

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

**CARLOS ALBERTO CRISTOFARI JUNIOR**

**ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA PARA COMPARAR  
ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE CARDANS DE LAMINADOR  
DE TIRAS À FRIO**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2017**

**CARLOS ALBERTO CRISTOFARI JR.**

**ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA PARA COMPARAR  
ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE CARDANS DE LAMINADOR  
DE TIRAS À FRIO**

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. Emerson Rigoni

Co-orientador: Cristiano Piletti

**CURITIBA**

**2017**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Curitiba  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica  
Especialização em Engenharia da Confiabilidade



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA PARA COMPARAR ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE CARDANS DE LAMINADOR DE TIRAS À FRIO**

por

Carlos Alberto Cristofari Junior

Esta monografia foi apresentada em 03 de novembro de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.  
Professor Orientador - UTFPR

---

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

---

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

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedico esse trabalho a Deus, minha família, aos professores da UTFPR e instrutores da ReliaSoft a ArcelorMittal por disporem de tempo, dedicação e recursos para que esse trabalho fosse desenvolvido.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a UTFPR por idealizar e realizar este curso;

Agradeço a ArcelorMittal por fomentar esta pesquisa e disponibilizar recursos para realizá-la;

Agradeço aos professores da UTFPR e instrutores da Reliasoft pelas aulas e discussões em sala;

Agradeço a Reliasoft pela disponibilização da licença dos softwares para realizar a pesquisa.

Agradeço aos meus colegas de sala;

Agradeço aos colegas de empresa que realizamos as 27 viagens à Curitiba para as aulas da pós e discussões para os trabalhos;

Agradeço à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

As mãos preguiçosas  
empobrecem o homem,  
porém as mãos diligentes  
lhe trazem riqueza.

**Provérbios 10:4**

## RESUMO

CRISTOFARI JR, Carlos Alberto. **Análise do Custo do Ciclo de Vida Para Comparar Estratégias de Manutenção de Cardans de Laminador de Tiras à Frio.** 2017. 52 páginas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A siderurgia brasileira está enfrentando um cenário adverso com concorrência direta dos mercados emergentes globais. Esse cenário força as empresas voltarem-se para seus processos internos para obterem e sustentarem vantagens competitivas em relação aos seus competidores. A abordagem de Gestão de Ativos traz um enfoque de alinhamento de todos os processos empresariais para o que agrega valor à empresa e otimiza a vida econômica dos ativos. Para isso as ferramentas de confiabilidade oferecem um meio para manipular as informações de uso de ativos, trazendo ao entendimento o comportamento dos ativos e suas interações durante todo o seu ciclo de vida. Desta maneira o presente trabalho se propôs a estudar o ciclo de vida de um ativo específico (cardans do laminador de tiras à frio) com o intuito de modelar o comportamento através das suas informações de falha, manutenibilidade e custos para simular estratégias alternativas de gestão deste ativo. Os resultados deste estudo são a análise dos dados de confiabilidade e custos deste ativo, a comparação da estratégia *run to failure* com três cenários de substituição programada e as informações geradas para orientar a melhor gestão deste ativo.

**Palavras-chave:** LCC. Confiabilidade. Manutenibilidade. Gestão de ativos, Estratégias de Manutenção.

## ABSTRACT

CRISTOFARI JR, Carlos Alberto. **Using Life Cycle Cost to compare maintenance strategy of Cold Strip Mill cardans shafts** 2017. 52 Pages. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

The Brazilian steel industry is facing an adverse scenario with direct competition from global emerging markets. This scenario forces companies to turn their attention on their internal processes to obtain and sustain competitive advantage over their competitors. The Asset Management approach brings an alignment across all business processes to what adds value to the business and optimizes the asset economic life. Therefore, reliability engineer offer a set of tools as a means to manipulate asset usage information, bringing to understanding the assets behavior and their interactions throughout their life cycle. In such way this particular work has proposed to study the life cycle cost of a specific asset (cold strip mills cardam shafts) in order to modeling reliability, maintainability and costs data to simulate alternative asset management strategy. The major results of this study are the reliability, mantenability and cost analysis of cardans shafts, the compering of run to failure strategy with three scenarios of schedule restoration task and all information generated to contribute with asset management.

**Palavras-chave:** LCC. Reliability. Mantenability. Asset Management. Maintenance Strategy

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Esquemático motores do laminador .....	20
Figura 2.2- Cardam Laminador.....	22
Figura 2.3- Vista explodida do cardam .....	22
Figura 2.4- Time Line das falhas dos cardans .....	22
Figura 2.5- Detalhe da falha dos mancais do cardam.....	24
Figura 3.1- Fatores impactando Manutenção em tempo de crise .....	27
Figura 3.2 - Contexto da Gestão de Ativos.....	29
Figura 3.3 - Ciclo de vida de um ativo segundo ISO 55000 .....	30
Figura 3.4 - Ferramentas da engenharia da confiabilidade .....	32
Figura 4.1 - Gráficos dos dados de falhas dos cardans .....	40
Figura 4.2 - Curva confiabilidade x tempo e a PDF da manutenibilidade .....	42

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Informações técnicas do LTF .....	20
Quadro 4.1 - Histórico de falhas dos cardans do LAM .....	40
Quadro 4.2 - Modelo dados de falha .....	40
Quadro 4.3 - Modelo dos dados de manutenibilidade .....	41
Quadro 4.4 - Custos de manutenção .....	43
Quadro 4.5 - Simulação Run to Fail.....	45
Quadro 4.6 - Simulação estratégias de manutenção cardans .....	46
Quadro 5.1 - Comparativo entre as estratégias de manutenção .....	49

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA .....	13
1.2.1	Objetivo Geral.....	14
1.2.2	Objetivos Específicos.....	14
1.3	JUSTIFICATIVA.....	14
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	15
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
<b>2</b>	<b>LOCAL DE APLICAÇÃO</b> .....	<b>17</b>
2.1	LAMINADOR DE TIRAS A FRIO .....	17
2.2	CARDANS DO LAMINADOR.....	18
2.2	FALHAS DO CARDAM.....	20
2.3	SINTESE DO CAPÍTULO .....	22
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>23</b>
3.1	INTRODUÇÃO DO CAPITULO .....	23
3.2	GESTÃO DE ATIVOS PELA ISO 55000.....	25
3.3	FERRAMENTAS DE CONFIABILIDADE .....	28
3.4	RAM E LCCA.....	30
3.5	BASE TEÓRICA LCC .....	32
3.6	ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO .....	34
3.7	SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	36
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>37</b>
4.1	FALHAS DOS CARDANS.....	37
4.2	LEVANTAMENTO DOS CUSTOS .....	40
4.3	ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO.....	41
4.4	COMPARAÇÃO ESTRATÉGIAS .....	41
4.5	SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	44
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>46</b>
5.1	QUANTO AOS OBJETIVOS .....	46
5.2	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES .....	48
5.3	DIFICULDADES E BARREIRAS .....	48
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	49
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de base brasileira enfrenta momentos difíceis que perduram por toda uma década. Com a abertura da china e outros países para o mercado externo as *comodities* viram a sua balança de oferta e procura ser fortemente abalada demandando grande esforço para manter-se saudável. A indústria do aço nacional sofreu igualmente esse impacto, e desde 2008, o que era dito como crise ganhou status de situação permanente (BISSOLI, *et al.* 2017). Com suas margens reduzidas por pressão do mercado e dos insumos, as siderúrgicas tiveram que questionar a maneira como realizam seus processos para encontrar vantagens estratégicas, diferenciar de seus concorrentes e manter a sua competitividade no mercado.

