

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

JUNIO FERNANDES TOMAZ

**DIMENSIONAMENTO DE ESTOQUES DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO
COM USO DE SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

JUNIO FERNANDES TOMAZ

**DIMENSIONAMENTO DE ESTOQUES DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO
COM USO DE SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO**

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. Marcelo Rodrigues

Co-orientador: Emerson Rigoni

CURITIBA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

DIMENSIONAMENTO DE ESTOQUES DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO COM USO DE SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

por

JUNIO FERNANDES TOMAZ

Esta monografia foi apresentada em 10 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. Marcelo Rodrigues, Dr.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

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

Dedico este trabalho as pessoas magníficas que Deus colocou em minha vida.

A minha esposa Rosiani da Silva Tomé pela compreensão, carinho e apoio que me fizeram seguir em frente nos momentos mais difíceis.

A ArcelorMittal Vega pela confiança e oportunidade a mim proporcionada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por permitir minha existência e me guiar nos caminhos que me trouxeram até este momento.

A minha esposa e companheira, por ser tão especial em minha vida e por ter me apoiado em toda esta jornada.

Aos meus pais Pedro e Julia pela educação e valores que foram fundamentais para minha formação e crescimento pessoal.

A ArcelorMittal Vega grande responsável por proporcionar esta oportunidade, composta por pessoas ímpares com quem compartilho momentos de muito aprendizado, os quais me fazem crescer pessoalmente e profissionalmente

Ao meu orientador Prof. Marcelo Rodrigues pela contribuição dada para o engrandecimento deste trabalho.

A todos os professores da Pós Graduação em Engenharia de Confiabilidade da UTFPR pela dedicação e profissionalismo demonstrado, pelo conhecimento transmitido durante todo o curso, que fizeram a diferença em minha formação.

A todos meus colegas de sala, pelos bons momentos que passamos juntos durante este período, que suas jornadas sejam de muito sucesso.

A todos os que por algum motivo direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A crise é a maior dádiva que pode acontecer às pessoas e aos países porque a crise traz progresso. A criatividade nasce da aflição, assim como o dia nasce da noite. É na crise que as invenções, as descobertas e as grandes estratégias nascem (Albert Einstein).

RESUMO

TOMAZ, Junio Fernandes. **Dimensionamento de Estoques de Peças de Reposição com uso de Simulação de Monte Carlo**. 2017. 66 folhas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A adoção de uma política correta para o gerenciamento do estoque de peças de reposição MRO (manutenção, reparo e operação), pode trazer vários benefícios para as empresas, como o aumento da disponibilidade dos seus ativos e a redução de custos operacionais. As técnicas atuais de dimensionamento de estoques não levam em consideração as características individuais deste tipo de peças, que são o baixo ou baixíssimo giro, alto tempo de reposição e alto custo, não apresentando uma demanda no tempo de resposta normalmente distribuída. Para este tipo de estoque o grande desafio das organizações é a definição de quanto pedir, quando pedir e quanto manter em estoque. Este trabalho propõe um modelo para o dimensionamento de peças de reposição, onde seu objetivo é encontrar a melhor relação entre o número de peças em estoque e a disponibilidade dos ativos ao menor custo final. O estudo contempla o levantamento e análise de dados históricos dos tempos até a falha, tempos de reparo e tempo de reposição de cada peça estudada individualmente, para o modelamento das distribuições de probabilidade que representarão estas características. O estudo foi aplicado na ArcelorMittal Vega, que é uma empresa do ramo siderúrgico de grande porte localizada no sul do país. O modelo abordado neste trabalho utiliza ferramentas de confiabilidade e simulação com software pelo método de Monte Carlo, que pode ser aplicado a qualquer distribuição de probabilidade. O modelo proposto é aplicado em duas peças de reposição, sendo uma de natureza elétrica e outra de natureza mecânica. Este recurso se mostrou aderente e eficaz ao objetivo proposto, na definição do estoque de peças de reposição e sendo de fácil aplicação e compreensão. Os resultados obtidos com a simulação são mostrados no final deste estudo, e uma comparação com o estoque atual destas peças é realizada.

Palavras-chave: Gerenciamento de estoques. Simulação de Monte Carlo. Confiabilidade. Disponibilidade. Custos

ABSTRACT

TOMAZ, Junio Fernandes. **Spare Parts Stock Sizing using Monte Carlo Simulation**. 2017. 66 sheets. Monograph (Specialization in Reliability Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2017.

The adoption of a correct spare parts inventory management policy MRO (maintenance, repair and operation), can bring several benefits to the companies, such as assets availability increase and operational costs reduction. Current techniques of inventory sizing do not take into account the individual characteristics of this type of parts, which are, low or very low turnover, high lead time and high cost, not presenting a demand in the normally distributed response time. For this type of inventory the great organizations challenge is the definition of how much to order, when to order and how many to keep in stock. This work proposes a model for spare parts sizing, whose objective is to find the best relation between the number of parts in stock and the assets availability at lowest final cost. The study includes the collection and analysis of historical data from time to failure, time to repair and time to replacement of each piece studied individually in order to model the probability distributions that will represent these characteristics. The study was applied at ArcelorMittal Vega, a large steel company located in the south of country. The model applied in this work uses reliability and simulation tools with software by the Monte Carlo method that can be applied to any probability distribution. The proposed model is applied in two spare parts, one electrical and one mechanical type. This method was adherent to the proposed objective and effective on definition of spare parts number in stock, being easy to apply and understand. The simulation results are shown at the end of this study and a comparison is made with the current stock of these spare parts.

Keywords: Inventory management. Monte Carlo Simulation. Reliability. Availability. Costs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Valor de Estoque Pelo Custo Total de Manutenção.....	15
Figura 2- Localização da ArcelorMittal Vega	20
Figura 3 - Bobinas Laminadas a Frio	21
Figura 4 - Processo Produtivo de Bobinas Laminadas a Frio.....	23
Figura 5 - Eliminação do Patamar de Escoamento	24
Figura 6 - Laminador Tipo Quádruo	24
Figura 7 - Transdutor de Posição dos Cilindros Hidráulicos.....	26
Figura 8 - Modelo do Transdutor de Posição	26
Figura 9 - Cruzeta do Eixo Cardan.....	27
Figura 10 - Exemplo de Curva da Banheira	32
Figura 11 - Dados Completos e Dados Censurados	35
Figura 12 - Dados Completos a Direita, Intervalar e a Esquerda	35
Figura 13 - Representação da <i>pdf</i> e Taxa de Falhas na Distribuição Exponencial ...	37
Figura 14 - Representação da Taxa de Falha para Diferentes Valores de β	38
Figura 15 - Diagrama de Sistema Série Simples.....	40
Figura 16 - Diagrama de Sistema Paralelo Simples	41
Figura 17 - Dados de Tempo Até a Falha do Transdutor	47
Figura 18 - Gráficos das Funções de Falha do Transdutor	47
Figura 19 - Dados de Tempo de Reparo do Transdutor.....	48
Figura 20 - Gráficos das Funções de Reparo do Transdutor	48
Figura 21 - Dados do Tempo de Reposição do Estoque do Transdutor.....	49
Figura 22 - Gráficos das Funções de Reposição do Transdutor	49
Figura 23 - Tempo Até a Falha da Cruzeta	50
Figura 24 - Gráficos das Funções de falha da Cruzeta da Cadeira 2.....	50
Figura 25 - Dados de Tempo de Reparo da Cruzeta	51
Figura 26 - Gráficos das Funções de Reparo da Cruzeta	51
Figura 27 - Dados do Tempo de Reposição do Estoque da Cruzeta	52
Figura 28 - Gráficos das Funções de Reposição da Cruzeta	52
Figura 29 - Diagrama do Transdutor de Posição.....	53
Figura 30 - Configuração dos Blocos que Representam o Transdutor.....	54
Figura 31 - Simulação do Sistema	55
Figura 32 - Gráfico da Disponibilidade X Custos X Nível de Estoque Transdutor	56
Figura 33 - Diagrama do Sistema das Cruzetas.....	57
Figura 34 - Configuração dos Blocos que Representam a Cruzeta	58
Figura 35 - Simulação do Sistema	58
Figura 36 - Gráfico da Disponibilidade X Custos X Nível de Estoque Cruzeta.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor de Estoque Pelo Custo total de Manutenção	14
Tabela 2 - Tempo de Até a Falha do Transdutor (<i>TTF</i>).....	43
Tabela 3 - Tempo de Reparo do Transdutor (TTR).....	44
Tabela 4 - Tempo de Reposição do Transdutor	44
Tabela 5 - Tempo de Até a Falha da Cruzeta	45
Tabela 6 - Tempo de Reparo da Cruzeta (TTR).....	45
Tabela 7 - Tempo de Reposição da Cruzeta.....	46
Tabela 8 - Parâmetros Configurados nos Blocos	54
Tabela 9- Resultados Simulação Transdutor	55
Tabela 10 - Parâmetros Configurados nos Blocos	57
Tabela 11- Resultados Simulação Cruzeta	59
Tabela 12 - Comparação Entre Estoque Atual e Recomendado Pela Simulação	60

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de ativos
CMMS	Sistema Computadorizado de Gerenciamento da Manutenção
LCC	Custos de Ciclo de Vida
MLE	Máxima Verossimilhança
MRO	Manutenção, Reparo e Operação
MTBF	Tempo Médio entre Falhas
MTTF	Tempo Médio Até a Falha
MTTR	Tempo Médio para Reparo
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
RBD	Diagrama de Blocos de Confiabilidade
RRX	Método da Regressão
TTF	Tempo para Falha
TTR	Temo para Reparo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo Geral.....	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	JUSTIFICATIVA	17
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	17
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	ÁREA DE APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	20
2.1	PROCESSOS PRODUTIVOS DA ARCELOR MITTAL VEGA	21
2.2	PROCESSOS ESCOLHIDOS PARA A APLICAÇÃO DO ESTUDO.....	22
2.3	CARACTERÍSTICAS DO LAMINADOR DE BOBINAS A FRIO.....	22
2.4	CARACTERÍSTICAS DO LAMINADOR DE ENCRUAMENTO	23
2.5	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO LAMINADOR	25
2.6	DEFINIÇÃO DAS PEÇAS DE REPOSIÇÃO PARA ESTUDO	25
2.6.1	Transdutor de Posição do Laminador de Encruamento	25
2.6.2	Cruzetas do Eixo Cardan do Laminador de Bobinas a Frio.....	26
2.7	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	27
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	29
3.1	CONCEITO E CARACTERIZAÇÃO DOS ESTOQUES MRO	29
3.2	PRINCIPAIS CONCEITOS DE CONFIABILIDADE	30
3.3	PRINCIPAIS MÉTRICAS DE CONFIABILIDADE	31
3.3.1	Tempo até a Falha	31
3.3.2	Função da Confiabilidade.....	31
3.3.3	Taxa de Falhas.....	32
3.3.4	Tempo Médio até a Falha <i>MTTF</i>	33
3.3.5	Tempo Médio entre Falhas <i>MTBF</i>	33
3.3.6	Mantenabilidade	33
3.3.7	Disponibilidade Média	34
3.4	ANÁLISE DE DADOS DE VIDA	34
3.4.1	Dados Completos e Dados Censurados	34
3.4.2	Método da Regressão e da Máxima Verossimilhança.....	35
3.4.3	Principais Distribuições de Probabilidade.....	36
3.4.4	Distribuição Exponencial	36
3.4.5	Distribuição de Weibull	37
3.5	MÉTODO DE SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO.....	38
3.5.1	Modelamento do Sistema pelo Diagrama de Blocos RBD	40
3.6	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	41
4	DESENVOLVIMENTO	43
4.1	LEVANTAMENTO DOS DADOS DAS PEÇAS DE REPOSIÇÃO	43
4.1.1	Dados do Transdutor de Posição	43
4.1.2	Dados da Cruzeta do Laminador a Frio.....	44
4.2	ANÁLISE DOS DADOS	46
4.2.1	Análise dos Tempos até a Falha do Transdutor de Posição	46
4.2.2	Análise dos Tempos de Reparo do Transdutor de Posição	47
4.2.3	Análise dos Tempos de Reposição do Estoque do Transdutor	48
4.2.4	Análise dos Tempos Até a Falha da Cruzeta do Laminador	50

4.2.5	Análise dos Tempos de Reparo da Cruzeta	51
4.2.6	Análise dos Tempos de Reposição do Estoque da Cruzeta.....	52
4.3	MODELAMENTO E SIMULAÇÃO DO SISTEMA	53
4.4	MODELAMENTO E SIMULAÇÃO DO TRANSDUTOR DE POSIÇÃO..	53
4.4.1	Diagrama de Blocos do Transdutor de Posição	53
4.4.2	Simulação do Transdutor de Posição.....	55
4.5	MODELAMENTO E SIMULAÇÃO DA CRUZETA DO LAMINADOR.....	57
4.5.1	Diagrama de Blocos das Cruzetas do Laminador	57
4.5.2	Simulação da Cruzeta	58
4.5.3	Comparação Entre o Estoque Atual e os Resultados da Simulação	60
4.6	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	61
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	62
5.1.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	65
	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

A nova realidade dos mercados modernos faz com que as empresas contemporâneas adotem políticas de gestão que buscam a alta disponibilidade dos seus ativos a baixos custos para garantia da continuidade operacional e aumento da competitividade. Na contramão deste cenário aparecem os métodos utilizados atualmente para gestão de seus inventários de peças de reposição MRO (manutenção, reparo e operação). Segundo Vieira (2008), estes inventários são geridos por meio de conceitos gerais não adequados as características de baixo OU baixíssimo giro, alto custo de aquisição, alto tempo de reposição e uso específico, não levando em consideração toda a característica da cadeia de suprimentos.

Na prática pode-se constatar que a falta ou dificuldade no estabelecimento de regras claras para gestão de inventários ocasiona o distanciamento entre a estratégia da empresa pelas adotadas por seus Gestores. No dia a dia as tomadas de decisões são puramente técnicas ou empíricas, não alinhadas com a visão da organização. Isto resulta em estoques com valores estratosféricos, perdas de capital por obsolescência e não atendimento de todas as demandas da operação impactando na indisponibilidade de seus ativos e conseqüentemente elevando os custos operacionais.

Para mostrar o impacto dos estoques de peças de reposição sobre os custos da manutenção nas empresas, a Tabela 1 compara o custo dos estoques ao custo da manutenção para os anos de 1997 a 2013. Estas informações constam no Documento Nacional de 2013 elaborado por meio de uma pesquisa junto às empresas, conduzida pela Associação Brasileira de manutenção (ABRAMAN), e publicada no 28º Congresso Brasileiro de Manutenção realizado em Salvador – BA em Setembro de 2013.

Tabela 1 - Valor de Estoque Pelo Custo total de Manutenção

Índice de Custos	Estoque								
	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011	2013
Valor de Estoque pelo Custo total de Manutenção (%)	16,00	13,00	11,91	11,48	14,02	13,11	13,11	13,20	13,41
Rotatividade do Estoque (meses)	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	4,0	5,0

Fonte: ABRAMAN (2013).

Pode-se observar que ao longo dos anos houve pouca evolução na gestão dos estoques que tem rotatividade em torno de 4,5 meses e custam cerca de 13% do custo de manutenção das empresas, com ligeira tendência de crescimento nos últimos 12 anos, conforme ilustra a Figura 1

Figura 1 - Valor de Estoque Pelo Custo Total de Manutenção



Fonte: ABRAMAN (2013).

