderência Encoder "B"



Fonte: O autor (2017)

Os parâmetros da distribuição Weibull-2P calculados são apresentados na figura 4.11.

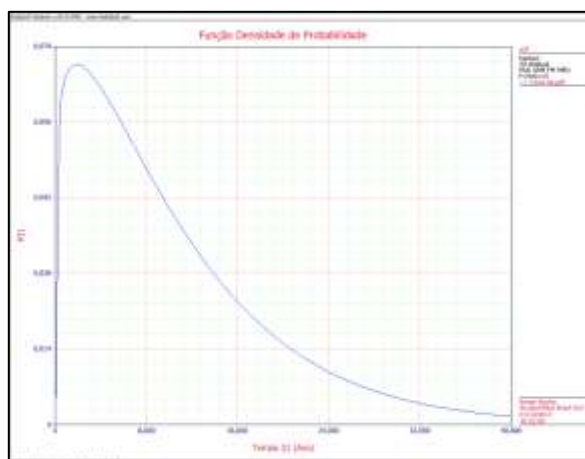
Figura 4.11 - Parâmetros da Distribuição Weibull-2P do Encoder "B"



Fonte: O autor (2017)

O gráfico da *pdf* é apresentado na figura 4.12.

Figura 4.12 - Gráfico da pdf Encoder "B"



Fonte: O autor (2017)

Aplicando o modelo de distribuição de confiabilidade Weibull-2P para os equipamentos foram obtidos os valores de confiabilidade ao longo de cinco anos, os quais são apresentados em anos na tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Confiabilidade do Encoder "B"

Encoder "B"	
Período [Ano]	R(t)
1	0,939028
2	0,869662
3	0,800392
4	0,733444
5	0,669826

Fonte: O autor (2017)

Como forma de comparação os valores da confiabilidade ao longo do tempo foram colocados lado a lado na tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Confiabilidade Encoder "A" x Encoder "B"

Período [Ano]	Encoder "A"	Encoder "B"
	R(t)	R(t)
1	0,913775	0,939028
2	0,666838	0,869662
3	0,415570	0,800392
4	0,233960	0,733444
5	0,122938	0,669826

Fonte: O autor (2017)

Como pode ser visto o encoder "B" possui índices de confiabilidade muito superiores ao do Encoder "A", principalmente do segundo ano de operação em diante.

Os dados de confiabilidade foram imputados no modelo criado no BlockSim para conhecer a confiabilidade do Subsistema BS2 antes e depois da alteração do tipo de Encoder "A" pelo Encoder "B".

O bloco do encoder de cada rolo foi configurado com a distribuição de confiabilidade Gama conforme apresentado na figura 4.13 e em seguida a confiabilidade foi calculada.

Figura 4.13 - Configuração do subsistema no BlockSim para o Encoder "A"



Fonte: O autor (2017)



Em seguida, os blocos de encoder foram configurados com a distribuição de confiabilidade Weibull-2P, conforme apresentado na Figura 4.14. Em seguida a confiabilidade foi calculada.

Figura 4.14 - Configuração do subsistema no BlockSim para o Encoder “B”



Fonte: O autor (2017)

Os valores encontrados de confiabilidade do subsistema BS2 para as configurações com o encoder “A” e com o encoder “B” são apresentados na tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Confiabilidade BS2 com o Encoder "A" e com Encoder “B”

Período [Ano]	BS2 - Encoder "A"	BS2 - Encoder "B"
	R(t)	R(t)
1	0,762988	0,828010
2	0,296525	0,657735
3	0,071768	0,512752
4	0,012806	0,394548
5	0,001858	0,300529

Fonte: O autor (2017)

Como pode ser observado na tabela 4.9, a modificação do encoder para o tipo “B” trás, além de uma confiabilidade inicial maior do que a do encoder “A”, um resultado vantajoso no longo prazo, pois até o terceiro ano ainda tem confiabilidade maior do que cinquenta por cento contra praticamente zero do encoder “A”. Os resultados práticos comprovam os valores calculados, pois como pode ser observado na tabela 4.4, as falhas de encoder nos equipamentos que foram alterados foram eliminadas e até o presente momento não voltaram a acontecer.