Os números divulgados pelo Instituto Aço Brasil em 2015 mostram que a capacidade instalada brasileira era de 48,9 Mton / ano e a produção bruta foi de 33,3 Mton/ ano (AÇOBRASIL, 2015). Em grande parte, o nível do uso da capacidade instalada é devido à pressão das importações de aços. Nesse contexto é de considerável importância a habilidade das siderúrgicas em gerenciarem os custos dos seus processos produtivos alinhado com uma perspectiva de custo, risco e confiabilidade dos seus ativos.

Para adquirir esta habilidade a manutenção deve se ater não somente em recuperar as funções dos seus ativos físicos, mas sim ampliar a sua visão para gerenciar adequadamente toda a vida dos ativos físicos de modo a maximizar o seu valor.

Assim muitos esforços eram percebidos no intuito de desenvolver e adaptar as ferramentas de gestão com objetivo de otimizar a vida dos ativos. E em 2004 o IAM (*Institute of Asset Management*) em parceria com a BSI (*British Standards Institute*) consolidaram requisitos para realizar uma gestão de ativos orientada para o seu ciclo de vida num esforço para padronizar as práticas. Foi então criada a PAS 55, que sofreu uma revisão em 2008. A aceitação pelas empresas foi grande e em 2009 foi entregue a ISO (*International Standard Organization*) uma especificação

técnica para se criar uma norma internacional de gestão de ativos, sendo publicada em 2013 a série ISO 55000. Em 2014 a ABRAMAN realizou a tradução desta família de normas para o português.

Esta publicação foi um marco importante para a manutenção industrial, pois direcionam as empresas através de requisitos definidos ao balanceamento do custo, risco e confiabilidade dos ativos para maximizar a probabilidade de as empresas alcançarem seus objetivos estratégicos. Esse balanceamento conduz as empresas à uma gestão eficaz e eficiente dos seus ativos elevando a maturidade da empresa para tomar melhores decisões para o alcance de uma performance consistente e sustentável.

Nesse contexto, o presente trabalho tem a pretensão de utilizar a Análise de Ciclo de Vida (LCC) de um conjunto de cardans de um laminador de tiras a frio de uma empresa siderúrgica brasileira para comparar estratégias alternativas de manutenção para suportar as decisões de gestão deste ativo com visão de longo prazo.

## 1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Para realizar o estudo, as seguintes premissas serão consideradas:

- O SAP é o CMMS vigente onde todas as informações de manutenção são oriundas deste sistema.
- O estudo realizará uma análise do comportamento dos cardans do Laminador de Tiras à Frio (LTF).
- Os cardans foram instalados em 2012 e operam em regime de 24 horas.
- As decisões relacionadas ao ciclo de vida dos ativos são subjetivas e baseadas em dados de operação e manutenção e custos envolvidos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um estudo de ciclo de vida dos cardans de um LTF para comparar a estratégia de manutenção atual com alternativas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Estudar ferramentas de LCCA disponíveis;
- Modelar o ciclo de vida considerando a estratégia de manutenção atual dos cardans do laminador;
- Simular estratégias alternativas manutenção;
- Auxiliar a decisão de estratégia de manutenção para os cardans do LTF de uma empresa siderúrgica brasileira.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

As estratégias de manutenção são decididas baseadas em conhecimento prático dos ativos, benchmarking com outras usinas e informações dos fornecedores. Tais decisões podem não representar o melhor cenário para a empresa.

Desta maneira, se faz necessário uma metodologia que alie as informações reais de confiabilidade com a vida econômica dos equipamentos para nortear as decisões estratégicas de gestão de ativos.

#### 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para classificar uma pesquisa, Silva e Menezes (2005) utilizam quatro aspectos: em relação aos procedimentos, à natureza, à abordagem e aos objetivos.

Em relação ao procedimento, esta pesquisa pode ser classificada com estudo de caso. Para se realizar este estudo de caso será necessária uma etapa de levantamento de dados de manutenção no banco de dados da empresa (MTBF, MTTR e custos), entendimento dos modos de falha envolvidos nos eventos, modelamento das informações de falha em software de confiabilidade e simulação de estratégias de manutenção. Em relação à natureza a pesquisa é considerada aplicada em função da sua geração de conhecimentos com a aplicação prática e solução do problema.

Em relação à abordagem a pesquisa é considerada quantitativa, com manipulação de dados de manutenção e uso de técnicas estatísticas para tal e uma natureza aplicada para a solução de um problema específico da empresa. Em relação aos objetivos desta pesquisa, pode ser classificada com pesquisa descritiva, pois visa descrever os fatos e estudá-los a fim de concluir sobre a vida do ativo em questão. Em relação ao objetivo, segundo Gil (2008) trata-se de uma pesquisa exploratória pois busca explicitar o problema através de pesquisa bibliográfica e estudo de caso.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao trabalho. O capítulo segundo apresenta o local de instalação dos cardans e a problemática relacionada às falhas dos cardans. O terceiro apresenta o referencial teórico que embasa esta pesquisa. O capítulo quarto apresenta o caso com os dados de manutenção dos cardans, o modelo de falha dos eixos e o estudo de LCC dos cardans. O quinto e último capítulo apresenta as conclusões do estudo e recomendações futuras.