Neste contexto ganham cada vez mais força as ferramentas que usam metodologias quantitativas, modelamento probabilístico e simulação para tomadas de decisão, aumentando assim a assertividade e reduzindo incertezas dos gestores. Os estudos de confiabilidade dos ativos e a simulação de Monte Carlo aparecem como alternativas para o dimensionamento adequado dos estoques das peças de reposição MRO, visando o aumento da disponibilidade dos ativos e a redução de custos operacionais, reduzindo os investimentos em inventários.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Adotar estratégias comuns para gestão de estoques de manutenção, levando em conta apenas aspectos gerais como demandas de consumo e tempo de reposição não trazem resultados eficazes para as empresas. Alguns fatores limitam os modelos tradicionais de serem aplicados, pois consideram que a demanda no tempo de resposta é normalmente distribuída. As principais características destes estoques são: imprevisibilidade de consumo, pois são peças de baixo ou baixíssimo giro, alto valor agregado e longos tempos de resposta no ressuprimento. Muitas

vezes são itens de aplicação específica e fabricação por demanda, aumentando o tempo de reposição e forçando as empresas a manterem altos níveis de estoques para reduzir o risco de grandes paradas pela falta de sobressalentes. Segundo Wanke (2008), estas características são armadilhas presentes nas tomadas de decisões de quanto pedir, quando pedir e quanto manter em estoque de reposição.

Com a modernização das empresas os acessos aos dados de vida dos componentes são cada vez mais facilitados. Através de estudos de confiabilidade, por meio de modelagem do tempo de vida e levando em consideração informações como: tempo de reparo, tempo de ressuprimento, custos de armazenamento, custos de indisponibilidade de estoque, entre outros, através da simulação de Monte Carlo, seria possível obter a melhor relação entre custo e disponibilidade do ativo no dimensionamento do estoque das peças de reposição de baixo giro?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Aplicar conceitos de confiabilidade e Simulação de Monte Carlo para o dimensionamento do estoque de peças de reposição MRO não reparáveis e de baixo giro, utilizadas em manutenções de máquinas, obtendo a melhor relação entre custos de inventário e disponibilidade dos ativos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atendimento do objetivo geral, os seguintes objetivos específicos deverão ser atendidos:

- Definir os ativos focos do estudo e duas peças de reposição críticas para aplicação do estudo;
- Levantar os custos e tempos de reposição das peças, bem como os custos de armazenamentos e quantidades atuais em estoque;
- Pesquisar em campo para levantar dados reais de vida das peças de reposição;

- Tratar os dados para obtenção do tempo até a falha, tempo de reparo e tempo de reposição, de cada item, e definição das distribuições de probabilidade que melhor se ajustam a estes dados;
- Simular pelo método de Monte Carlo para dimensionar o estoque ideal de cada peça de reposição, e comparar com os dados reais destes itens.

1.3 JUSTIFICATIVA

Um dos grandes desafios das empresas atuais é a gestão de peças de reposição, conforme Costa (2009) as empresas de grande porte do ramo naval, aéreo, automobilístico e siderúrgico mantêm elevados valores em estoque que eventualmente ou nunca são consumidos. A consequência deste modelo de gestão para as empresas é aumento nos custos fixos, aumento nos valores pagos para seguros contra sinistros, elevadas perdas por obsolescência de peças e redução no fluxo de caixa da empresa.

Cada vez mais se buscam técnicas quantitativas que contribuam para as tomadas de decisão dos gestores, assim evitando que elas sejam tomadas com base em experiência ou empirismo. Neste contexto, a utilização de dados históricos de uso para previsão e antecipação de eventos futuros, com base em modelos matemáticos e probabilidade são de grande valia, pois aumentam a assertividade das estratégias adotadas e permitem correr riscos calculados.

Além do correto dimensionamento dos estoques das peças de reposição que serão estudadas, podendo gerar economias nos valores investidos nos estoques, outros benefícios esperados com aplicação destas ferramentas de confiabilidade quantitativas são: redução dos riscos de rupturas de estoques, causadas pela falta de itens, pois se estima a obtenção da quantidade ideal de estoque dos itens e a elevação da disponibilidade dos ativos.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo será desenvolvido na ArcelorMittal Vega, uma empresa de grande porte do ramo siderúrgico do sul do país, onde serão definidos os ativos para desenvolvimento do trabalho. Pretende-se no final das etapas realizar uma

comparação do estoque atual destes itens com o estoque ideal apontado pelo estudo.

Por questões práticas e de prazos serão elencadas duas peças de reposição dos ativos escolhidos, levando em consideração os itens de maior criticidade, que tenham os dados necessários disponíveis, para aplicação da metodologia.

Todas a análise e modelamento serão feitas com utilização de softwares específicos para estudos de confiabilidade. Serão utilizados os softwares WEIBULL para modelagem dos dados de vida e definição da distribuição de probabilidade e o BlockSim para simulação de Monte Carlo, ambos da empresa Reliasoft.

O desenvolvimento será iniciado por meio de pesquisa bibliográfica buscando embasamento teórico sobre os principais conceitos de confiabilidade e gestão de estoques. Por se tratar de uma pesquisa qualitativa, serão elencados por meio de entrevistas com os Especialistas de Manutenção, os ativos para realização do estudo. Serão realizados levantamentos dos dados de vida dos componentes em campo, através do sistema computadorizado de gestão da manutenção (CMMS) da empresa. Estes dados serão tratados para obtenção do tempo até a falha, tempo de reparo e tempo de reposição de cada peça e através do software WEIBULL, encontrar as distribuições de probabilidade que melhor representam sua expectativa vida e probabilidade de falhas, tempo de reparo e tempo de reposição.

A etapas seguinte é configuração do bloco que representará a peça de reposição com o uso do software BlockSim, serão utilizados os modelos de distribuição e os parâmetros encontrados no passo anterior para cada componente. Os dados referentes ao estoque (número de peças, tempo e custo reposição) e os custos da indisponibilidade do ativo ocasionados pela falta da peça em estoque também serão inseridos no modelo.

Após a realização de todas as configurações, serão realizadas simulações no software, para ter a análise dos dados de confiabilidade no tempo variando os parâmetros de estoque para encontrar a estratégia de estoque adequada para cada peça estudada no menor custo total do sistema.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 apresenta uma abordagem dos problemas relacionados à gestão de estoque nas empresas atuais, propondo uma metodologia quantitativa e

uso de simulação para colaborar com dimensionamento dos estoques de peças de reposição.

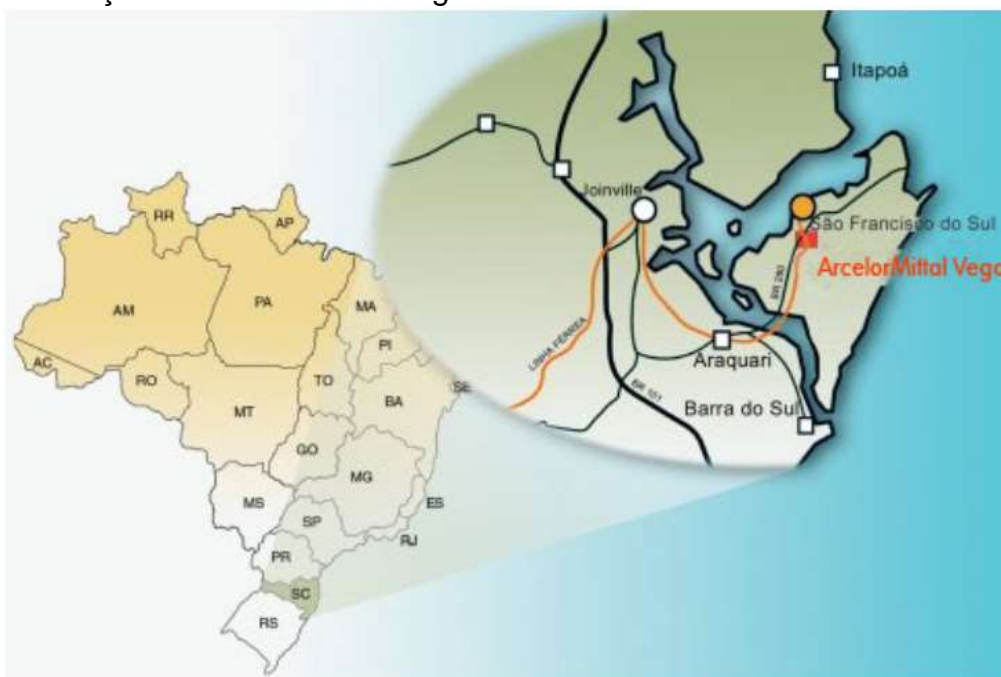
Os demais capítulos contêm os seguintes conteúdos:

- O capítulo 2 apresenta a empresa objeto de estudo e os ativos escolhidos bem como as peças de reposição que serão;
- O capítulo 3 mostra os principais conceitos de Gestão de estoques e da Engenharia de Confiabilidade para o melhor entendimento dos termos técnicos utilizados neste trabalho. Também será abordado o modelo de simulação de Monte Carlo para dimensionamento do estoque de peças de reposição;
- O capítulo 4 apresenta as etapas do desenvolvimento do estudo, desde o levantamento, tratamento e análise dos dados, modelagem das distribuições do sistema, realização da simulação de Monte Carlo e os resultados encontrados e uma análise e comparação com os dados reais do inventário;
- O capítulo 5 traz uma análise dos resultados obtidos nas simulações. Este capítulo também relata as dificuldades encontradas na realização do estudo e sugestões para trabalhos futuros.

2 ÁREA DE APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O estudo de caso será realizado no estoque de peças de reposição das linhas de produção da ArcelorMittal Vega, uma indústria siderúrgica de aços planos de grande porte localizada em São Francisco do Sul em Santa Catarina, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2- Localização da ArcelorMittal Vega



Fonte: ArcelorMittal Vega (2017).

A empresa é considerada uma das mais modernas unidades de transformação de aços planos do mundo, contando com avançados processos de decapagem, laminação a frio e galvanização. A matéria prima processada são bobinas a quente fornecidas pela ArcelorMittal Tubarão, localizada em Vitória/ES, que são transportadas por meio de um sistema de barcaças oceânicas.

Sua capacidade produtiva nominal é de cerca de 1,6 milhão de toneladas de aço por ano, entre laminados a frio e galvanizados, que são destinados principalmente às indústrias automobilísticas, de eletrodomésticos, à produção de tubos e à construção civil. (ArcelorMittal Vega, 2017).

2.1 PROCESSOS PRODUTIVOS DA ARCELOR MITTAL VEGA

O foco principal da empresa é a transformação de aços para o mercado automotivo e indústria. Atuando também nos segmentos de eletrodomésticos (linha branca), distribuição, construção civil, tubos & perfis entre outros. A ArcelorMittal Vega é uma planta industrial que tem a função de beneficiar aços carbono planos, comumente conhecidos por bobinas de aço, representadas pela Figura 3.

Figura 3 - Bobinas Laminadas a Frio



Fonte: ArcelorMittal Vega (2017).

Os principais processos de beneficiamento da empresa são:

- Decapagem: Processo responsável pela remoção da camada de óxido da superfície das bobinas laminadas a quente recebidas pela empresa;
- Laminação a Frio: Processo que reduz a espessura das chapas de aço decapadas através de deformação mecânica controlada, conforme especificação dos clientes;
- Recozimento em Caixa: Processo de tratamento térmico utilizado para restituir as propriedades mecânicas do aço após sua laminação á frio. Etapa que é aplicada apenas nas bobinas laminadas a frio (que não serão revestidas);
- Encruamento: Processo de acabamento superficial e propriedades mecânicas através de baixos valores de redução;
- Galvanização: Processo de revestimento da superfície das bobinas com uma camada de zinco para o aumento da resistência à corrosão do aço;

- Linha de Inspeção: Processo de inspeção final da qualidade do produto, antes do envio do produto acabado para os clientes.

Todos os processos citados acima contam com alto nível de tecnologia e automação, tornando da ArcelorMittal Vega referência no beneficiamento de aço no grupo ArcelorMittal.

2.2 PROCESSOS ESCOLHIDOS PARA A APLICAÇÃO DO ESTUDO

As linhas escolhidas para a aplicação do estudo foram o Laminador de bobinas a frio e Laminador de Encruamento de bobinas laminadas a frio (sem revestimento). A escolha destes ativos se deu pelo seu grau de importância na cadeia produtiva da Empresa estudada, trata-se de uma linha de preparação de todas as bobinas recebidas pela empresa e uma linha de acabamento final que é responsável por cerca de 30% da produção total anual da empresa.

Uma motivação adicional para escolha do Laminador de Bobinas a frio foi para complementação do estudo de LCC (Custos de Ciclo de Vida), que foi tema da monografia realizada pelo Sr Carlos Alberto Cristofari para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade pela UTFPR.

2.3 CARACTERÍSTICAS DO LAMINADOR DE BOBINAS A FRIO

A principal função do Laminador de bobinas a frio é a redução da espessura da chapa para valores especificados pelos clientes por meio de deformação mecânica controlada.

O Laminador de bobinas a frio é o segundo processo produtivo das bobinas que serão processadas nas linhas de acabamento da empresa. Primeiramente as bobinas são processadas na linha de decapagem que tem a função de remover os óxidos de ferro, que se formam durante o processo de laminação a quente. O laminador de bobinas está acoplado à linha de decapagem, o que permite um trabalho de forma contínua.

O laminador tem quatro cadeiras (gaiolas) nas quais a chapa é submetida a esforços controlados de compressão e tração, reduzindo sua espessura para a determinada na especificação de seus clientes.

Neste processo é usada uma emulsão de óleo e água, que tem as funções de resfriamento e lubrificação no contato entre a chapa e o cilindro. Posterior a este processo, as bobinas já denominadas de *full-hard*, podem seguir para suas rotas, dependendo do produto final: chapas revestidas ou chapas laminadas a frio.

Após a laminação a frio as bobinas são destinadas as linhas posteriores, que podem ser galvanizadas a quente ou processadas no recozimento em caixa e destinadas ao Laminador de Encruamento.

Figura 4 - Processo Produtivo de Bobinas Laminadas a Frio



Fonte: ArcelorMittal Vega (2017).

A Figura 4 mostra um diagrama simplificado do um fluxo produtivo de bobinas laminadas a frio (sem revestimento), desde a passagem pela laminação a frio, recozimento em caixa e laminador de encruamento, ilustrando o fluxo produtivo das bobinas laminadas a frio sem revestimento, preparando os produtos para venda.

2.4 CARACTERÍSTICAS DO LAMINADOR DE ENCRUAMENTO

O Laminador de Encruamento tem capacidade produtiva anual aproximada de cerca de 540 mil toneladas ano de bobinas laminadas a frio, com ou sem revestimento superficial.

As bobinas laminadas a frio são nas espessuras de 0,4 a 2 mm, com diversas larguras e especificações, que atendem às necessidades de aplicação dos setores industriais, dos segmentos de distribuição, construção civil e automobilístico.