Utilizando o módulo de simulação do BlockSim (simulação) a disponibilidade média do BS2 também pode ser conhecida.

O tempo de reparo considerado para cada evento de troca do encoder inclui o tempo que a equipe leva para se deslocar até o equipamento, averiguar a causa da falha, preparar a documentação necessária para realizar a atividade, requisitar o material sobressalente e efetuar a troca do componente danificado. Em média as equipes levam 1,5 horas para realizar a atividade, com desvio padrão de 20 minutos. Este dado foi parametrizado como função de reparo no simulador para cada rolo do BS2. O subsistema foi parametrizado também com os mesmos valores de distribuição de falha encontrados no Weibull++ e os resultados encontrados para seis anos de simulação são apresentados na tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Disponibilidade Média e MTBF Encoder "A" x Encoder "B"

Período [Ano]	BS2 - Encoder "A"		BS2 - Encoder "B"	
	Disponibilidade Média	MTBF [Ano]	Disponibilidade Média	MTBF [Ano]
1	0,999954	1,16	0,999968	4,26
2	0,999911		0,999964	
3	0,999885		0,999962	
4	0,999869		0,999961	
5	0,999859		0,999960	

Fonte: O autor (2017)

Chama a atenção a grande diferença entre o tempo médio entre falhas (MTBF) do BS2 com encoders diferentes, sendo o que utiliza o encoder "B" o triplo do encoder "A".

A respeito da disponibilidade, ambos apresentam boa taxa ao longo dos anos, mas a configuração com o encoder "B" se sobressai como era de se esperar depois de avaliar os dados de confiabilidades dos mesmos.

### 4.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram tratados da metodologia que foi aplicada para realizar a análise da otimização da confiabilidade no BS2. Foram vistas as ferramentas e sua aplicação com os valores encontrados antes e depois das alterações realizadas, revelando que o método de análise é válido e pode ser aplicado com bons resultados nos outros equipamentos que apresentam falhas repetitivas.

## 5 CONCLUSÃO

A Engenharia da Confiabilidade vem ganhando destaque nas empresas por aplicar uma nova visão sobre os ativos visando conhecer profundamente os dados de falhas dos equipamentos.

As técnicas estatísticas aplicadas em conjunto com o conhecimento técnico das equipes de manutenção permitem alcançar um patamar de disponibilidade nos equipamentos que dificilmente se conseguiria até poucos anos atrás com os métodos tradicionais de se fazer manutenção.

Para que estes bons resultados sejam alcançados é fundamental que se tenha um banco de dados de falhas dos equipamentos confiável e robusto. Esta é uma das grandes dificuldades de se conseguir implantar este nível de excelência nas empresas, ter um banco de dados confiável.

Ao analisar o histórico de falhas da linha de galvanização pode ser verificado que existem muitas falhas que não condizem com os dados que são imputados na descrição do ocorrido ou que por falta de uma descrição detalhada da falha não podem ser utilizados nas análises de confiabilidade. Felizmente a grande maioria das informações necessárias para este estudo pôde ser utilizada e o resultado alcançado foi satisfatório.

Foi possível verificar cientificamente através de análise dos dados de falha e de simulação o que se verificava na prática, mas que não havia sido ainda mensurado com este nível de detalhe: que os motores que possuíam o tipo de encoder “B” falhavam menos do que os que possuíam o encoder “A”.

Como todos os motores dos conjuntos tensores da linha causam a parada do processo em caso de falha, é difícil entender porque os motores foram fornecidos com tipos de encoders diferentes, pois os mesmos devem apresentar o mesmo nível de confiabilidade e disponibilidade para permitir alcançar um bom resultado operacional.