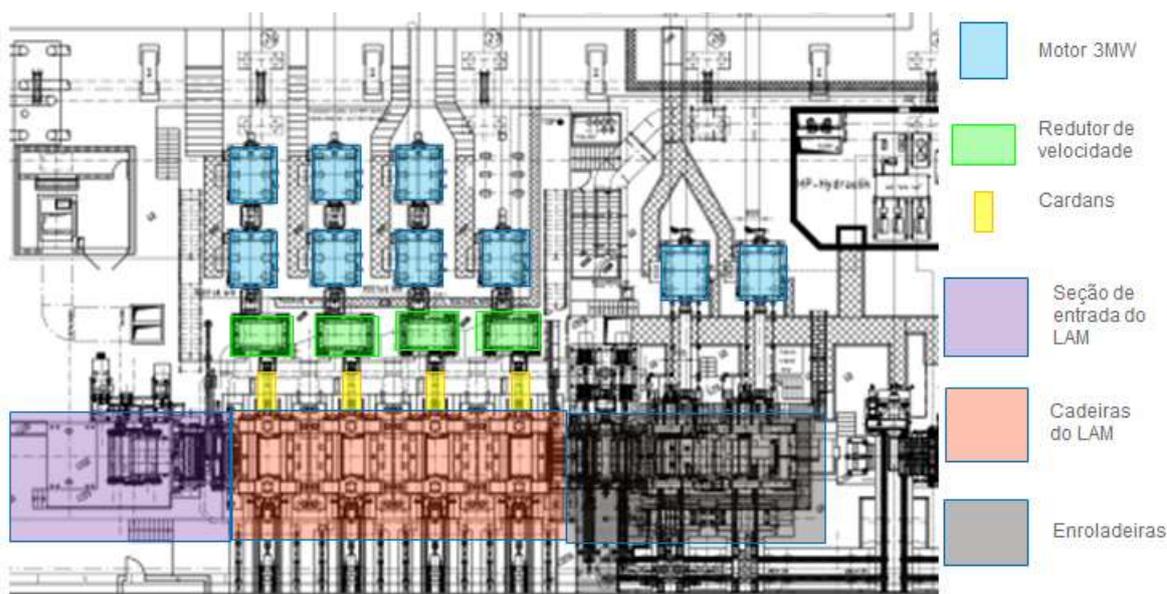
## 2 LOCAL DE APLICAÇÃO

Este capítulo descreve características técnicas do Laminador de Tiras à Frio, os cardans que operam neste laminador e uma descrição das falhas ocorridas. A apresentação técnica é importante para descrever e delimitar o escopo do presente estudo.

### 2.1 LAMINADOR DE TIRAS A FRIO

O laminador de tiras à frio da ArcelorMittal Vega do Sul foi comissionado em 2002 como objetivo de processar bobinas aço carbono laminadas à quente oriundas da unidade da ArcelorMittal Tubarão, no estado do Espírito Santo. O projeto é da SMS-Siemag com capacidade original de 840.000 tons/ano e hoje opera com 1.200.000 tons/ano. O laminador possui quatro cadeiras de laminação, do tipo quadro, não reversível, que opera acoplado na linha de Decapagem, e duas enroladeiras, conforme apresenta a figura 2.1.

Figura 2.1: Esquemático motores do laminador



Fonte: Documentos técnicos ArcelorMittal

O laminador processa aços com foco na indústria automotiva, linha branca e indústria em geral (tubos, telhas e utensílios). A quadro 2.1 apresenta as informações técnicas do laminador.

Quadro 2.1: Informações técnicas do LTF

Item	Valor
Produção Laminador à Frio	1.200 ktons/ano
Espessura de entrada	1,20 à 4,80 mm
Espessura de saída	0,37 à 2,00 mm
Largura	550 à 1875 mm
Peso máximo de bobina	40,0 toneladas
Diâmetro máximo de bobina	2100 mm
Velocidade de Decapagem (máxima)	275 mpm
Velocidade do Laminador (máxima)	900 mpm

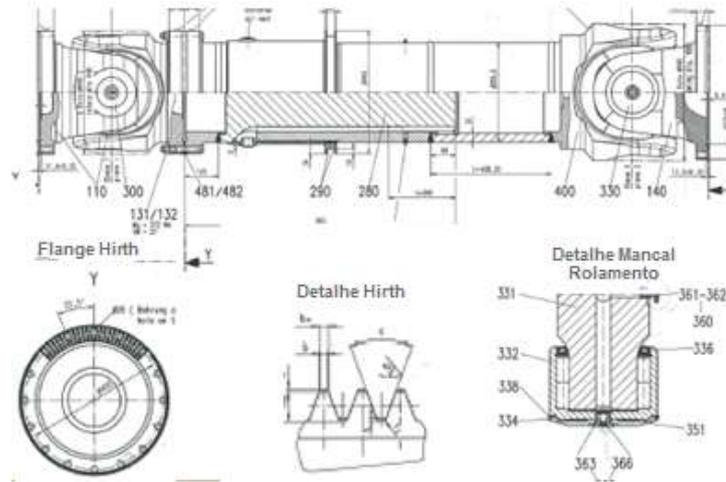
Fonte: Autor (2017)

O laminador tem disponível 27,0 Mw potência instalada para acionar as quatro cadeiras e duas Enroladeira, conforme o esquema da figura 2.1. Para cada cadeira existem dois cardans acoplados aos cilindros de trabalho totalizando 8 cardans em operação.

## 2.2 CARDANS DO LAMINADOR

Os cardans que operam no Laminador são de fabricação Alemã. O fornecedor está operando desde 2012, e os cardans são trocados em caso de falha. A figura 2.2 apresenta o cardam em operação no laminador. Que é composto de duas juntas universais, lado cadeira de laminação e lado redutor de velocidade, um tubo mecânico com compensação de comprimento (*spline*). A junta universal lado cilindro de trabalho é a HT 440, com 440 mm de diâmetro e o lado motor é a HT 480 com 480 mm de diâmetro. O acoplamento com o motor e a luva do cilindro de trabalho é realizado com um flange *hirth*. O cardam tem um sistema de compensação do CVC realizado através de um *spline* de 240mm. O máximo torque de projeto é de 406 KNm e o ângulo de trabalho é entre 3 e 6°.

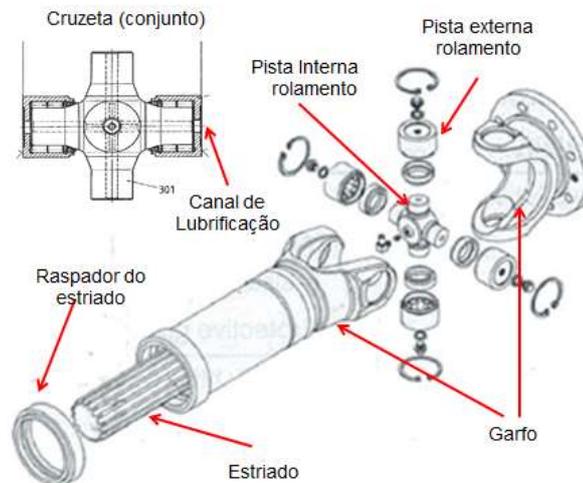
Figura 2.2: Cardam Laminador



Fonte: Voith (2016) Manual Fabricante.

Na cruzeta deste fabricante, existe 4 mancais de rolamento com dupla carreira rolamentos cilíndricos paralelos com 23 unidades cada onde a pista interna é a própria cruzeta e a pista externa é no formato de “copo”. A lubrificação original é realizada em um canal centralizado que acessa os quatro mancais simultaneamente. Atualmente a lubrificação é realizada de maneira descentralizada, mancal a mancal conforme apresenta a figura 2.3.