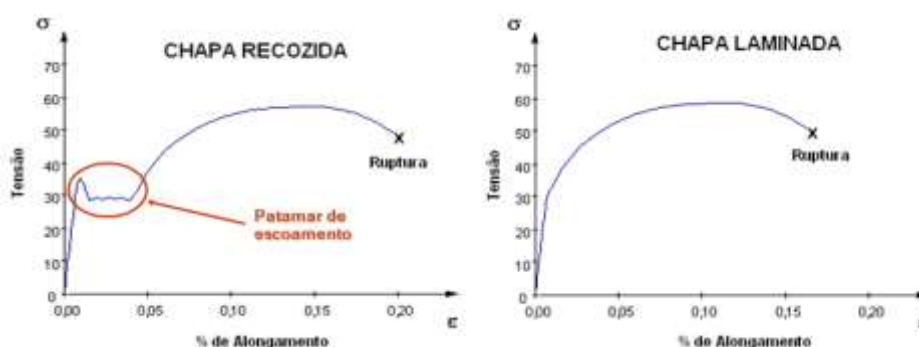
Dentre as aplicações finais deste produto podem-se destacar: fabricação de fogões, aquecedores, refrigeradores, lavadoras de roupas, banheiras, trocadores de calor, tambores, telhas, tubos, peças automobilísticas expostas ou não, entre outras.

O laminador realiza o acabamento superficial com uma fina alteração nas propriedades mecânicas das chapas laminadas a frio, aplicando baixos valores de

redução, fazendo com que a bobina tenha as características especificadas pelo cliente (rugosidade, alongamento, planicidade e resistência, etc.).

Em termos de propriedades mecânicas, o objetivo principal é a eliminação do patamar de escoamento do aço, dando-lhe uma melhor conformidade. A Figura 5 ilustra a aplicação de alongamento em uma chapa recozida comparado a uma chapa recozida e laminada, onde pode observar que o patamar de escoamento foi eliminado.

Figura 5 - Eliminação do Patamar de Escoamento

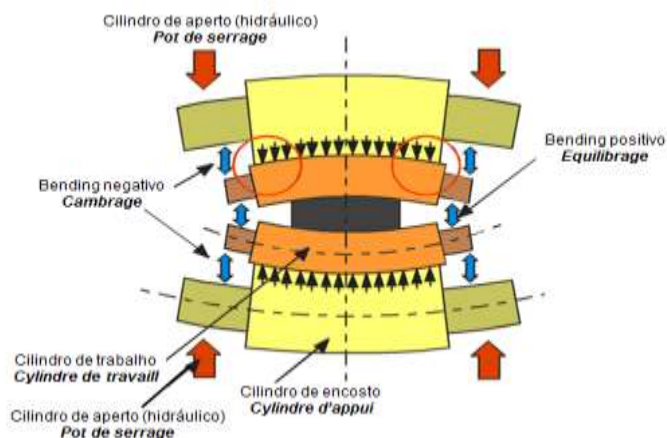


Fonte: ArcelorMittal Vega (2017).

Apesar de ser uma linha considerada compacta pelo seu tamanho comparado a outras linhas produtivas, conta com alto nível de automação e variados tipos de equipamentos e instrumentos de medição, devido a grande complexidade do seu processo.

O laminador é do tipo Quádruo, ou seja, possui dois rolos chamados de cilindros de trabalho, apoiados por dois cilindros de encosto, conforme Figura 6.

Figura 6 - Laminador Tipo Quádruo



Fonte: ArcelorMittal Vega (2017).

Este tipo de montagem facilita a transmissão da força de laminação, melhorando o controle de planicidade, evitando eventuais deformações que provocariam variações dimensionais na chapa, o que é altamente indesejável.

2.5 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO LAMINADOR

O processo de laminação consiste na passagem da chapa entre dois rolos, onde o material é submetido a tensões compressivas elevadas, resultantes da compressão dos rolos, chamada de força de laminação e a trações transmitidas pelos blocos de rolos tensores localizados na entrada e saída da cadeira de laminação. O objetivo é a conformação mecânica da chapa para aplicação da rugosidade, alongamento e planicidade especificados.

Para o controle de todos os parâmetros de processo são necessários vários equipamentos, sistemas de medições especiais e alto nível de automação.

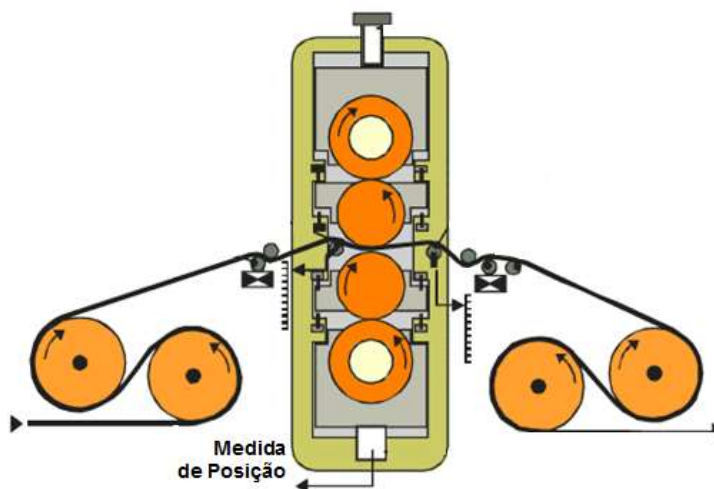
2.6 DEFINIÇÃO DAS PEÇAS DE REPOSIÇÃO PARA ESTUDO

Para a aplicação do estudo proposto foram escolhidas duas peças de reposição que terão seus estoques dimensionados. No entanto para que seja possível a aplicação do método, foram adotadas duas premissas básicas, a primeira é que a peça tenha mais de um consumo por ano e o segundo é fundamental que se consiga extrair os dados de vida, ou seja, tempo até a falha destes itens. Também serão modeladas as distribuições do tempo de reparo e tempo de reposição de cada peça.

2.6.1 Transdutor de Posição do Laminador de Encruamento

Responsável pela medição da posição da haste dos cilindros hidráulicos de alta pressão da cadeira de laminação, conforme ilustrado na Figura 7, o transdutor de posição foi a primeira peça escolhida para aplicação do estudo, pois dispõe das informações necessárias, atendendo os pré-requisitos estabelecidos.

Figura 7 - Transdutor de Posição dos Cilindros Hidráulicos



Fonte: ArcelorMittal Vega (2017).

A Figura 8 apresenta o modelo de transdutor utilizado do fabricante BALLUFF.

Figura 8 - Modelo do Transdutor de Posição



Fonte: ArcelorMittal Vega (2017).

Na cadeira de laminação são aplicadas duas peças deste modelo de transdutor, uma para cada cilindro e servem para garantia do alinhamento entre os dois cilindros e do nivelamento dos rolos de trabalho. A falha de uma das duas peças instaladas ocasiona uma parada no sistema, não havendo redundâncias.

O parâmetro atual de estoque do transdutor é duas peças, com reposição a cada unidade consumida.

2.6.2 Cruzetas do Eixo Cardan do Laminador de Bobinas a Frio

Estas peças são aplicadas no eixo cardan dos motores principais das cadeiras de laminação, as cruzetas são responsáveis por permitir que o cardan

transmita a força da caixa de redutoras para os rolos de laminação, pois a caixa de redução está em nível abaixo dos rolos. A Figura 9 mostra uma vista explodida de uma parte do cardan, onde é possível ver a cruzeta utilizada para dar articulação ao conjunto.

Figura 9 - Cruzeta do Eixo Cardan



Fonte: ArcelorMittal Vega (2017).

A cruzeta foi a segunda peça escolhida para aplicação do estudo, pois foi utilizada no estudo do LCC do laminador e dispõe das informações necessárias, atendendo os pré-requisitos estabelecidos.

Nas cadeiras de laminação são aplicadas duas peças deste modelo de cruzeta, uma para cada cardan (inferior e superior). A falha de uma das duas peças instaladas ocasiona uma parada em todo o sistema. Atualmente existem duas peças em estoque e a reposição não é automatizada, sendo feita compras apenas por demanda.

2.7 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados à área de aplicação do estudo, bem como o ativo escolhido, suas capacidades produtivas, princípio de funcionamento e algumas informações do estoque de peças de reposição da área escolhida.

É de grande relevância a escolha de uma área de aplicação para o estudo, onde possam ser validadas as metodologias propostas como tema do trabalho.

Os ativos escolhidos tem um importante papel na cadeia produtiva da empresa, sendo responsáveis pela produção de toda a matéria prima recebida e 30% da produção final.

No próximo capítulo serão apresentados alguns conceitos importantes de gerenciamento de estoques de peças de reposição, da Engenharia de Confiabilidade e do método de simulação de Monte Carlo.

Todos os conceitos que serão apresentados servirão para a melhor compreensão e embasamento deste estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONCEITO E CARACTERIZAÇÃO DOS ESTOQUES MRO

O gerenciamento do estoque de peças de reposição MRO deve ser tratado de forma diferente dos outros estoques de uma empresa, conforme Wanke (2008) suas principais características são os elevados custos de aquisição, longos tempos de resposta no ressuprimento e baixíssimos giros. Estes estoques não seguem os modelos de distribuição normais, características dos estoques de matérias primas e outros tipos de matérias com consumo regular. Tais características trazem desafios ao sistema de gestão que são quanto pedir, quando pedir e quanto manter em estoque. Segundo Melo (2011) o planejamento das reservas é essencial para garantir uma manutenção eficiente, pois o número de peças armazenadas interfere diretamente na disponibilidade de um ativo, fato que faz aumentar o tempo de interrupção e os custos finais de operação.

Quanto ao consumo Wanke (2008) afirma que as peças podem ser classificadas em dois tipos: baixíssimo giro, que são aquelas que têm o consumo médio histórico de até uma unidade ano e as peças de baixo giro que variam entre 1 a 300 unidades consumidas ao ano. Para a primeira classe a decisão de manter uma peça ou nenhuma em estoque pode ser tomada através de uma análise econômica, comparando os custos de armazenamento com os custos da indisponibilidade da peça. Já para as peças de baixo giro, que são o foco deste trabalho necessitam de modelos mais elaboradas para a definição de seus estoques.

Quanto aos custos associados aos estoques, segundo Ballou (2009) podem ser divididos em três classes gerais, que são importantes para definição da política de estoques da empresa. A primeira classe são os custos de aquisição das peças, como exemplo o custo da geração dos pedidos, preço ou custo de fabricação e os custos logísticos de transporte. A segunda classe são os custos de manutenção dos inventários que são os resultantes do armazenamento, ou propriedade, das peças por um determinado período, como o custo do espaço físico, aluguel, manutenção predial, energia elétrica e mão de obra. Ainda existem os riscos de deterioração, roubos e obsolescência e os custos de capital empregado que podem representar

cerca de 80% dos custos totais do estoque e são os mais intangíveis e subjetivos de todos os custos de manutenção. A terceira classe são os custos de rupturas de estoque, que acontecem quando uma solicitação não é atendida pela falta da peça em estoque, o que acarreta no atraso do retorno de funcionamento do ativo, gerando perdas de produção. Podem ser relacionados ao atraso de pedidos ou parâmetros de gestão de estoque incorretos.

3.2 PRINCIPAIS CONCEITOS DE CONFIABILIDADE

Com a globalização da economia se observa uma demanda crescente por produtos e sistemas com alto desempenho a custos competitivos. Consequentemente surgiu a necessidade de redução da probabilidade de falhas nestes sistemas, neste contexto surgiu uma crescente ênfase em sua confiabilidade, segundo afirmam Fogliatto e Ribeiro (2011).

A confiabilidade pode ser definida, conforme a norma NBR 5462/1994, como a capacidade de um item desempenhar uma função requerida em condições especificadas, durante um intervalo de tempo. Para Fogliatto e Ribeiro (2011) a definição mais usual de confiabilidade de uma unidade, que pode ser um componente ou sistema, é dada pela probabilidade de sobrevivência até um tempo t de interesse. Esta probabilidade pode ser determinada pela modelagem dos tempos até a falha dos componentes de interesse.

A falha segundo a NBR 5462/1994 é definida como término da capacidade de um item desempenhar a função requerida, ou seja, a função para qual o item foi especificado. Uma lâmpada queimada, por exemplo, apresenta falha, pois perdeu a capacidade de transformar energia elétrica em energia luminosa, que é sua função principal.

Segundo Melo (2011) um sistema ou componente reparável é aquele que após a ocorrência de uma falha pode ser restaurado, retornando a suas condições iniciais de trabalho. Já os componentes não reparáveis, após a ocorrência da falha, não retornam a suas condições iniciais de trabalho, pois sua restauração não é possível ou não é viável por questões financeiras ou de prazo, sendo mais viável a substituição por um novo item.

3.3 PRINCIPAIS MÉTRICAS DE CONFIABILIDADE

Para que seja possível determinar as características de vida de um sistema, subsistema ou componente, algumas medidas de confiabilidade devem ser definidas com base nos dados históricos do item estudado. Estas medidas serão utilizadas na etapa de simulação para definição do estoque ideal das peças de reposição,

3.3.1 Tempo até a Falha

O tempo até a falha de um componente, conforme Rausand e Hoyland (2004) é medido desde o início da sua operação, até sua primeira falha. Como as falhas estão sujeitas as variações ocasionais, é natural interpretar o tempo até a falha como uma variável aleatória T .

A probabilidade de falha do intervalo $[0, t]$ é a função de distribuição acumulada de falha $F(t)$, definida a partir da função densidade de probabilidade de falha (f), desta forma tem-se a equação (1):

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(t)dt \quad (1)$$

3.3.2 Função da Confiabilidade

A função da confiabilidade $R(t)$ é definida, segundo Rausand e Hoyland (2004), como $R(t) = P(T > t)$, onde T é o tempo de vida do item.

Em termos da função de distribuição acumula de falhas $F(t)$ de T , a confiabilidade pode ser expressa pela equação (2):

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

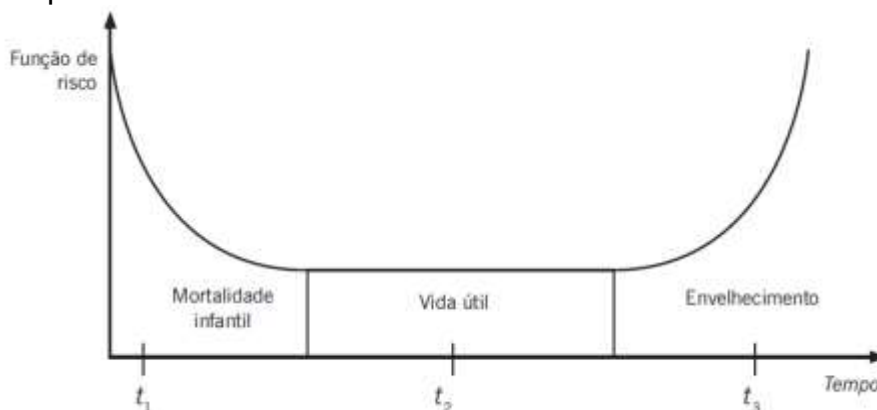
ou equivalente (3):

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (3)$$

3.3.3 Taxa de Falhas

Conforme Fogliatto e Ribeiro (2011) a taxa de falha λ , também conhecida como função de risco $h(t)$, é uma das medidas de confiabilidade mais difundidas, pode ser interpretada como a quantidade de risco associada a uma unidade de tempo t . Sua unidade de medida normalmente é dada em falhas por unidade de tempo. Existem três classificações ou fases para a taxa de falhas, representada pela curva da banheira apresentada na Figura 10: (i) taxa de falha decrescente que é caracterizada por falhas prematuras ou mortalidade infantil, onde a função de risco decresce com o tempo; (ii) taxa de falhas constante, onde as falhas são consideradas aleatórias ao longo da vida útil do item; e (iii) taxa de falhas crescente no tempo, onde as falhas ocorrem por desgaste, que é característico do fim da vida útil dos equipamentos.