Como o estudo realizado permite conhecer as medidas de confiabilidade do equipamento, algumas ações podem ser tomadas para aumentar a confiabilidade dos equipamentos menos robustos e alcançar melhores resultados globais, apoiando as decisões de investimentos neste ou naquele equipamento.

As técnicas de otimização da confiabilidade utilizadas são simples de ser aplicadas, mas se faz necessário conhecer os softwares para que os mesmos possam ser parametrizados corretamente e os dados imputados de maneira correta.

Estes softwares, embora muito bem construídos, não são tão intuitivos, sendo necessário possuir grande conhecimento teórico para poder trabalhar os dados de processo e obter informações valiosas.

Por outro lado, a plataforma gráfica dos programas permite uma análise simples e sucinta dos resultados disponibilizados.

Analisados os dados de falha e inseridos os mesmos no programa, chegamos ao resultado da confiabilidade e disponibilidade do conjunto tensor n° 2. Conforme esperado, o resultado provou que o encoder do tipo “B” tem medidas de confiabilidade melhores do que o encoder do tipo “A”. Isto prova que o trabalho de alteração de projeto para substituição dos encoders problemáticos e padronização do tipo de equipamento utilizado se mostrou acertada, coroando o bom trabalho realizado pela equipe de manutenção.

A utilização do encoder tipo “A” pelo fornecedor não foi compreendida, visto que os motores dos conjuntos tensores da linha tem a mesma exigência portando, se um ativo apresenta problema, o sistema é paralisado.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

São sugestões para continuidade deste trabalho os temas a seguir:

- Realizar a análise de dados de falha dos demais conjuntos tensores para avaliar se os níveis de confiabilidade e disponibilidade se mostram semelhantes aos do conjunto tensor n° 2.
- Aplicar a mesma metodologia para algum ativo crítico que esteja com seus resultados comprometidos e que se necessite alavancar os resultados de confiabilidade e disponibilidade.

## REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL S/A. Arcelor Mittal Vega - Aços Planos. Disponível em: <<http://vega.arcelormittal.com/empresa/empresa.asp>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

BARAN, L. R. **Proposta de um Modelo Multicritério para Determinação da Criticidade na Gestão da Manutenção Industrial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa. 2015.

BIROLINI, A. **Reliability Engineering: Theory and Practice**. Fifth Edition. ed. Nova York: Springer Science & Business Media, 2007.

CALIXTO, E.; BRETAS, R. Aálise RAM+L: Um estudo integrado de várias unidade de Produção de uma Refinaria. **23º Congresso Brasileiro de Manutenção - Abraman**, 2008.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística: para Engenharia e Ciências**. 6ª. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2006.

FILHO, G. B. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GNEDENKO, B.; PAVLOV, I.; USHAKOV, I. **Statistical Reliability Engineering**. New York: John Wiley e Sons, Inc, 1999.

LEEMIS, L. M. **Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods**. Nova York: Prentice Hall, 1995.

MORTELARI, D.; SIQUEIRA, K.; PIZZATI, N. **O RCM na quarta geração da manutenção - A moderna gestão de ativos**. 2ª. ed. São Paulo: RG Editores, 2014.

RELIASOFT. **ReliaSoft**, 2017. Disponível em: <<http://www.reliasoft.com.br/BlockSim/index.html>>. Acesso em: 27 set. 2017.

RELIASOFT. **ReliaSoft**, 2017. Disponível em: <<http://www.reliasoft.com.br/Weibull/index.htm>>. Acesso em: 01 out. 2017.

RELIASOFT. ReliaWiki. **reliawiki.org**. Disponível em: <[http://www.reliawiki.org/index.php/Statistical\\_Background](http://www.reliawiki.org/index.php/Statistical_Background)>. Acesso em: 26 set. 2017.

SMITH, D. D. J. **Reliability, maintainability and risk**. 8ª. ed. Nova York: Butterworth-Heinemann, 2011.

WERNER, L. **Modelagem dos Tempos de Falha ao Longo do Calendário.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1996.