Figura 2.3: Vista explodida do cardam



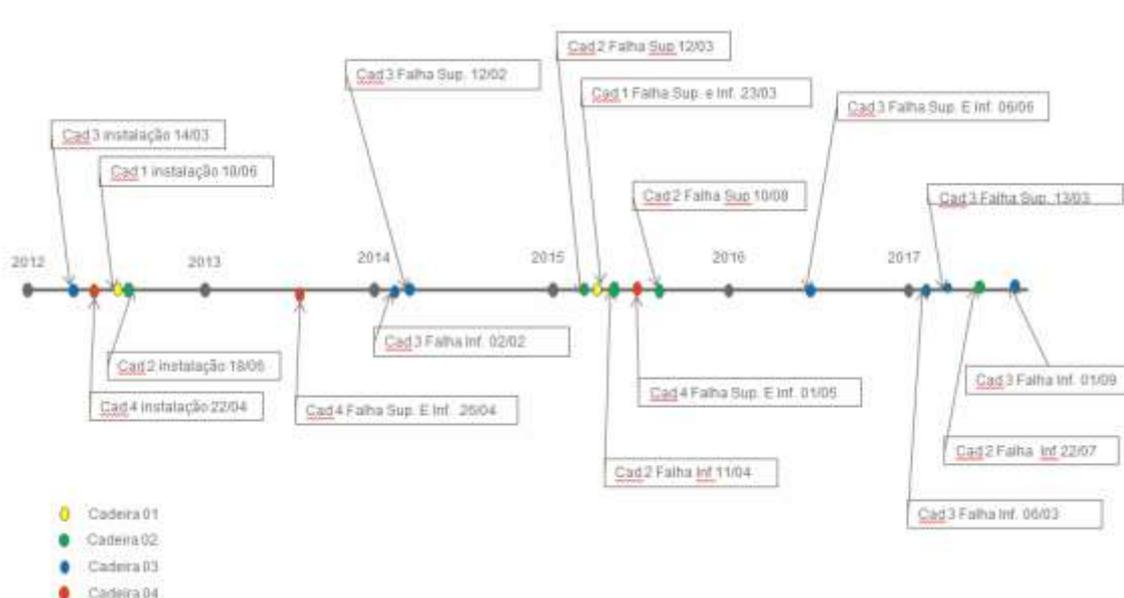
Fonte: Voith (2016) Manual Fabricante

No próximo tópico serão apresentadas as falhas dos cardans com as suas características e o time line das ocorrências.

## 2.2 FALHAS DO CARDAM

Os cardans foram instalados em 2012 nas quatro cadeiras. Em 2013 foi retirado o primeiro par de cardans, da cadeira 04 conforme apresenta a figura 2.4, para realizar manutenção preventiva. Foi observado que havia falhas nas pistas internas do rolamento da cruzeta. No ano de 2014 ocorreu a primeira falha funcional dos eixos na cadeira 03. No ano de 2015 ocorreram várias ocorrências de falha dos cardans e no ano de 2017 ocorreu uma sequencia de eventos até o presente momento.

Figura 2.4: Time Line das falhas dos cardans



Fonte: Autor (2017).

Os eixos apresentam o mesmo modo de falha. As pistas internas apresentam escamações, os elementos girantes cisalhados e a pista externa dos rolamentos fraturada, conforme apresenta a figura 2.5. Várias análises de falhas e ações foram desenvolvidas em conjunto com o fabricante do cardam, o fabricante do laminador e

centro de pesquisas do grupo e ações estão em desenvolvimento para identificar a causa raiz das falhas.

Apesar do modo de falha ser relacionado às falhas dos elementos do rolamento, as falhas dos cardans não é previstas. No laminador existe medição *on line* de vibração e inspeção por termográfica nos cardans com frequência semanal, no entanto não se observa uma tendência de evolução da energia liberada pelo desgaste dos elementos do rolamento e a sua temperatura. Somente quando há falha do rolamento é possível verificar através do sistema *on line* ou por temperatura.

Figura 2.6: Detalhe da falha dos mancais do cardam



Fonte: Autor (2017)

A estratégia desenhada para os eixos em 2012 foi de manutenção preventiva por tempo de operação. A manutenção com a troca dos elementos seria desenvolvida na filial do fornecedor no Brasil com uma frequência bi anual para cada cadeira consensado com o fornecedor. No entanto não foi possível, por dois motivos: as falhas e interferência com a preventiva. Em relação às falhas, os eixos vieram a falhar num período menor ao tempo estimado. Em relação à interferência, nas paradas de manutenção preventivas as fontes de energia são bloqueadas (elétricas, hidráulicas, lubrificação e pneumática). Para realizar a troca dos cardans necessita-se que todas as fontes de energias estejam disponíveis para realizar a

retirada e o posicionamento dos cardans. Isso gera uma interferência onde quando há troca de cardam as demais atividades de manutenção ficam impedidas de ocorrer.

Atualmente foi desenvolvida a competência de manter internamente os eixos devido ao *lead time* da manutenção no fornecedor não atender a necessidade da linha. Na oficina interna é realizada a inspeção dos eixos, quando saem do laminador, a substituição das cruzetas e elementos de vedação. Todas as informações de falhas e manutenção estão disponíveis no CMMS da empresa.

### 2.3 SINTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada a área de aplicação do estudo. Primeiramente foi apresentado tecnicamente o laminador de tiras a frio, os cardans que operam nesse laminador e uma descrição dos eventos de falha dos eixos.

No próximo capítulo será abordado o referencial teórico que serviu de base para esta pesquisa.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será explorado o referencial teórico utilizado para desenvolvimento deste estudo. O capítulo se inicia com um sucinto contraponto em o passado e o presente da manutenção e gestão de ativos na visão de autores consagrados, ressaltando as dificuldades e a necessidade de perceber as fases do ciclo de vida dos ativos. No segundo tópico deste capítulo é abordada a ISO 55.000 e a sua visão de gestão da vida útil dos ativos. A engenharia de confiabilidade fornece as ferramentas necessárias para modelar o comportamento dos ativos em relação ao seu uso. No terceiro tópico deste capítulo é abordado as principais métricas de confiabilidade relacionadas à gestão do ciclo de vida de ativos. Na sequência, no quarto tópico, é realizado um paralelo do RAM (*Reliability, Availability and Maintainability*) e LCCA (*Life Cycle Cost Analysis*). No quinto tópico é apresentado a base teórica deste estudo para o LCCA segundo o NIST *HandBook* 135 de 1995. E o capítulo é concluído trazendo a visão das estratégias de manutenção do RCMII de Moulbray.