Figura 10 - Exemplo de Curva da Banheira



Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2011).

Para calcular a taxa de falhas no tempo, segundo Rausand e Hoyland (2004), pode-se usar a equação (4):

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (4)$$

3.3.4 Tempo Médio até a Falha *MTTF*

O tempo médio até a falha um sistema ou componente, designado por *MTTF* (do inglês *mean time to failure*), pode ser obtido conforme Rausand e Hoyland (2004) pela equação (5):

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (5)$$

3.3.5 Tempo Médio entre Falhas *MTBF*

O tempo médio entre falhas um sistema ou componente, designado por *MTBF* (do inglês *mean time between failure*), pode ser obtido conforme pela equação (6):

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (6)$$

3.3.6 Manutenibilidade

A manutenibilidade pode ser definida como a probabilidade de um sistema que falhou, seja restaurado com sucesso em um dado tempo, sob condições de manutenção pré-determinadas (Melo, 2011). Esta probabilidade está relacionada ao tempo de reparo *TTR*, ou seja, o tempo necessário para retornar o sistema as suas condições iniciais, de onde é obtido o *MTTR* que é o tempo médio até o reparo, usado como medida da manutenibilidade. Os tempos de reparo podem incluir: (i) tempo necessário para identificação da falha; (ii) tempo para reparo ou substituição do componente/subsistema danificado; (iii) atraso logístico referente a equipe de manutenção ou indisponibilidade de peças de reposição; e (iv) outros (Reliasoft, 2015).

Por ser considerado um processo estocástico, a manutenibilidade pode ser modelada por uma distribuição de probabilidade, utilizando os mesmos conceitos aplicados na confiabilidade. Para obtenção da disponibilidade de um sistema reparável é necessário e importante que seja levado em conta a manutenibilidade (Melo, 2011).

3.3.7 Disponibilidade Média

É a probabilidade de um sistema estar disponível em dado instante de tempo futuro, designado pela letra $A(t)$. Segundo Rausand e Hoyland (2004) a disponibilidade média é a proporção de tempo de uma missão, no intervalo entre (t_1 e t_2) em que o sistema está disponível para uso, conforme equação (7).

$$A_{med}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} A(t) dt \quad (7)$$

3.4 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

A análise de dados de vida de um sistema ou componente é o estudo e a modelagem estatística do item em questão. Tais dados podem ser tanto a vida útil de um componente no mercado, como o tempo em que o produto funcionou sem falhas ou o tempo de funcionamento até a falha. Para realizar a análise de dados de vida alguns passos são necessários, conforme observado pela Reliasoft (2017):

- Primeiramente devem ser reunidos os dados de vida, ou seja, os tempos até a falha, do componente em campo;
- Logo após deve ser selecionada a distribuição de probabilidade que corresponda aos dados, para que seja modelada a vida útil do item;
- Então devem ser estimados os parâmetros para ajustar a distribuição aos dados;
- Por fim deverão ser gerados os resultados e os gráficos que irão estimar a vida média do componente, a confiabilidade, a densidade de probabilidade de falha (*pdf*), etc.

3.4.1 Dados Completos e Dados Censurados

Os dados de vida podem ser classificados em dois tipos: dados completos são os casos em que todos os o tempos até a falha de cada unidade de amostra são conhecidos, representados na Figura 3.2, e dados censurados quando não se conhece todos os tempos até a falha de todas as amostras estudadas, seja porque

nem todas as unidades falharam, ou quando o momento da falha não foi identificado, representados na Figura 11, Fogliatto e Ribeiro (2011).

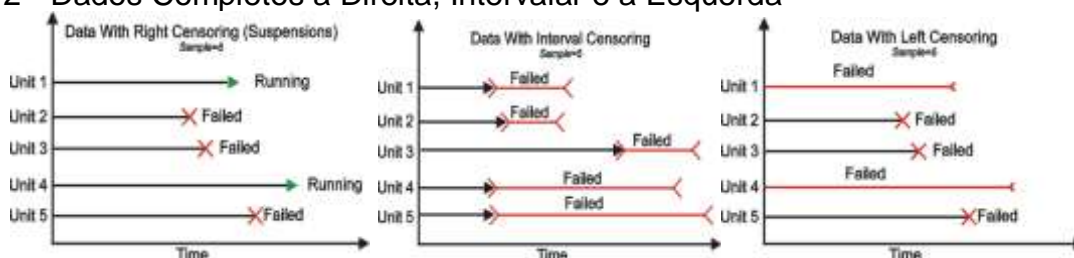
Figura 11 - Dados Completos e Dados Censurados



Fonte: Reliasoft (2017).

Os dados censurados podem ser de três tipos: (i) censura ou suspensão a direita, (ii) censura ou suspensão intervalar, e (iii) censura ou suspensão a esquerda, ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Dados Completos a Direita, Intervalar e a Esquerda



Fonte: Reliasoft (2017).

A censura ou suspensão a direita é quando até o momento da análise alguns itens ainda não falharam. A censura ou suspensão intervalar é quando a falha ocorreu em um momento desconhecido antes da análise e a censura ou suspensão a esquerda é quando a falha ocorreu em um intervalo de tempo entre uma análise e outra.

3.4.2 Método da Regressão e da Máxima Verossimilhança

Dependendo dos tipos de dados disponíveis, que podem ser completos ou censurados e da quantidade da amostra de tempos até a falha, para um bom resultado após a escolha da distribuição é importante, segundo a Reliasoft (2017) a escolha do melhor método de configuração da análise.

Quando os dados completos estão disponíveis, o método da regressão (RRX ou RRY) pode ser o que melhor se adapta e o mais recomendado. Por outro lado quando os dados são censurados, o método da Máxima Verossimilhança (MLE) poderá ter um melhor resultado.

A escolha do melhor método, segundo Matos e Zotti (2010), para estimação de parâmetros vai depender de cada caso estudado e não há como predizer qual dos dois será o mais eficiente.

3.4.3 Principais Distribuições de Probabilidade

As distribuições de probabilidade são utilizadas, conforme segundo Fogliatto e Ribeiro (2011), para modelar o tempo até a falha de um item. Ainda segundo os autores, conhecendo a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta a estes tempos, é possível estimar a probabilidade de sobrevivência do componente para qualquer tempo t , bem como pode ser calculado outras medidas de confiabilidade, como tempo médio até a falha (MTTF) para itens não reparáveis, tempo médio entre falhas (MTBF) para itens reparáveis, etc.

A função densidade de probabilidade de falhas $f(t)$, conhecida como pdf, é a melhor função para visualizar as falhas. As principais distribuições de probabilidade usadas nos estudos de confiabilidade são a exponencial, Weibull, gama, lognormal entre outras, pois são bem versáteis e tem grande aplicabilidade em testes de confiabilidade segundo Martins et al., (2010).

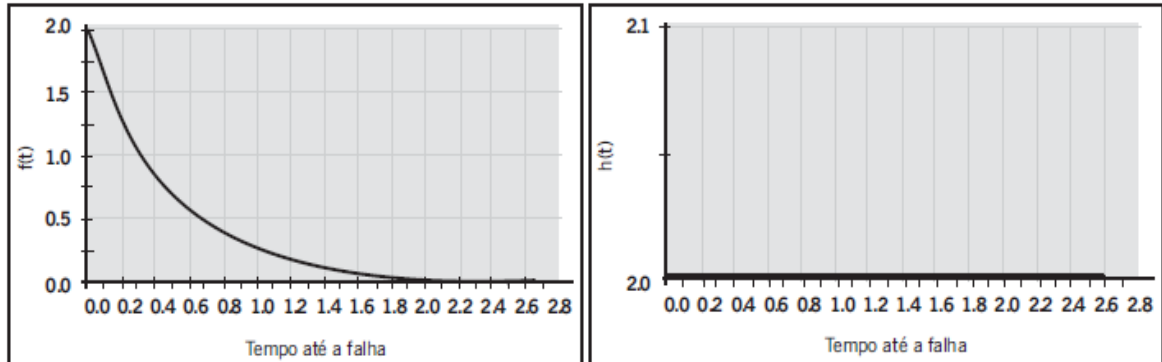
3.4.4 Distribuição Exponencial

A distribuição exponencial é uma das mais amplamente utilizadas nos estudos de confiabilidade dos sistemas para modelar processos de Poisson, mesmo quando seu uso não é o mais adequado, principalmente pela facilidade de obtenção e coleta dos dados necessários para sua implementação, que para outros casos muitas vezes não estão disponíveis.

Ghodrati (2005) descreve que uma das características desta distribuição é a suposição que os tempos entre falhas são distribuídos exponencialmente, ou seja, a

taxa de falha (λ) é constante e independente do tempo, conforme pode ser observado na Figura 13, onde a taxa de falhas é representado pela letra $h(t)$.

Figura 13 - Representação da *pdf* e Taxa de Falhas na Distribuição Exponencial



Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2011).

O autor destaca que os componentes eletrônicos, que tem alta confiabilidade, seguem este modelo. No entanto existem varias outras peças mecânicas que sofrem com mecanismos de envelhecimento ou desgaste, como corrosão, oxidação sendo processos dependentes do tempo.

As principais equações desta distribuição, apresentadas por Fogliatto e Ribeiro (2011) são a função da *pdf* (8), Confiabilidade (9) e do MTBF (10):

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (8)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (9)$$

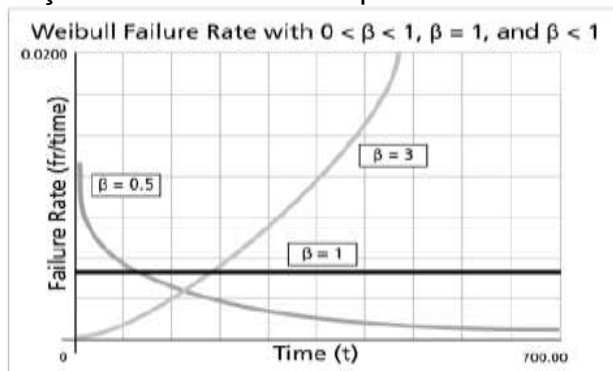
$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (10)$$

3.4.5 Distribuição de Weibull

É considerado por muitos autores como o modelo mais versátil para caracterizar a vida das peças de máquinas (principalmente sistemas mecânicos). Segundo Fogliatto e Ribeiro (2011) a distribuição de Weibull pode ser aplicada para taxa de falhas constante ($\beta=1$), crescente ($\beta>1$) e decrescente ($\beta<1$), como mostra a Figura 14, sendo uma das distribuições mais importante devido sua flexibilidade. Já Ghodrati (2005) considera como sendo o modelo mais adequado e preciso para

dimensionar com precisão o número total de peças sobressalentes necessárias para um sistema.

Figura 14 - Representação da Taxa de Falha para Diferentes Valores de β



Fonte: Reliasoft (2017).

As principais equações desta distribuição, apresentadas pela Reliasoft (2017) são a função da *pdf* (11), Confiabilidade (12) e da taxa de falhas (13).:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta} \right)^\beta} \quad (11)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta} \right)^\beta} \quad (12)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (13)$$

A distribuição de Weibull pode ser representada com até três parâmetros, aqui designados como: η sendo o parâmetro de escala ou vida característica, período para que ocorram cerca de 63% das falhas; β é o parâmetro de forma; e γ é o parâmetro de localização.

3.5 MÉTODO DE SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

O método de simulação de Monte Carlo é um modelo estatístico de geração de números aleatórios através de simulações estocásticas, para a distribuição de probabilidade definida conforme Melo (2011). O autor ainda destaca que este método “[...] é baseado em simulações aleatórias, sendo de fácil compreensão, boa

precisão, fácil implementação computacional e amplamente utilizado por diversas áreas de conhecimento.”. Martins et al., (2010) ressalta que o modelo não fornece como resultado uma recomendação explícita de tomada de decisão, mas sim um detalhamento para possíveis resultados através da distribuição de frequências.

Os métodos tradicionais para definição dos níveis de estoque de peças de reposição de baixo giro, conforme Ghodrati (2005) são mais usados atualmente pela facilidade de aplicação, mas as características e comportamentos de vida de cada componente não são respeitadas, uma vez que consideram as taxas de falhas dos itens constantes e as demandas uniformes. O autor ainda afirma que o método de Poisson é comumente aplicado pelo fato de serem necessárias poucas informações, bastando apenas se obter o MTBF gerado pelas falhas da peça estudada, o número de falhas no período e a quantidade de itens aplicados em cada equipamento na área, para o cálculo da probabilidade de se ter peças disponíveis no estoque em um determinado período. Uma limitação para o uso deste modelo é que ele só é aplicável a itens cuja taxa de falhas são constantes, pois a distribuição exponencial é a base do cálculo, mas acaba sendo aplicado também a itens que não seguem este comportamento de falhas. Na realidade estes conceitos só se aplicam aos materiais elétricos ou eletrônicos, que apresentam falhas aleatórias, já para os itens mecânicos, em muitos casos este método não é aplicável, pois os mesmos sofrem desgaste com o tempo e com o tipo de aplicação, aumentando a taxa de falhas e podendo gerar indisponibilidades por falta de estoque.

O método de Monte Carlo pode ser aplicado a qualquer distribuição de probabilidade, adaptando-se a todos os comportamentos de vida e taxa de falha dos itens que se deseja investigar, o que o torna uma excelente ferramenta para a simulação e determinação das métricas de confiabilidade no tempo e justifica sua escolha para aplicação neste trabalho.

Segundo Souza (2014) o número ótimo de peças de reposição pode ser determinado pelo método de simulação de Monte Carlo, onde o desempenho desejado de cada sistema é avaliado com base em um elevado número anos de operações simuladas cronologicamente.

O método aplicado neste trabalho é com base nos tempos de utilização das peças de reposição em campo até sua falha, considerando um estoque de reposição abastecido conforme demanda e configuração dos parâmetros de ressuprimento automático (ponto de reposição e estoque máximo). O modelo proposto para

alcançar o ótimo dimensionamento do estoque dos itens analisados, levará em consideração os custos anuais com a substituição das peças que falharam, os custos de armazenamento e os custos da indisponibilidade da linha produtiva pela ruptura do estoque, buscando a minimização do custo final esperado. Será utilizado o software BlockSim da empresa Reliasof para realização da simulação de Monte Carlo.

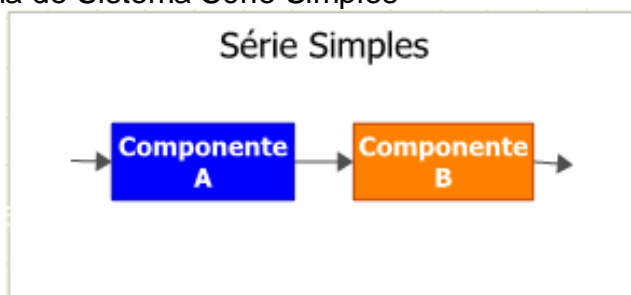
3.5.1 Modelamento do Sistema pelo Diagrama de Blocos RBD

O modelamento dos blocos permite o cálculo da função de confiabilidade que representa todo o sistema, e com isto encontrar todas as informações para análise da confiabilidade. A etapa de simulação retornará os dados da disponibilidade no tempo, MTBF, MTTF, quantidade de falhas esperadas, custos do sistema entre outras informações necessárias para o dimensionamento ideal das peças do estoque, Reliasoft (2017).

O diagrama representa a forma como os componentes (blocos) são organizados e se relacionam no sistema no ambiente real em termos de confiabilidade. Cada bloco representa o estado de funcionamento de uma unidade instalada e será modelado com as distribuições de tempo até a falha, tempo de reparo e tempo de reposição do estoque, encontrados na etapa de análise de dados de vida, Reliasoft (2017).

O arranjo dos blocos podem ser em série, paralelo ou uma combinação entre ambas representando um sistema mais complexo. Em um sistema com uma configuração série simples, conforme Figura 15, significa que todas as unidades devem funcionar para que o sistema funcione, ou seja, na falha de uma unidade o sistema também falha.

Figura 15 - Diagrama de Sistema Série Simples



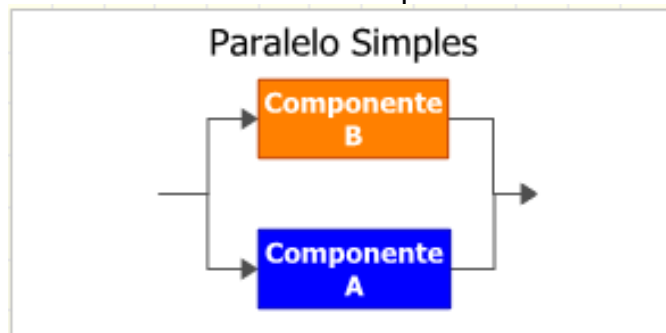
Fonte: O Autor (2017).

A Figura 16, apresenta uma configuração de blocos do tipo paralelo simples que representa um sistema.

$$R(s) = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots R_n \quad (14)$$

Para encontrar a confiabilidade equivalente em um sistema série simples deve ser aplicada a equação (14).

Figura 16 - Diagrama de Sistema Paralelo Simples



Fonte: O Autor (2017).

Neste caso ao menos um item deve estar funcionando para que o sistema funcione, o que significa que a falha de um item não ocasiona parada do sistema, pois possui uma redundância.

$$R(s) = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots (1 - R_n)] \quad (15)$$

Para encontrar a confiabilidade equivalente em um sistema paralelo simples deve ser aplicada a equação (15).

3.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os principais conceitos de gerenciamento de estoques de peças de reposição, as principais funções e métricas da Engenharia de Confiabilidade e do modelo de simulação de Monte Carlo.

Com bases nas informações apresentadas será possível o desenvolvimento e a aplicação da metodologia proposta, tais conceitos norteiam este estudo e são fundamentais para o tema escolhido.

Atualmente muitas são as técnicas utilizadas para a gestão de estoques nas empresas, mas a grande maioria leva em consideração apenas o consumo médio

dos componentes. Os estoques MRO não seguem os modelos de consumo padrão e necessitam de uma abordagem diferenciada.

No próximo capítulo será apresentada a aplicação do estudo nas peças de reposição dos ativos escolhidos. Serão mostrados os passos para coleta de dados e os resultados do dimensionamento do estoque obtidos com a simulação no software BlockSim.

Os passos que serão mostrados no próximo capítulo, desde a coleta de dados, até a simulação em software seguirão os princípios e teorias apresentados neste capítulo.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS DAS PEÇAS DE REPOSIÇÃO

Após a definição das peças do estoque que seriam estudadas, o primeiro passo foi o levantamento do histórico de consumos do estoque de 2013 a 2017, então através destes dados e das informações das ordens de manutenção do CMMS, foram encontrados as datas de troca de cada componente e determinado o tempo até a falha das peças. Também foram levantados os tempos de troca e de reposição do estoque (*lead time*). Com estes dados foi possível modelar as distribuições de probabilidade do tempo até a falha, tempo de reparo e de reposição para usá-los posteriormente na simulação de Monte Carlo.

4.1.1 Dados do Transdutor de Posição

Entre os anos de 2013 e 2017 foram registradas 8 trocas por falha dos transdutores de posição, duas unidades estão em uso atualmente e ainda não falharam, sendo considerados dados suspensos. Para encontrar o tempo até a falha foi considerado a diferença entre o tempo de cada troca realizada, apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2 - Tempo de Até a Falha do Transdutor (*TTF*)

Data de Entrada	Data da Troca	TTF (meses)	Falha/Suspensão
02/02/2013	11/05/2013	3,3	F
02/02/2013	04/06/2013	4,1	F
11/05/2013	19/04/2014	11,4	F
04/06/2013	19/04/2014	10,6	F
19/04/2015	17/10/2015	6,0	F
08/03/2016	21/11/2016	8,6	F
04/05/2016	05/04/2017	11,2	F
04/05/2016	05/04/2017	11,2	F
05/04/2017	23/09/2017	5,7	S
05/04/2017	23/09/2017	5,7	S

Fonte: O Autor (2017).

Através da análise das ordens de manutenção de cada troca realizada, foram extraídos os tempos de reparo. O tempo é considerado desde a parada do

equipamento até seu restabelecimento e será utilizado para o modelamento da distribuição de probabilidade. Os dados são apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 - Tempo de Reparo do Transdutor (TTR)

Data da Troca	TTR (Horas)
11/05/2013	3,50
04/06/2013	1,75
19/04/2014	1,75
17/10/2015	1,88
08/03/2016	1,75
04/05/2016	3,99
21/11/2016	4,00
05/04/2017	1,91

Fonte: O Autor (2017).

A Tabela 4 mostra o tempo de reposição de cada peça requisitada, ou seja, o tempo total em meses necessários para reposição de cada peça do estoque, desde a emissão da requisição de compra até o recebimento da peça na empresa.

Tabela 4 - Tempo de Reposição do Transdutor

Data Requisição	Data Recebimento	Lead Time (meses)
04/02/2013	19/03/2013	1,4
04/02/2013	27/05/2013	3,7
27/05/2013	22/07/2013	1,9
11/06/2013	22/07/2013	1,4
18/04/2014	20/07/2014	3,1
28/10/2014	17/01/2015	2,7
11/05/2016	07/07/2016	1,9
14/03/2017	04/04/2017	0,7
14/03/2017	09/05/2017	1,9
14/03/2017	09/05/2017	1,9

Fonte: O Autor (2017).

Estes dados serão utilizados para o modelamento da distribuição do *lead time*.

4.1.2 Dados da Cruzeta do Laminador a Frio

Os dados disponibilizados pelo estudo do LCC dos eixos cardan do Laminador apontam que entre os anos de 2013 e 2017 foram registradas 20 trocas por falha nas cruzetas, distribuídas nas quatro cadeiras de laminação, apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Tempo de Até a Falha da Cruzeta

Data da Troca	TTF (meses)	Falha/Suspensão
24/06/2013	14,3	F
24/06/2013	14,3	F
02/02/2014	23,0	F
12/02/2014	23,3	F
18/02/2014	23,5	F
12/03/2015	33,7	F
20/03/2015	33,5	F
20/03/2015	33,5	F
11/04/2015	34,7	F
01/05/2015	22,5	F
09/06/2015	23,8	F
09/06/2015	23,8	F
10/08/2015	5,0	F
14/05/2016	27,4	F
06/06/2016	28,2	F
06/06/2016	28,0	F
06/03/2017	9,1	F
13/03/2017	9,3	F
22/07/2017	27,8	F
01/09/2017	6,0	F

Fonte: Cristofari (2017).

Foram disponibilizados também os tempos de reparo de cada troca realizada, apresentados na Tabela 6:

Tabela 6 - Tempo de Reparo da Cruzeta (TTR)

Data da Troca	TTR (Horas)
24/06/2013	12,00
24/06/2013	12,00
02/02/2014	8,00
12/02/2014	12,00
18/02/2014	8,00
12/03/2015	8,00
20/03/2015	12,00
20/03/2015	12,00
11/04/2015	8,00
01/05/2015	6,00
09/06/2015	12,00
09/06/2015	10,00
10/08/2015	6,00
14/05/2016	6,00
06/06/2016	10,00
06/06/2016	10,00
06/03/2017	6,00
13/03/2017	6,00
22/07/2017	6,00
01/09/2017	4,00

Fonte: Cristofari (2017).

A Tabela 7 mostra o tempo de reposição de cada peça requisitada ao longo do período da análise.

Tabela 7 - Tempo de Reposição da Cruzeta

Data Requisição	Data Recebimento	Lead Time (meses)
13/02/2014	04/04/2014	1,7
13/02/2014	11/04/2014	1,9
20/02/2014	04/04/2014	1,4
19/03/2014	25/08/2014	5,3
13/08/2015	24/02/2016	6,5

Fonte: O Autor (2017).

Estes dados foram retirados coletados do sistema de gestão de compras da Empresa estuda e serão utilizados para o modelamento da distribuição do *lead time*.

4.2 ANÁLISE DOS DADOS

Após a coleta dos dados o próximo passo foi realizar a análise dos dados para que fosse determinada a distribuição de probabilidade que melhor representa cada característica desejada, como o tempo até a falha, tempo de reparo e de reposição.

Foi utilizado o software Weibull++ que atende todos os critérios para escolha do modelo, sendo possível trabalhar com dados censurados, realizar testes de aderência para encontrar a distribuição adequada. Este software tem interface com o software BlockSim sendo possível utilizar a distribuição encontrada nas simulações para determinação do ponto ótimo de estoque para cada peça.

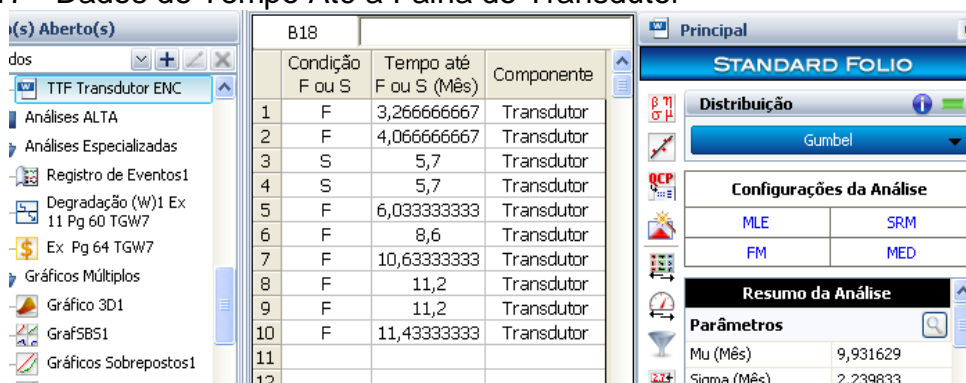
4.2.1 Análise dos Tempos até a Falha do Transdutor de Posição

Com os dados coletados tratados o primeiro passo foi inserir os dados no software para modelar a distribuição que representará os tempos até a falha do transdutor de posição, conforme apresentado na Figura 17. Como existe dados censurados, o método utilizado para a configuração da análise de dados foi o MLE (Máxima Verossimilhança).

Com o uso do assistente de distribuição, foi realizado o teste de aderência para verificar qual das distribuições melhor se adequam aos dados inseridos. O

modelo mais aderente foi o de Gumbell. A distribuição foi implementada e retornou os parâmetros (média $\mu = 9,931629$ m ; parâmetro de escala $\sigma = 2,239833$ m).

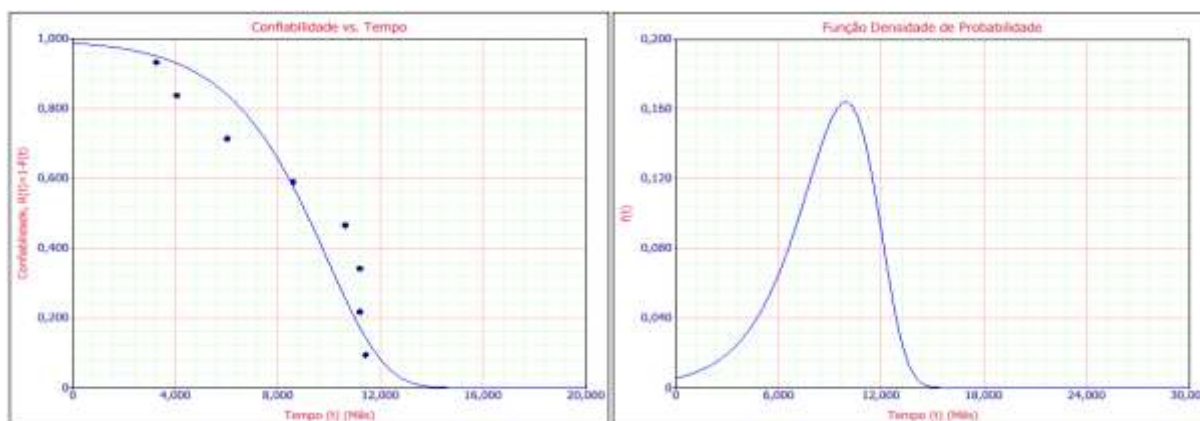
Figura 17 - Dados de Tempo Até a Falha do Transdutor



Fonte: O Autor (2017).

Com a distribuição definida, foram gerados os gráficos da confiabilidade no tempo $R(t)$, e da taxa instantânea de falhas pdf , conforme Figura 18.

Figura 18 - Gráficos das Funções de Falha do Transdutor



Fonte: O Autor (2017).

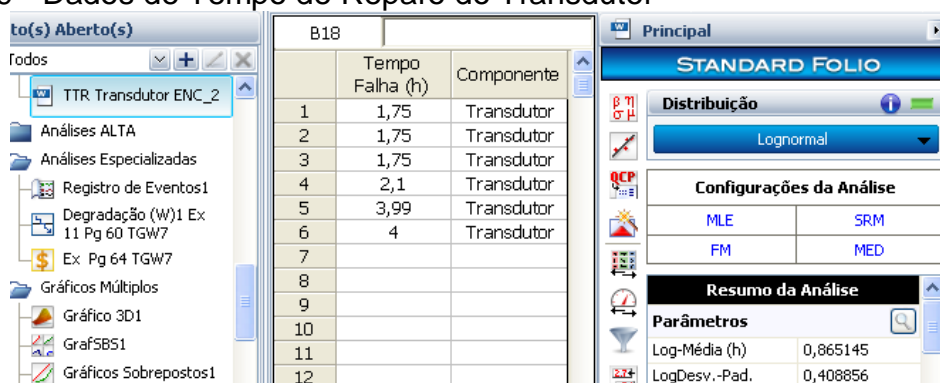
Com estes gráficos é possível observar a aderência do modelo com os dados reais dos tempos até a falha e representam a característica de confiabilidade no tempo para o transdutor de posição

4.2.2 Análise dos Tempos de Reparo do Transdutor de Posição

O mesmo procedimento foi realizado para os tempos encontrados de reparo. Os dados foram inseridos no software para modelar a distribuição de reparo, mostrado na Figura 19: O método utilizado para a configuração da análise de dados

foi o MLE (Máxima Verossimilhança). Foi realizado o teste de aderência e o modelo de distribuição escolhido foi o de Lognormal. A distribuição implementada retornou os parâmetros (média $\mu = 0,865145$ h e desvio padrão $\sigma = 0,408856$).