#### 3.1 INTRODUÇÃO DO CAPÍTULO

Em 1997, John Moulbray lançou a 2ª edição do seu livro “*Reliability Centered Maintenance*” e na abertura desta obra sinaliza que naquela época nenhuma disciplina de gestão que teve tantas alterações quanto a Manutenção (MOUBRAY, 2001). Ela passou de uma função informal, com atividades realizadas pelos próprios operadores como limpeza, lubrificação e intervenção corretiva e com capacitação realizada nas próprias empresas no final da segunda grande guerra, a uma função estratégica determinante para a sobrevivência das empresas, suportada por equipes multidisciplinares compostas de pessoas altamente especializadas responsáveis pelos processos relacionados à gestão dos ativos no século XXI.

A manutenção passou a ser um item relevante no orçamento das empresas. A ABRAMAN realiza uma pesquisa da Situação da Manutenção no Brasil com frequência bianual e na divulgação de 2013 a pesquisa concluiu que o investimento

médio da manutenção nas empresas brasileiras foi de 4,69% do faturamento bruto, um incremento de 20% se comparado o investimento de 2011 (ABRAMAN, 2013).

Kardec e Nascif (2010) apresentam de uma forma clara a manutenção com um enfoque estratégico. Com esse enfoque estratégico os objetivos da manutenção precisam estar alinhados com os objetivos das empresas para assegurar a realização do resultado no tempo desejado. A manutenção ganha status de disciplina de gestão, cujo foco não é mais recuperar função dos ativos, mas sim imprimir uma visão holística da vida dos ativos e dos processos envolvidos nesta gestão. Desta maneira os principais direcionadores da manutenção são a disponibilidade e custo considerando um risco conhecido.

Com a visão dos processos empresariais que deve se relacionar entre si para gerar valor para as empresas, vários fatores internos e externos influenciam o resultado das empresas. Porém em tempos de crise econômica, Viola (2015) elucida que grau de dificuldade em otimizar a disponibilidade e custo dos ativos considerando os objetivos estratégicos do negócio aumenta consideravelmente. Esses fatores exercem pressão sobre a gestão de ativos limitando recursos e exigindo uma assertividade na aplicação desse recurso onde realmente alavanque os objetivos da empresa. A Figura 3.1 apresenta o relacionamento da manutenção com alguns desses fatores.

Figura 3.1: Fatores impactando Manutenção em tempo de crise



Fonte: Adaptado de Viola (2015).

Esse contexto conturbado imprime nas empresas uma necessidade de adquirir uma consciência holística dos seus processos e ter a percepção se estão extraindo o maior valor dos seus ativos. A série da ISO 55000 traz essa visão moderna de administração da manutenção, focando na gestão dos ativos. Essa visão da manutenção preza pelo equilíbrio entre custo do ativo e sua performance com uma perspectiva de ciclo de vida e os riscos do negócio, imprimindo uma flexibilidade na estrutura de manutenção frente as alterações do mercado (Comissão de Estudo Especial de Gestão de Ativos, ABNT/CEE-251).

### 3.2 GESTÃO DE ATIVOS PELA ISO 55000

A ISO 55000 é uma referência para as empresas questionarem como realizam a gestão de seus ativos. Essa norma internacional nasceu em 2004 de um esforço coordenado por uma instituição Britânica sem fins lucrativos, o *Institute of Asset Management* (IAM) e a *British Standard Institute* (BSI), contando com 50 membros de 10 setores industriais com o objetivo de redigir uma referência com requisitos claros para realizar a gestão de ativos. Essa referência foi revisada e em 2008 foi lançada no formato de norma britânica denominada PAS 55 1 e 2. Essa

norma teve grande aceitação na Inglaterra e outros países e no ano de 2010 foi entregue ao *International Standard Organization* para criar uma norma internacional. Três anos depois foi lançada em Londres a família da ISO 55000, 55001 e 55002 em janeiro de 2014. No Brasil as ABNT ISO 55000, 55001 e 55002 foram publicadas em março de 2014.

A ABNT ISO 55000 *Gestão de Ativos: Visão e Princípios Gerais*, tem o objetivo de apresentar a estrutura de gestão de ativos, que é composta de 7 elementos básicos e um conjunto de 27 requisitos. A ABNT ISO 55001 *Gestão de Ativos: Requisitos* define um conjunto de requisitos que permitem garantir o bom desempenho da gestão dos ativos de uma organização, respondendo às necessidades e expectativas das partes interessadas e assegurando a criação e a manutenção de valor e a ABNT ISO 55002 *Gestão de Ativos: Aplicação* com um que traz um guia de implantação.

Para esta norma a gestão de ativos deve estar dentro da gestão da organização, conforme apresenta a Figura 3.2. Pode se definir Gestão de Ativos como um conjunto coordenado de atividades que uma organização utiliza para garantir que seus ativos entreguem resultados e objetivos de forma sustentável (ABNT ISO 55000, 2014). Os resultados da gestão de ativos só vão ser entregues quando o planejamento da gestão de ativos for alinhado com os objetivos organizacionais e considerando o contexto operacional. A sustentabilidade por sua vez vem da busca pelo equilíbrio necessário entre custo, risco e desempenho organizacional.

Um sistema de gestão de ativos, por sua vez, pode ser definido como um conjunto de elementos (a política, a estratégia, os objetivos, os planos, os processos e as pessoas) que estão estabelecidos e inter-relacionados de forma a maximizar o valor entregue pelos ativos de acordo com o plano estratégico de negócios da companhia (MONTEIRO, 2017). E por último, o portfólio de gestão de ativos é composto de todos os ativos abrangidos pelo Sistema de Gestão de Ativos.

Figura 3.2: Contexto da Gestão de Ativos



Fonte: Monteiro (2017).

Para definir ativo a ISO 55000 o descreve como sendo algo que pode ter valor ou tem potencial de trazer valor para uma organização. Os ativos podem ser físicos, financeiros, humanos, informacionais e intangíveis. Esse conceito abrange as máquinas e equipamentos, o capital investido, a experiência e liderança, as condições operacionais e know-how de produto, e a moral e a marca da organização.

Todo o ativo tem uma vida útil. Essa vida é definida como o período compreendido entre a sua concepção até a sua descontinuidade (ABNT ISO 55000, 2014). A sua descontinuidade é uma decisão tomada com base em dois direcionadores, a vida tecnológica e a vida econômica. A vida tecnológica está relacionada com a obsolescência onde um equipamento ou sistema pode tornar-se caro ou impraticável para manter, ou não ter capacidade de atender à demanda atual, mesmo que ainda seja teoricamente reparável ou operável. A vida econômica está relacionada com o custo de operação onde um equipamento ou sistema pode ainda ser funcional, mas tornar-se muito caro para continuar em uso. Essas definições são importantes para conceituar o ciclo de vida do ativo que compreendem todas as etapas envolvidas na sua gestão conforme apresenta a Figura 3.3. Essas etapas podem variar de organização para organização.