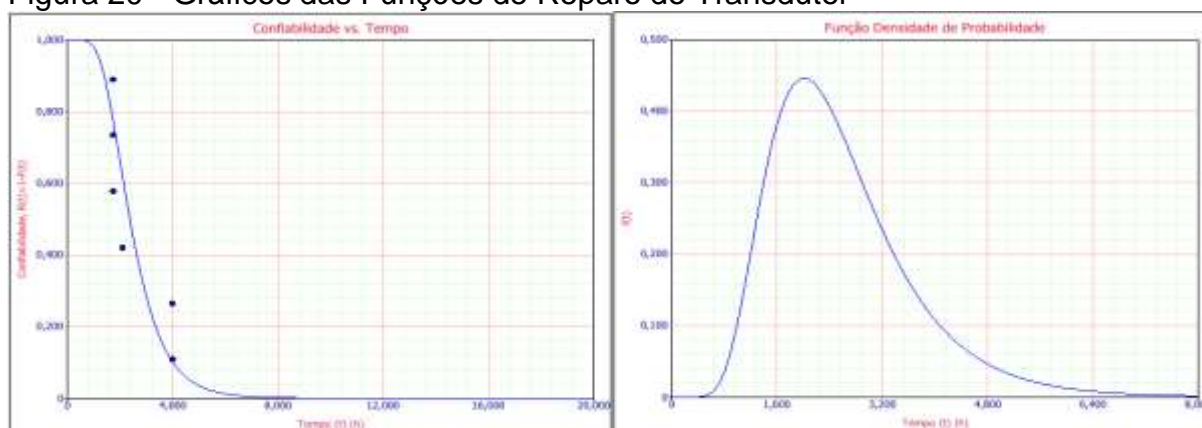
Figura 19 - Dados de Tempo de Reparo do Transdutor



Fonte: O Autor (2017).

Foram gerados os gráficos da confiabilidade no tempo $R(t)$, e da taxa instantânea de falhas pdf . Figura 20.

Figura 20 - Gráficos das Funções de Reparo do Transdutor



Fonte: O Autor (2017).

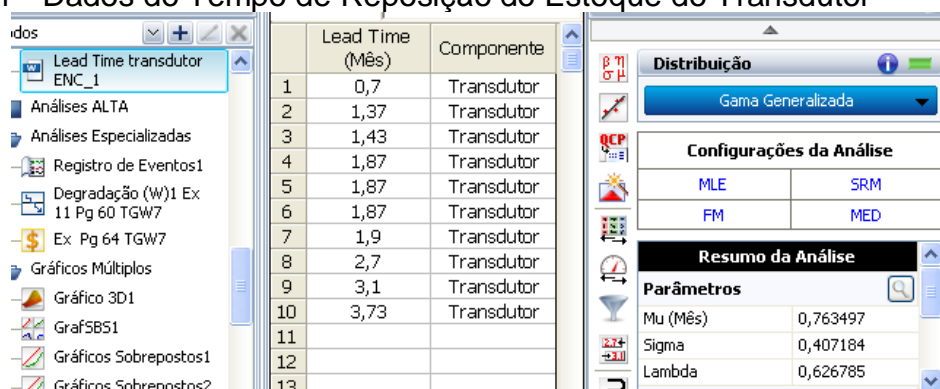
Estes gráficos demonstram a aderência do modelo com os dados reais dos tempos de reparo e representam a distribuição probabilística no tempo para o transdutor de posição.

4.2.3 Análise dos Tempos de Reposição do Estoque do Transdutor

Os tempos de aquisição das peças foram inseridos no software para modelar a distribuição de tempo de reposição: O método utilizado para a

configuração da análise de dados foi o MLE (Máxima Verossimilhança). Foi realizado o teste de aderência, a distribuição definida foi a Gama G. A distribuição e retornou os parâmetros ($\mu = 0,763497$; $\sigma = 0,407184$ e $\lambda = 0,626785$), mostrados na Figura 21

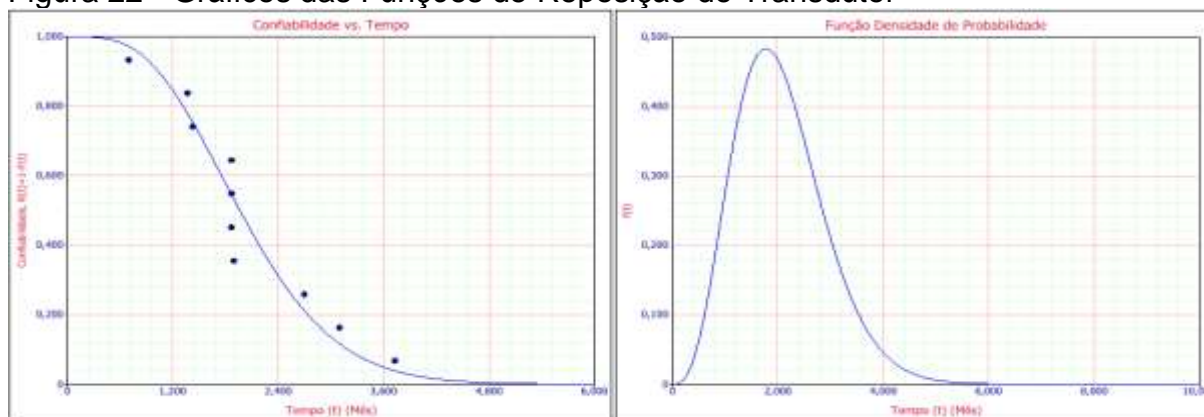
Figura 21 - Dados do Tempo de Reposição do Estoque do Transdutor



Fonte: O Autor (2017).

Foram gerados os gráficos da confiabilidade no tempo $R(t)$, e da taxa instantânea de falhas $pdf.$, conforme Figura 22.

Figura 22 - Gráficos das Funções de Reposição do Transdutor



Fonte: O Autor (2017).

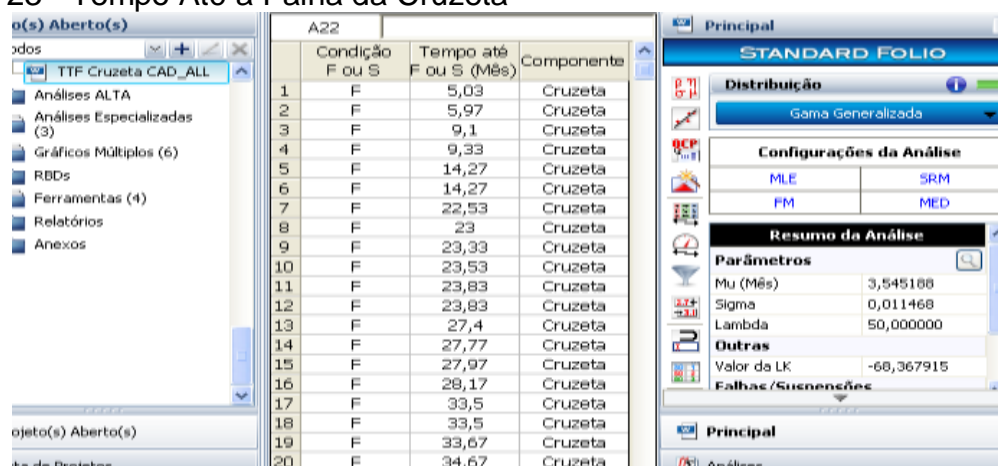
Estes gráficos demonstram a aderência do modelo com os dados reais dos tempos de reposição e representam a distribuição probabilística no tempo para o transdutor de posição.

4.2.4 Análise dos Tempos Até a Falha da Cruzeta do Laminador

Os dados tratados foram inseridos no software para modelar a distribuição que representará os tempos até a falha, conforme mostrado na Figura 23. O método utilizado para a configuração da análise de dados foi o MLE (Máxima Verossimilhança).

Foi realizado o teste de aderência e a distribuições que melhor se adequou aos dados inseridos foi a Gama Generalizada, que depois de implementada retornou os parâmetros ($\mu = 3,545188$; $\sigma = 0,011468$; e $\lambda = 50,0000$).

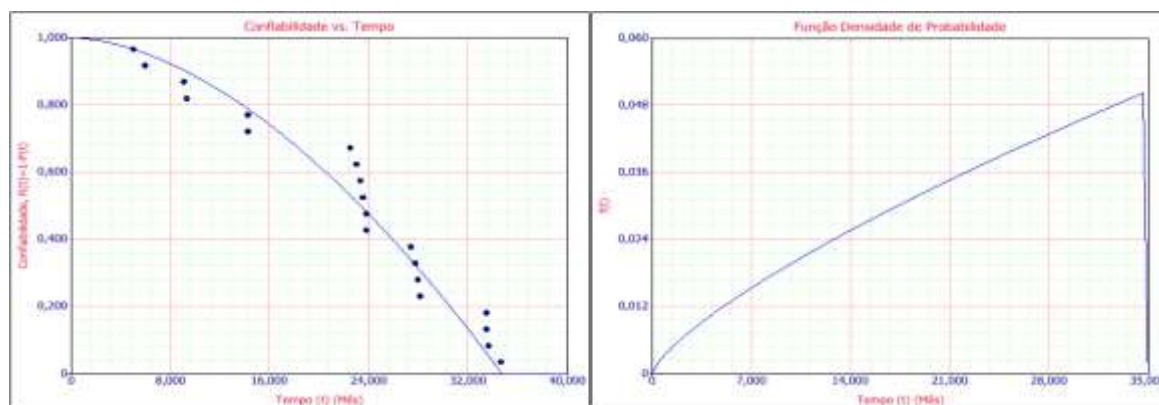
Figura 23 - Tempo Até a Falha da Cruzeta



Fonte: O Autor (2017).

Com a distribuição definida, foram gerados os gráficos da confiabilidade no tempo $R(t)$, e da taxa instantânea de falhas $pdf.$, conforme Figura 24.

Figura 24 - Gráficos das Funções de falha da Cruzeta da Cadeira 2



Fonte: O Autor (2017).

Estes gráficos demonstram a aderência do modelo com os dados reais dos tempos até a falha e representam a distribuição probabilística no tempo para a cruzeta.

4.2.5 Análise dos Tempos de Reparo da Cruzeta

Os dados foram inseridos no software para modelar a distribuição de reparo, mostrado na Figura 25: O método utilizado para a configuração da análise de dados foi o MLE. O modelo de distribuição escolhido foi o de Lognormal e retornou os parâmetros (média $\mu = 1,915029h$ e desvio padrão $\sigma = 0,261504$).

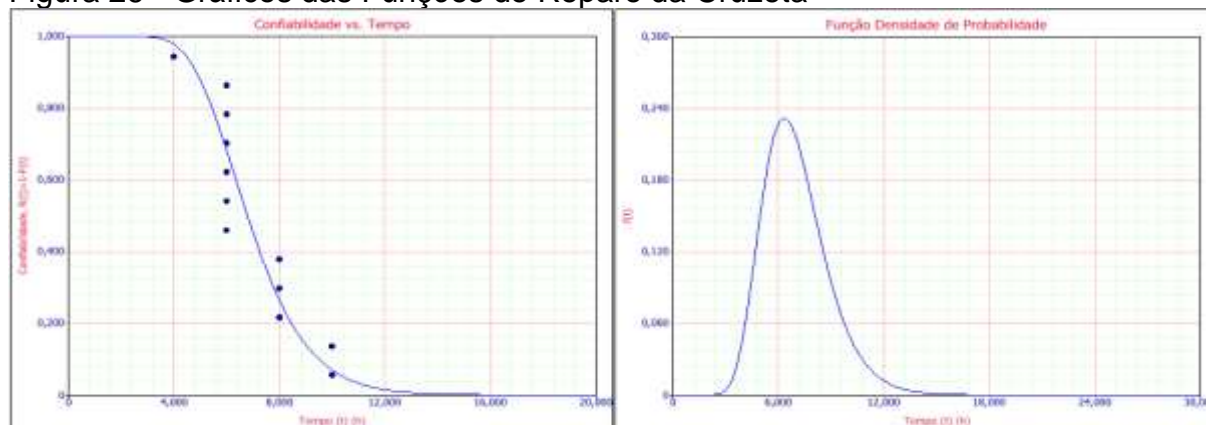
Figura 25 - Dados de Tempo de Reparo da Cruzeta



Fonte: O Autor (2017).

Com a distribuição definida, foram gerados os gráficos da confiabilidade no tempo $R(t)$, e da taxa instantânea de falhas pdf . Figura 26.

Figura 26 - Gráficos das Funções de Reparo da Cruzeta



Fonte: O Autor (2017).

Estes gráficos demonstram a aderência do modelo com os dados reais dos tempos de reparo e representam a distribuição probabilística no tempo para a cruzeta.

4.2.6 Análise dos Tempos de Reposição do Estoque da Cruzeta

Os tempos de aquisição das peças foram inseridos no software para modelar a distribuição do tempo de reposição: O método utilizado para a configuração da análise de dados foi o MLE (Máxima Verossimilhança). A distribuição mais aderente foi a Gama G e retornou os parâmetros ($\beta = 0,673771$; $\eta = 1,562259$ e $\gamma = 1,368$), mostrados na Figura 27.

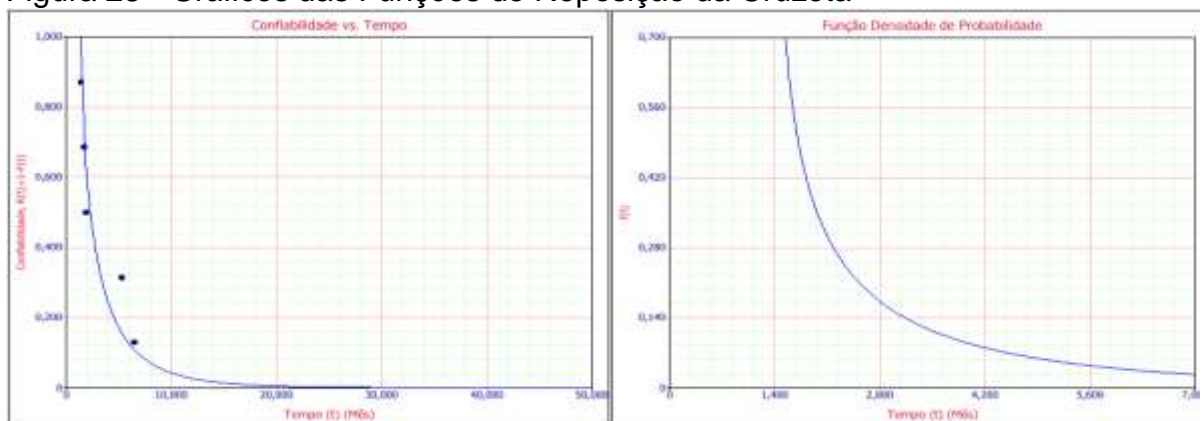
Figura 27 - Dados do Tempo de Reposição do Estoque da Cruzeta



Fonte: O Autor (2017).

Foram gerados os gráficos da confiabilidade no tempo $R(t)$, e da taxa instantânea de falhas $pdf.$, conforme Figura 28.

Figura 28 - Gráficos das Funções de Reposição da Cruzeta



Fonte: O Autor (2017).

Estes gráficos demonstram a aderência do modelo com os dados reais dos tempos de reposição e representam a distribuição probabilística no tempo para a cruzeta.

O passo final da etapa de análise de dados foi a publicação dos modelos encontrados para utilizá-los posteriormente nas simulações com o software BlockSim.

4.3 MODELAMENTO E SIMULAÇÃO DO SISTEMA

Para geração dos dados que servirão para o dimensionamento do estoque das peças de reposição, antes da simulação foi necessário o modelamento do sistema no software BlockSim através da elaboração do diagrama de blocos de confiabilidade, que representa cada unidade utilizada em campo.

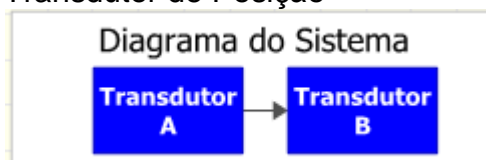
Como o objetivo não é encontrar os dados de confiabilidade de todo o sistema, foram representados apenas os componentes que se deseja dimensionar o estoque. Foi elaborado um diagrama para cada peça de reposição, e as simulações foram feitas separadamente, de modo que os dados encontrados representem apenas o componente escolhido.

4.4 MODELAMENTO E SIMULAÇÃO DO TRANSDUTOR DE POSIÇÃO

4.4.1 Diagrama de Blocos do Transdutor de Posição

No equipamento estudado existem duas unidades em funcionamento simultaneamente, a falha de uma faz o sistema falhar. A partir destas informações de utilização do transdutor em campo, foi elaborado o diagrama de blocos com a configuração série simples que representará o sistema no software, apresentando na Figura 29.

Figura 29 - Diagrama do Transdutor de Posição



Fonte: O Autor (2017).

Os blocos foram configurados com as distribuições de probabilidade de tempo até a falha, tempo de reparação e tempo de aquisição, encontradas na etapa de análise de dados, foram inseridas também as informações de custo de parada da linha, custo de aquisição e de armazenamento das peças, conforme apresentado na Tabela 9.

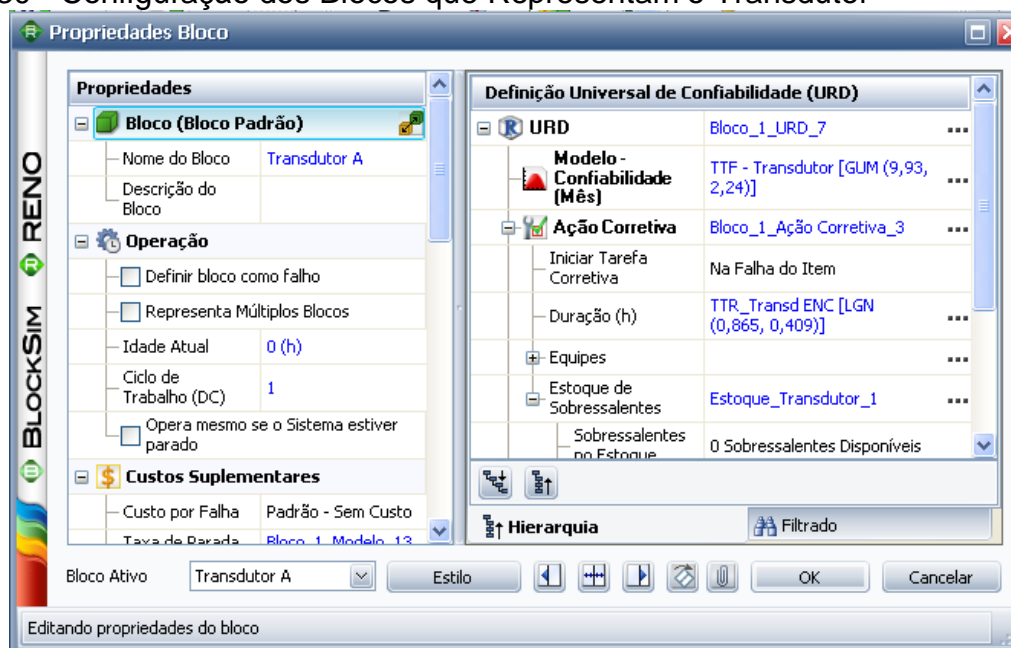
Tabela 8 - Parâmetros Configurados nos Blocos

Parâmetro	Configuração
Unidade em uso (UN)	2
Estoque (UN)	0 a 6
Custo UN Peça	3.500,00
Custo UN Emergência	7.000,00
Tempo reposição Emerg.	1 dia
Custo parada/h	10.000,00
Tempo até a falha	Distribuição Gumbell
Tempo reposição Normal	Distribuição Gama G
Tempo Reparo	Distribuição Lognormal

Fonte: O Autor (2017).

A Figura 30 ilustra um bloco após todas as configurações realizadas no software.

Figura 30 - Configuração dos Blocos que Representam o Transdutor



Fonte: O Autor (2017).

4.4.2 Simulação do Transdutor de Posição

Para que fosse possível determinar o número ótimo de peças em estoque, ou seja, o que represente o menor custo final para o sistema, foi realizado simulações com os cenários de zero peça a seis peças em estoque. Para todos os casos, na falta de peças em estoque, foi definida a possibilidade de aquisição de peças em emergência considerando um custo adicional de 100% para cada pedido realizado. O período de simulação definido foi de 05 anos, conforme ilustrado na Figura 31.

Figura 31 - Simulação do Sistema



Fonte: O Autor (2017).

Os resultados da simulação do transdutor estão apresentados na Tabela 9.

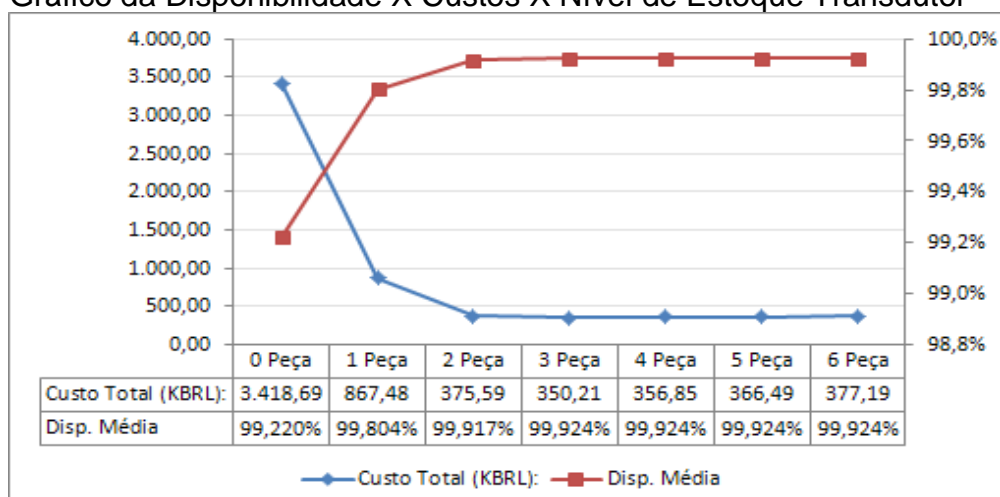
Tabela 9- Resultados Simulação Transdutor

Estoque (Nº Peças)	0	1	2	3	4	5	6
Disp.Média (Total)	99,220%	99,804%	99,917%	99,924%	99,924%	99,924%	99,924%
MTBF (Total) (h)	3.445	3.430	3.423	3.424	3.424	3.424	3.424
Tempo Disp. (h)	43.458	43.714	43.763	43.767	43.767	43.767	43.767
Tempo MC (h)	33	33	33	33	33	33	33
Falta Estoque (h):	309	53	3	0	0	0	0
Indisp. Total (h):	342	86	37	33	33	33	33
Nº de Falhas:	13	13	13	13	13	13	13
Peças em emerg.	13	2	1	0	0	0	0
Custo Parada(R\$):	3.418.686	860.548	365.673	332.977	331.057	331.057	331.057
Custo Estoque(R\$)	0	6.935	9.922	17.231	25.795	35.438	46.135
Custo Total (R\$):	3.418.686	867.483	375.594	350.208	356.852	366.495	377.191

Fonte: O Autor (2017).

A disponibilidade inicial do sistema, sem o investimento em peças de reposição foi 99,22%, sendo afetada por 309h de paradas para aquisição em emergência de peças e 33h de parada para o reparo do equipamento (tempo de troca das peças e retorno da produção), gerando um custo final total de 3,42 MBRL. A disponibilidade máxima alcançada com o investimento em peças de reposição foi 99,924% para três peças em estoque, sendo afetada apenas pelo tempo de reparo do equipamento, não houve paradas por falta de estoque, o custo total e também o mínimo alcançado em todas as simulações realizadas foi de 0,35 MBRL, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 32, que demonstra o comportamento da disponibilidade e o custo ao serem variadas as quantidades de peças armazenadas em estoque.

Figura 32 - Gráfico da Disponibilidade X Custos X Nível de Estoque Transdutor



Fonte: O Autor (2017).

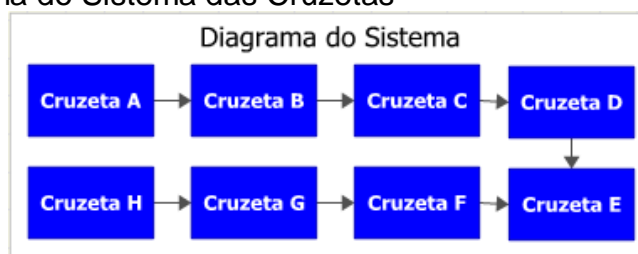
É possível observar pela análise gráfica que abaixo da quantidade ideal de peças, a disponibilidade e o custo são afetados simultaneamente e acima da quantidade ideal somente o custo é afetado, pois a disponibilidade já alcançou seu valor máximo. A partir destas informações é possível determinar o estoque ideal de peças de reposição.

4.5 MODELAMENTO E SIMULAÇÃO DA CRUZETA DO LAMINADOR

4.5.1 Diagrama de Blocos das Cruzetas do Laminador

No equipamento estudado existem duas unidades em funcionamento em cada uma das quatro cadeiras de laminação, a falha de uma das peças faz todo o sistema falhar. A partir destas informações de uso, foi elaborado o diagrama de blocos em série simples que representa o sistema no software, apresentando na Figura 33.

Figura 33 - Diagrama do Sistema das Cruzetas



Fonte: O Autor (2017).

Os blocos foram então configurados com as distribuições de probabilidade de tempo até a falha, tempo de reparação, tempo de aquisição, custo de aquisição e de armazenamento das peças, conforme apresentado na Tabela 10. Por se tratarem de informações sensíveis, foi aplicado um fator aos custos de parada e aquisição de peças.

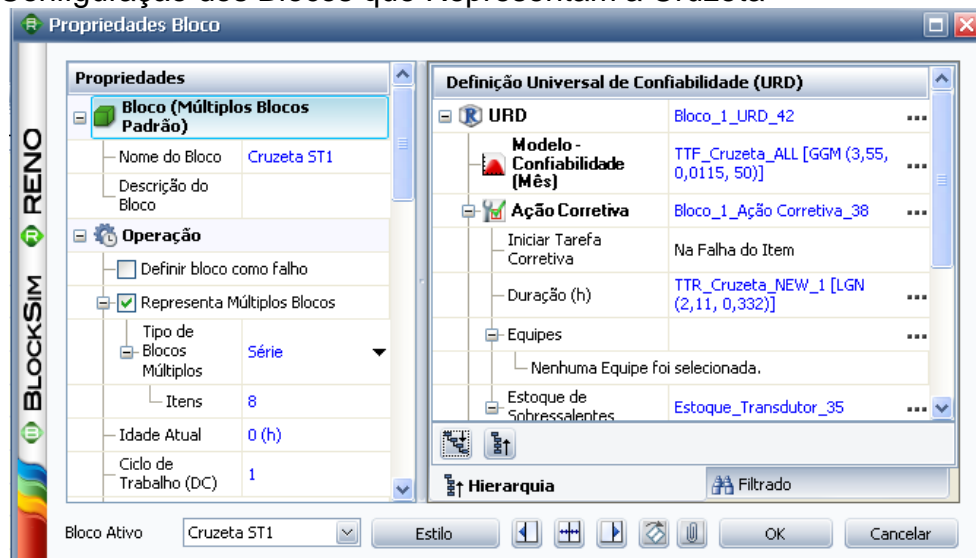
Tabela 10 - Parâmetros Configurados nos Blocos

Parâmetro	Configuração
Unidades em uso (UN)	8
Estoque (UN)	0 a 10
Custo UN Peça	6.000,00
Custo UN Emergência	9.000,00
Tempo reposição Emerg.	1 dia
Custo parada/h	6.000,00
Tempo até a falha	Distribuição Gama G.
Tempo Reparo	Distribuição Lognormal
Tempo reposição Normal	Distribuição Weibull 3P.

Fonte: O Autor (2017).

A Figura 34 ilustra um dos blocos após todas as configurações realizadas no software.

Figura 34 - Configuração dos Blocos que Representam a Cruzeta



Fonte: O Autor (2017).

4.5.2 Simulação da Cruzeta

Para determinar o número ótimo de peças em estoque e encontrar o menor custo geral e a maior disponibilidade do sistema, foram realizadas simulações com os cenários de zero peça a dez peças em estoque. Para todos os casos, na falta de peças em estoque foi definida a possibilidade de aquisição de peças em emergência a um custo adicional de 100% para cada pedido realizado. O período de simulação definido foi de 05 anos, conforme ilustrado na Figura 35

Figura 35 - Simulação do Sistema



Fonte: O Autor (2017).

Os resultados da simulação da cruzeta estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11- Resultados Simulação Cruzeta

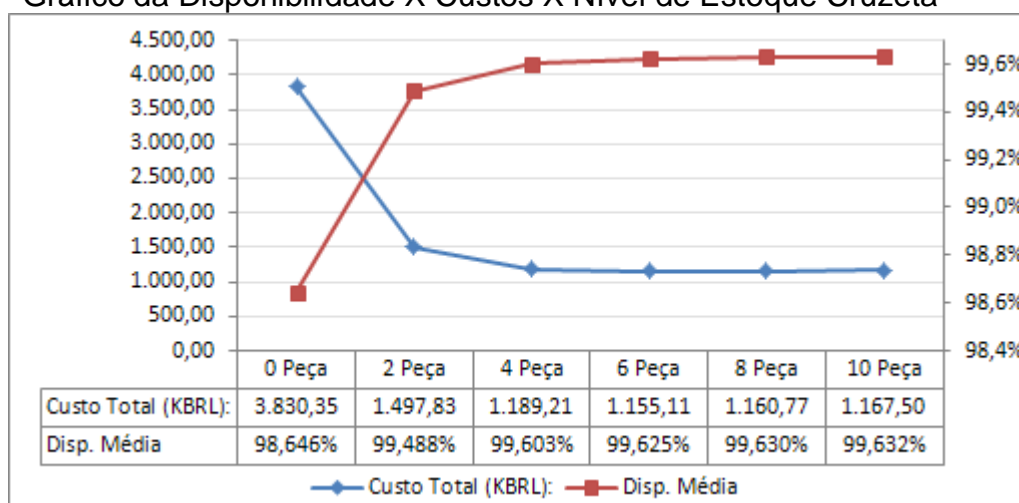
Estoque (Nº Peças)	0	2	4	6	8	10
Disp.Média (Total)	98,646%	99,488%	99,603%	99,625%	99,630%	99,632%
MTBF (Total) (h)	2.416	2.376	2.376	2.376	2.376	2.376
Tempo Disp. (h)	43.207	43.576	43.626	43.636	43.638	43.639
Tempo MC (h)	158	161	161	163	162	161
Falta Estoque (h):	435	63	12,8	1	0	0
Indisp. Total (h):	593	224	174	164	162	161
Nº de Falhas:	18	18	18	18	18	18
Peças em emerg.	18	3	1	0	0	0
Custo Parada(R\$):	3.830.347	1.480.032	1.158.757	1.096.873	1.082.316	1.078.551
Custo Estoque(R\$)	0	17.795	30.451	58.238	78.449	88.945
Custo Total (R\$):	3.830.347	1.497.828	1.189.208	1.155.111	1.160.765	1.167.496

Fonte: O Autor (2017).