Figura 3.3: Ciclo de vida de um ativo segundo ISO 55000



Fonte: Adaptado de Viola (2015)

A gestão do ciclo de vida é fortemente dependente das informações acerca de todas as fases do ativo. Nesse contexto a Engenharia de Confiabilidade fornece as ferramentas necessárias para a empresa tomar as decisões necessárias para atingir a excelência operacional com uma perspectiva pró-ativa.

### 3.3 FERRAMENTAS DE CONFIABILIDADE

A importância da engenharia de confiabilidade para as organizações vem crescendo e a sua utilização extrapolou os complexos controles de variabilidades de processos sendo a base para um modelo de gestão que integra e envolve todos os processos de uma organização visando maximizar o valor extraído dos ativos.

Para implementar a gestão de ativos as empresas devem ter bem consolidadas algumas características. A primeira delas é a confiabilidade. Para NBR 5462 e a SAE ISO 1011 a confiabilidade é definida como “capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”. A confiabilidade é uma característica inerente à função de um ativo ao invés da sua capacidade. Essa característica é expressa por alguns índices de engenharia onde leva em consideração que cada ativo falha depois de um período randômico em operação (GNEDENKO et al, 1999). Esse período é chamado de Tempo até Falha (*time to failure* – TTF). Realizando observações em relação ao

comportamento de um ativo em relação ao seu TTF, é possível representá-lo matematicamente através da Função Acumulada de Falha ( $F(t)$ ), conforme equação 1, onde o TTF é representado pelo símbolo  $\xi$ . Com esta representação, para variáveis contínuas, a função densidade de falha (*Probability Density Function* PDF- $f(t)$ ) pode ser representada pela equação 2. A representação matemática da confiabilidade ( $R(t)$ ) é dada pela equação 3.

$$F(t) = P\{\varepsilon \leq t\} \quad (1)$$

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) \quad (2)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = P\{\varepsilon > t\} \quad (3)$$

A segunda característica é a manutenibilidade. Para a NBR 5462 é a “capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos”. Essa característica serve para avaliar o desempenho das ações de manutenção da função do ativo. A representação matemática da Manutenibilidade é semelhante a da confiabilidade, porém os tempos considerados nesta representação são os tempos para o reparo (*Time to Repair* – TTR) representado pelo símbolo  $\rho$ , conforme apresenta a equação 4.

$$M(t) = 1 - F(t) = P\{\rho > t\} \quad (4)$$

A terceira característica é a Disponibilidade que pela NBR 5462 é a “capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados”. Essa característica serve para avaliar a disposição de um ativo a desempenhar a sua função requerida em função da média dos tempos entre falhas (MTBF – *Medium Time Between Failure*) e da média dos tempos para reparo (MTTR - *Medium Time to Repair*) conforme apresenta a equação 5.

$$A(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (5)$$

A consolidação dessas características na organização auxilia a desenvolver a infraestrutura de gestão focada na percepção de valor agregado pelos seus ativos conforme orienta a ISO 55000. Para avaliar essa cadeia de valor a engenharia de confiabilidade oferece um arsenal de ferramentas e metodologias.

Essas ferramentas podem ser utilizadas em todo o ciclo de vida do ativo e nos ajuda a entender o impacto de cada ativo na construção de valor de um processo ou de uma organização como um todo.

### 3.4 RAM E LCCA

O objetivo da análise de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade (RAM – *Reliability, Availability e Maintainability*) é avaliar o desempenho de um equipamento ou sistema através da definição e melhoria dos equipamentos críticos, para que o sistema atinja a disponibilidade necessária (Calixto, 2005).

Como etapas de realização de uma análise RAM, é importante citar:

- I) Levantamento de dados referentes a dados de falha e de reparos do sistema em análise;
- II) Representação da confiabilidade no diagrama de blocos (RDB);
- III) Modelamento do comportamento das características de confiabilidade de cada bloco (LDA).

É realizada uma simulação do sistema para verificar virtualmente a sua disponibilidade a partir dos mecanismos de falha e de reparo carregados. A partir desta simulação é possível demonstrar performance de cada equipamento que opera neste sistema, quais são equipamentos críticos sob o ponto de vista da disponibilidade do sistema em análise, e o que pode ser feito para levar o sistema a disponibilidade desejada. Essa análise serve como instrumento de tomada de decisão para o uso de ferramentas quantitativas e qualitativas da confiabilidade.

O *Departamento of Energy* (DOE) realiza este tipo de análise juntamente com as informações de custos relacionados com o ciclo de vida do ativo. A análise de custo de ciclo de vida (LCCA) serve para comunicar as expectativas e requisitos dos projetos, programas e ativos para os *stake holders* internos (governo) e externos (investidores) (DOE, 2014). O DOE criou um metodologia para realizar análises de ciclo de vida, com *gates* de decisão para acompanhamento dos projetos, programas e ativos e está descrito no *Life Cycle Cost Hand Book* (DOE, 2014). Esse *hand book* defini LCCA como “a soma de todos os custos diretos, indiretos, recorrentes, não recorrentes e outros custos relacionados no planejamento, projeto, desenvolvimento, aquisição, produção, operações e manutenção, suporte, recapitalização e disposição final do ativo ao longo da vida útil requerida para todos os projetos, programas e ativos independentemente da fonte de financiamento”.

Analisar os ativos de forma holística sempre foi um desafio para as empresas. A LCCA é uma ferramenta de apoio à decisão que auxilia as organizações a maximizar a utilização de um ativo ao menor custo, sem deixar de atender aos requisitos funcionais. Para um estudo de LCCA, o DOE (2014) lembra que é especialmente importante definir claramente os limites do LCCA, não apenas em relação à estimativa específica em desenvolvimento, mas também sua associação a outros projetos ou programas afetados.

Os estudos LCCA podem se desdobrar em grupos:

- 1 - Método para previsão de investimentos (CAPEX) em melhorias em ativos;
- 2 - O momento ótimo de substituição de um ativo (Minimizar o LCC);
- 3 - A decisão entre reforma ou substituição de ativos;
- 4 – Comparação entre estratégias de manutenção
- 5 - Depreciação, seus benefícios legais e decisões em manutenção;

### 3.5 BASE TEÓRICA LCC

O LCC é uma metodologia de avaliação econômica onde os custos relacionados à operação, manutenção e disposição de um ativo são considerados para tomar decisões acerca do seu desempenho (NIST *HandBook* 135, 1995). Para isso a metodologia LCC é fundamentada em várias disciplinas, entre elas destacam-se a engenharia econômica e a engenharia de confiabilidade.