A disponibilidade inicial do sistema sem investimento em peças de reposição foi 98,64%, sendo afetada por 435h de paradas para aquisição de peças em emergência e 158h em função do o reparo do equipamento (tempo de troca das peças e retorno da produção), gerando um custo total de 3,83 MBRL A disponibilidade máxima alcançada com o investimento em peças de reposição foi 99,63% para oito peças em estoque, sendo afetada apenas por 161h de reparo do equipamento e não houve falta de estoque.

Em relação ao custo total do sistema, que leva em consideração o investimento em estoque, o valor mínimo alcançado foi de 1,15 MBRL, para seis peças em estoque, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 36, que demonstra o comportamento da disponibilidade e o custo ao serem variadas as quantidades de peças armazenadas em estoque. Conforme a simulação com seis peças em estoque o sistema apresenta uma parada por falta de estoque de 1h, mas devido ao custo com investimento em estoque ser maior do que o valor da parada, o custo final total do sistema é o menor.

Figura 36 - Gráfico da Disponibilidade X Custos X Nível de Estoque Cruzeta



Fonte: O Autor (2017).

Também ficou demonstrado pela análise gráfica o estoque ideal de peças para a cruzeta é no ponto onde o custo é menor e a disponibilidade atingiu seu valor máximo, no caso da cruzeta é com um estoque de seis unidades..

4.5.3 Comparação Entre o Estoque Atual e os Resultados da Simulação

A Tabela 12 traz uma comparação entre o estoque atual das peças de reposição estudadas e as recomendados pela simulação. Para o caso do transdutor que é uma peça de característica elétrica, pode ser observado que o estoque atual está próximo ao adequado a simulação recomenda três peças e o estoque atual é duas peças. Para o caso da cruzeta do Laminador que é uma peça de característica mecânica existe uma diferença maior entre o estoque atual e o recomendado pela simulação. Nos dois casos deve ser alterada a quantidade de itens em estoque para garantir o nível ideal de peças em estoque e evitar custos extras por ruptura de estoque.

Tabela 12 - Comparação Entre Estoque Atual e Recomendado Pela Simulação

Peça	Itens em Estoque	Simulação
Transdutor	2,00	3,0
Cruzeta	2,00	6,0

Fonte: O Autor (2017).

Atualmente a definição das peças em estoque na empresa de estudo é feita pelos métodos tradicionais, levando em conta apenas o consumo médio das peças e o tempo médio de reposição. Pode ser observado com o resultado da simulação que para determinadas peças que apresentam taxa de falhas constantes, como é características das peças elétricas, este modelo pode ser próximo ao adequado. Para as peças que não seguem o modelo convencional de consumo e não tem taxa de falhas constantes, como é o caso das peças mecânicas, o modelo adotado não atende completamente e pode gerar custos por falta de sobressalentes quando seus estoques forem subdimensionados, ou perdas por obsolescência quando forem superdimensionados.

4.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram mostradas as etapas realizadas na aplicação do referencial teórico ao tema de pesquisa. Foram seguidas todas as etapas desde a preparação dos dados até a simulação.

A aplicação do estudo com base em informações reais retiradas em campo foi de extrema valia para corroborar com a proposta do trabalho e mostrou a viabilidade desta aplicação.

Este capítulo servirá de base para a conclusão do trabalho, fornecendo todas as informações necessárias da aplicação realizada.

No próximo capítulo serão apresentadas as conclusões do estudo realizado nas áreas do Laminador de Encruamento e Laminador a Frio da empresa tema do estudo.

Será realizada uma síntese dos resultados atingidos, as dificuldades encontradas e as soluções adotadas, as conclusões resultantes deste processo, os benefícios para a empresa tema de estudo e as sugestões para trabalhos futuros.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou uma possível solução para o desafio vivenciado atualmente pelas organizações quando o assunto é o dimensionamento de peças de reposição MRO de baixo giro. Devido às características inerentes a estes materiais a aplicação de metodologias tradicionais, que levam em conta dados como consumo médio e tempo de ressuprimento, não se aplicam e podem gerar rupturas de estoque, perdas financeiras por obsolescência de peças e alto custo para as empresas.

A solução apresentada propõe a simulação cronológica, com a utilização de software específico, em modelos elaborados com diagramas de blocos de confiabilidade e configurados com as distribuições de probabilidade que representam a vida das peças. As distribuições são encontradas seguindo etapas de coleta e análise dos dados de vidas, ou seja, tempo até a falha, tempo de reparo e tempo de reposição de cada item.

Conforme ilustram os gráficos da Figura 32 e da Figura 36, onde podem ser observadas as curvas de custos e da disponibilidade dos dois itens estudados, o maior custo e a menor disponibilidade acontecem quando não há estoques de peças de reposição. Neste cenário as compras são realizadas em emergência na falha do item, o que aumenta o tempo de indisponibilidade dos ativos, gerando perdas por custos maiores de reposição e por parada de produção, o que comprova que o investimento em estoques de peças críticas é fundamental para garantir a melhor disponibilidade ao menor custo final.

Por outro lado a partir da análise gráfica, pode ser observado que a partir de três peças em estoque, para o caso do transdutor e seis peças para o caso das cruzetas, uma disponibilidade muito próxima à máxima possível já é atingida, e a partir deste ponto, os custos com investimento em estoque passam a impactar nos custos totais dos ativos. Aumentos na disponibilidade só serão possíveis com projetos focados no aumento da confiabilidade das peças.

O excesso de peças em estoque gera desperdícios como obsolescência, perdas no fluxo de caixa das empresas, pois o dinheiro poderia ser empregado em outros investimentos, além não contribuir para o aumento contínuo dos índices de disponibilidade, elevando apenas os custos finais de manutenção e produção. Assim

como a falta de peças em estoque influencia na disponibilidade dos equipamentos e também aumenta os custos finais de operação dos ativos.

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a aplicação da solução proposta é aderente e viável e traz resultados dentro das expectativas. Com o estudo de caso foi possível observar que o nível de estoques influencia diretamente nos índices de disponibilidade dos ativos das linhas produtivas, principalmente nos custos finais gerais destes ativos. Pode-se concluir também que existe um ponto ótimo para o número de peças de reposição em estoque.

Por se tratar de uma ferramenta quantitativa e probabilística de confiabilidade, a tomada de decisão dos gestores fica mais assertiva, pois são baseadas em cálculos de risco. São levados em consideração nestes casos, para o cálculo dos índices de confiabilidade e custos, os dados históricos de vida reais dos ativos no chão de fábrica, o que incluem o tempo até a falha, tempo de reparo e tempo de reposição dos itens, que são considerados estocásticos conforme muitos autores, ou seja, permitem a utilização de probabilidade para previsões futuras.

Outro ponto positivo na solução proposta da utilização de simulação para definição dos níveis do estoque é a análise de diversos cenários com respostas praticamente instantâneas, sem geração de custos extras ou desperdícios de estoque, pois este método aplica simulações e experimentações de casos virtuais e hipotéticos. Em um caso real sem a aplicação desta ferramenta, para atingir o mesmo resultado em termos de disponibilidade e custos, levariam anos e seriam necessárias inúmeras tentativas de definição dos pontos de ressuprimento das peças em estoque, ou com aplicação de métodos não aderentes a estes tipos de estoques o que poderiam gerar custos extras e não planejados para as empresas.

Para aplicação do método proposto foi necessário obter os tempos reais até a falha de cada item estudado, o que significa que precisou ser conhecida a data de entrada em operação e a data da falha de cada componente estudado individualmente. Esta foi a primeira grande dificuldade encontrada no estudo realizado para análise do modelo de distribuição de probabilidade.

Foi observado que a grande maioria das empresas atualmente não estão preparadas para aplicação de ferramentas de confiabilidade, principalmente as que necessitam de históricos detalhados dos seus ativos. O foco principal dos históricos atuais de manutenção é a geração de indicadores globais de manutenção do ativo como exemplo o MTBF, disponibilidade, índice de falhas, taxa de trabalho, relatórios

de custos, entre outros. Outra aplicação deste histórico é para realização de análises das falhas repetitivas ou com impacto em segurança, meio ambiente, qualidade e custos por meio de métodos qualitativos, poucos são as aplicações de ferramentas quantitativas de confiabilidade.

Para conseguir os tempos até a falha das peças estuda, o que era fundamental para a aplicação da metodologia proposta, foi necessário consultar o consumo dos materiais no sistema que gerencia as compras da empresa, cruzar com informações das ordens de manutenção e com os dados gerados pelo sistema de controle dos tempos e paradas dos ativos. Mesmo com o cruzamento de informações de três sistemas diferentes, o que além de trabalhoso é um processo demorado, a confiabilidade final da informação gerada ainda é baixa e questionável. Muitas datas não estão diretamente relacionadas nestes sistemas, ou seja, em um caso real é possível que a peça falhe em um dia, tenha seu relatório elaborado em outro dia e a demanda de compra se efetive apenas algum tempo depois. Com estes dados também não é possível garantir em que data a peça falhada entrou em operação, pois a identificação dos itens no estoque segue uma codificação padrão, não sendo controlados por números de séries. Na prática significa que é possível saber quantos itens falharam para cada código do estoque, onde foram aplicados, mas não é possível identifica-los individualmente.

O levantamento dos tempos de reparo e do tempo de reposição do estoque foram etapas onde a obtenção dos dados não foi de grande dificuldade. Com relação aos tempos de reposição do estoque, o sistema gerencia cada etapa, desde a colocação da demanda até o recebimento do pedido, facilitando o levantamento dos tempos. Já para os tempos de reparo ainda existem algumas inconsistências no sistema, pois alguns relatórios não foram encontrados, ou ainda não constava a peça consumida na ordem de manutenção, o que gerou uma dificuldade maior para tratativa das informações.

A falta de preparo nos bancos de dados do histórico de vida das peças dos ativos das empresas, se não tratado rapidamente pode inviabilizar a aplicação de ferramentas de confiabilidade quantitativa. Um dos primeiros passos para uma empresa que deseja futuramente aplicar tais ferramentas é a preparação do seu sistema para o registro dos históricos de falhas individualmente para cada peça de reposição, principalmente para as peças mais críticas, que impactam nos custos de estoque e na indisponibilidade dos ativos em caso de rupturas de estoque.

Outro ponto que pode impactar na aplicação deste método é relacionado ao tamanho das amostras, quanto menores as amostras, menor é o índice de confiança do resultado alcançado. Para os itens com poucas falhas, o modelo de distribuição que representará sua expectativa de vida e tempo até a falha, pode não ser o mais adequado e gerar equívocos no dimensionamento das peças no estoque.

Após a etapa de levantamento e tratativa de dados de falha, reparo e reposição dos itens, a etapa relacionada à definição do modelo de distribuição de probabilidade e elaboração do modelo de blocos que representou o sistema para a simulação, foram práticas e de fácil aplicação, principalmente com a utilização de softwares específicos para este fim.

Para chegar ao dimensionamento do número de peças ideais no estoque, foi necessária a simulação individual para cada cenário proposto, pois o software utilizado não apresenta uma ferramenta que faz a otimização do custo e da disponibilidade pelo número de peças em estoque. Neste caso a aplicação da ferramenta em grande escala, em estoques que contém centenas ou milhares de peças, ainda dispenderia muito tempo e dedicação e poderia se tornar inviável, neste caso se recomenda que esta ferramenta seja aplicada apenas para itens críticos e que tragam grandes impactos nos custos e disponibilidade dos ativos.

5.1.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Com base neste estudo realizado, podem ser sugeridos alguns temas para trabalhos futuros para complementar e aumentar a abrangência e assertividade da ferramenta proposta:

- Elaboração de estudos voltados às etapas de levantamento e análise dos dados, como forma de encontrar as melhores práticas para aplicação nas empresas;
- Comparação dos métodos de dimensionamento mais usuais com o modelo proposto de simulação;
- Desenvolvimento de uma ferramenta que substitua os softwares utilizados neste estudo;

- Desenvolver um método que faça a otimização do estoque sem a necessidade de simulação, para obtenção do mesmo resultado alcançado neste estudo.

REFERÊNCIAS

- ABNT, **NBR. 5462 (1994)**: Confiabilidade e Manutenibilidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo–SP, 1994.
- ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 8., 2010, São Paulo. **Anais...**São Paulo: SP, 2010. P. 1-12.
- ALMEIDA, AT de et al. **Gestão da manutenção na direção da Competitividade**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2001.
- ARCELORMITTAL VEGA **Dados da Empresa**. Disponível em: <http://vega.arcelormittal.com/empresa/empresa.asp> . Acesso em: 11 out. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. **Documento Nacional de 2013**. 28º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos. Salvador - BA, Setembro de 2013.
- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**: Logística Empresarial. 5 ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2009.
- COSTA, Jener de C.. **Gestão de estoque de materiais de baixíssimo giro considerando processos críticos para a organização**. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2009.
- FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2009
- GHODRATI, Behzad. **Reliability and operating environment based spare parts planning**. 201 f. Tese (Doutorado) – Divisão de Engenharia Operacional de Manutenção, Universidade de Tecnologia de Luleå, Suécia 2005.
- MARTINS, Vera L. M.; WERNER, LIANE; PINTO, Flavia T. **Uso da Simulação de Monte Carlo para Avaliação da Confiabilidade de um Produto**. In: SIMPÓSIO DE
- MATOS, Paulo Z. de; ZOTTI, Dianne M. **Análise de Confiabilidade Aplicada à Indústria para Estimativas de Falhas e Provisionamento de Custos**. 59 f. Monografia (Graduação) – Curso de Estatística do Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.
- MELO, Cristiano G. de **Uso de Simulação Monte Carlo no Dimensionamento da Reserva Técnica de Transformadores para Instrumento do Sistema da CHESF**. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2011.

RAUSAND, Marvin; ARNLJOT, H. Å. **System reliability theory: models, statistical methods, and applications**. 2 ed. New Jersey - Canada: John Wiley & Sons, 2004.

RELIASOFT.CORPORATION **Life Data Analysis Reference Book**. Disponível em: http://www.reliawiki.org/index.php/Introduction_to_Life_Data_Analysis . Acesso em: 11 out. 2017.

SOUZA, Leonardo L. de **Metodologia Probabilística para dimensionamento de Reserva Técnica de Transformadores de subestações de distribuição de Energia Elétrica**. 166 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá. Minas Gerais, 2014.

VIEIRA, H. A. **Modelo de previsão de priorização de peça de reposição**. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2008.

WANKE, Peter. **Gestão de estoques na cadeia de suprimento: decisões e modelos quantitativos** .2 ed. São Paulo: Editora Atlas SA, 2008.