Farias e Fernandes (2014) apresenta a teoria para o LCC de maneira simplificada apresentada na equação 6.

$$LCC = Ca(t) + Cm(t) + Cd(t) \quad (6)$$

Onde:

$Ca(t)$ : Custo de aquisição

$Cm(t)$ : Custo de manutenção

$Cd(t)$ : Custo de disposição

O custo de aquisição é o valor aplicado para implementar o sistema, considerando o valor de aquisição do ativo, valor de comissionamento e do capital humano inclusive. O custo de aquisição é apresentado na equação 7.

$$Ca(t) = Ci(t) + Cc(t) + Ch(t) \quad (7)$$

Onde:

$Ci(t)$ : custo de aquisição do ativo

$Cc(t)$ : Custo de comissionamento

$Ch(t)$ : Custo de capital humano

O custo de manutenção é a soma dos custos envolvidos na manutenção preventiva e corretiva de todos os componentes e todos os serviços realizados para manter a função do sistema durante a sua vida. E o custo de manutenção é apresentado na equação 8.

$$Cm(t) = Cmp(t) + Cmc(t) \quad (8)$$

Onde:

$Cmp(t)$ : Custo de manutenção preventiva

$Cmc(t)$ : Custo de manutenção corretiva

O custo de disposição, por sua vez, é representado pelo custo de aquisição de todos os ativos (i) dividido pela sua vida esperada, conforme apresenta a equação 9.

$$Cd(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \left( \frac{Cai(t)}{Life_i} \right) \quad (9)$$

Onde:

$Cd(t)$ : Custo de disposição

$Cai(t)$ : Custo de aquisição do ativo i

$Life_i$ : Vida esperada pelo ativo

Todos os custos são apropriados em períodos de tempo (t). Para realizar a análise de LCC os custos devem ser corrigidos a partir de uma taxa de desconto para ajuste do fluxo de caixa (d). Os autores Rahman e Vanier (2004) afirmam os estudos de LCC comumente utilizam o método do Valor Presente (PV) para considerar o valor monetário dos custos no tempo. A equação 10 representa o valor de PV, e a equação 11 o Custo Anualmente Uniformizado (A).

$$PV = FV \left[ \frac{1}{(1+d)^t} \right] \quad (10)$$

$$A = PV \left\{ \frac{[d(1+d)^t]}{[(1+d)^t + 1]} \right\} \quad (11)$$

Onde:

FV: valor futuro no tempo;

t: Período da análise

d: Taxa de desconto do fluxo de caixa.

Com esses valores de custos realizados, ajustados a valor presente e com os modelos de confiabilidade dos ativos é possível realizar a análise de ciclo de vida e orientar a decisão mais acertada para o ativo.

### 3.6 ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

A manutenção tem alterado o seu escopo ao longo das últimas décadas, sempre com o foco na otimização dos custos de operação. Smith e Hinchcliffe (2004) trazem na abertura do seu livro uma interessante reflexão da alteração do foco e do *mind set* da gestão da manutenção. Essa alteração de *mind set* converge para a visão da ISO 55.000 onde a gestão de ativos deve direcionar os recursos com uma perspectiva não somente considerando os custos da manutenção corretiva e preventiva, mas também considerando o impacto na lucratividade da empresa.

Para isso, deve-se procurar o equilíbrio entre a manutenção corretiva e preventiva. Manutenção corretiva é realizada de maneira não planejada, não esperada (SMITH e HINCKCLIFFE, 2004). As atividades de manutenção são basicamente atividades corretivas e restauração da função perdida. A manutenção preventiva é realizada através de inspeções e ou atividades de manutenção que são planejadas e programadas (SMITH e HINCKCLIFFE, 2004). Essa manutenção planejada é realizada em períodos de tempos específicos com o intuito de preservar as funções do ativo.

Não basta fazer “fazer mais com menos”, esse equilíbrio busca “fazer a atividade certa na hora certa” (MOUBRAY, 2001). Na publicação de 1997, Moubray revigorou o algoritmo no RCM II onde, depois de realizar uma análise modos e efeitos de falha, é possível realizar, através de questionamentos, determinar a melhor estratégia de manutenção baseada numa gestão de risco. Para isso o algoritmo sugere quatro estratégias de manutenção:

- a. Manutenção baseada em condição;
- b. Reparo programado;

- c. Troca programada;
- d. Rodar até falhar.

Manutenção baseada por condição refere-se às atividades relacionadas ao monitoramento das funções dos ativos. O enfoque deste tipo de estratégia é monitorar os primeiros estágios da falha, de maneira a programar o reparo no melhor momento. Esta estratégia de manutenção deve levar em consideração a viabilidade técnica, analisando a disponibilidade do ativo e acessibilidade de coleta das informações, e econômica, analisando os custos de acompanhar a condição em frequência determinada e os custos de substituição do ativo.

O reparo programado refere-se às atividades com tempo determinado para realizar a recuperação da função do ativo. Recomenda-se esse tipo de estratégia para ativos onde o tempo até falha é conhecido, com pouca variabilidade e o monitoramento da condição não seja viável técnica ou economicamente. O foco desta estratégia é realizar manutenção nos subconjuntos e componentes, sem necessidade de remover o conjunto para recuperar a sua função.

A troca programada refere-se às atividades de substituição de componentes por tempo determinado. Esse tipo de estratégia é recomendado para ativos onde o tempo até falha é conhecido, com pouca variabilidade e a atividade de manutenção por condição não seja viável técnica ou economicamente. O foco desta estratégia é realizar a substituição de conjuntos de ativos sobressalentes que são trocados pelos em operação para realizar o reparo em local apropriado.

E por último, a estratégia de manutenção rodar até falhar refere-se a não utilizar nenhuma das estratégias acima descritas para determinados ativos. Esta estratégia é recomendada para ativos onde não há impacto significativo na disponibilidade e custo operacional em caso de perda de sua função.

Para otimizar a utilização dos ativos envolvidos nos processos, Smith e Hinchcliffe (2004) recomendam que todas as estratégias acima seja utilizadas de maneira racional na construção da estratégia de gestão dos ativos adequada. Essa estratégia deve ser questionada periodicamente em função do contexto operacional para direcionar os recursos da empresa de maneira eficiente e eficaz. Para

incrementar a eficiência e a eficácia da estratégia gestão dos ativos deve-se considerar a perspectiva do seu custo de vida para tomar as melhores decisões.

### 3.7 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado a referencial teórico que embasa esta pesquisa. Foi realizado um paralelo das ferramentas de confiabilidade com a ISO 55.000 e a perspectiva desta norma com relação ao ciclo de vida dos ativos.

Logo após foi feita uma abordagem nas ferramentas de confiabilidade e a sua relevância na gestão de ativos. Na sequência foi abordada a análise de Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade (RAM) onde é realizado um modelamento das características em vários níveis de análise (um equipamento, sistemas, e processos) através da representação em blocos de confiabilidade.

Com essa configuração é possível realizar várias análises e simulações. A abordagem as RAM é interessante para a análise do LCC dos ativos, pois é possível vincular as informações de confiabilidade com o fluxo econômico do ativo através da sua vida. Na sequência foi realizada uma abordagem teórica do LCC apresentando as principais equações do LCC.

O Capítulo é concluído com uma visão das diferentes estratégias de manutenção que o RCM traz, e como ela é acrescentada com a metodologia de LCC.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será desenvolvido o estudo de caso da análise de LCC para comparar estratégias de manutenção utilizando a metodologia LCC.

### 4.1 FALHAS DOS CARDANS

Os cardans do laminador estão operando desde 2012. Nesse período ocorreram eventos de falhas cujos dados estão armazenados no CMMS.

O quadro 4.1 apresenta o histórico de eventos. A coluna POS, que refere-se a posição em que o cardam falhou, p.ex. ST1Sup o cardans estava na cadeira 01 posição superior, a data da falha, o TTF (tempo entre falhas) e o TTR (Tempo para reparo).

Quadro 4.1: Histórico de falhas dos cardans do LAM

POS	Data	TTF (dias)	TTR (Horas)
ST1Sup	20/03/2015	1005	12
ST1Inf	20/03/2015	1005	12
ST2Sup	12/03/2015	1010	8
ST2Sup	10/08/2015	151	6
ST2Inf	11/04/2015	1040	8
ST2Inf	22/07/2017	833	6
ST3Sup	12/02/2014	700	12
ST3Sup	14/05/2016	822	6
ST3Sup	06/06/2016	845	10
ST3Sup	13/03/2017	280	6
ST3Inf	02/02/2014	690	8
ST3Inf	18/02/2014	706	8
ST3Inf	06/06/2016	839	10
ST3Inf	06/03/2017	273	6
ST3Inf	01/09/2017	179	4
ST4Sup	24/06/2013	428	12
ST4Sup	01/05/2015	676	6
ST4Sup	09/06/2015	715	12
ST4Inf	24/06/2013	428	12
ST4Inf	09/06/2015	715	10

Fonte: Autor (2017).

Modelando os dados de falha, com o auxílio do software *Weibull ++* da Reliasoft, é possível perceber o comportamento da falha conforme apresenta a quadro 4.2. Neste modelo é possível observar que a função que melhor representou a amostra foi a *weibull* de dois parâmetros, onde o *Beta* de 2,68 caracteriza que a falha é por desgaste e o *Eta* de 749,36.

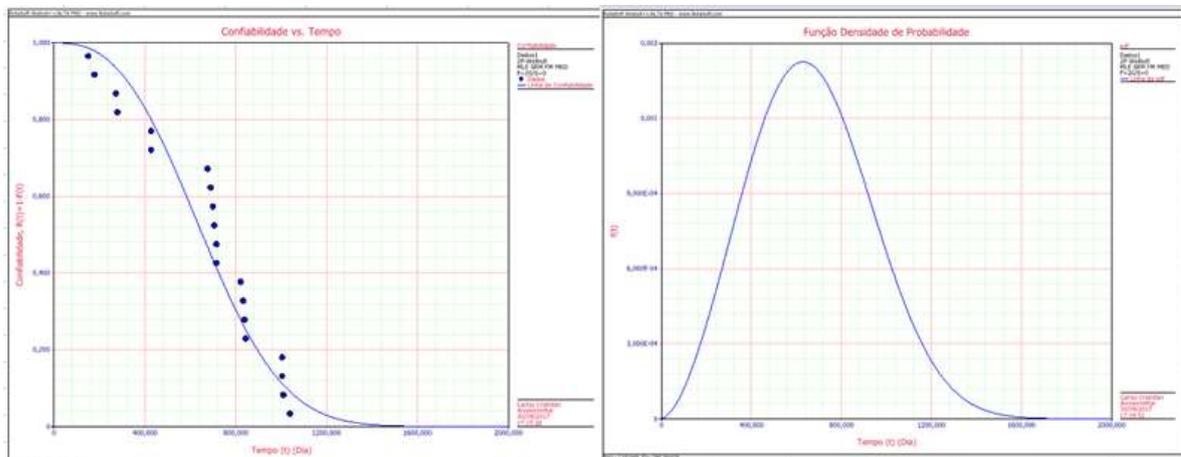
Quadro 4.2: Modelo dados de falha

Relatório de Resultados Simplificado	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
<b>Parâmetros</b>	
Distribuição:	Weibull-2P
Análises:	MLE
Método do IC:	FM
Rankeando:	MED
Beta	2,681649
Eta (Dia)	749,360028
Valor da LK	-140,913631

Fonte: Autor (2017)

A figura 4.1 apresentam os gráficos de confiabilidade x tempo apresenta o decaimento da confiabilidade onde a MTBF (vida média) encontrado foi de 666 dias para o modelo de falhas de todas as cadeiras juntas. O gráfico apresenta um curva característica parâmetro de forma maior que 1.

Figura 4.1: Gráficos dos dados de falhas dos cardans



Fonte: Autor (2017)

Modelando dados de manutenibilidade apresenta um decaimento do tempo de troca dos cardans, conforme apresenta a Tabela 4.1 no histórico de falhas. O melhor modelo que representou a amostra foi o weibull dois parâmetros, onde o *Beta* de 3,74 e o *Eta* de 9,57, conforme apresenta a quadro 4.3. O parâmetro de forma maior que um corrobora a redução do tempo de troca, o que pode ser observado na pratica com o aprendizado da equipe de manutenção e a utilização de dispositivos para realizar a troca dos cardans.

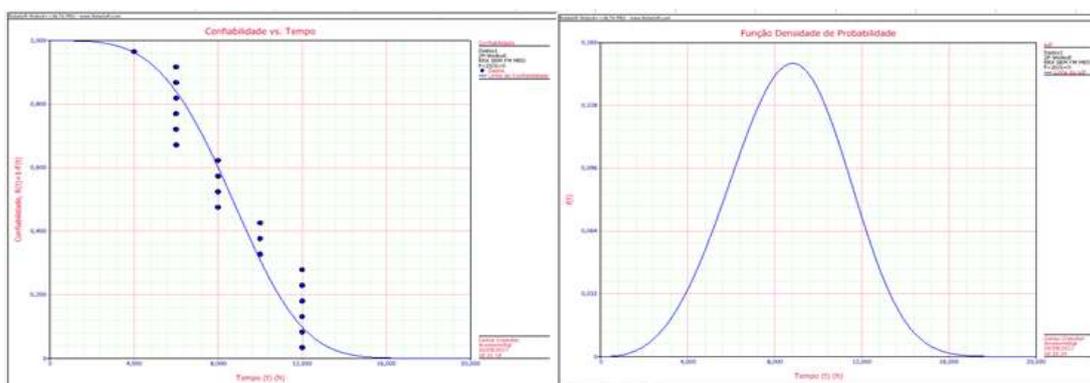
Quadro 4.3: Modelo dos dados de manutenibilidade

Relatório de Resultados Simplificado	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
<b>Parâmetros</b>	
Distribuição:	Weibull-2P
Análises:	RRX
Método do IC:	FM
Ranqueando:	MED
Beta	3,741084
Eta (h)	9,577392
Valor da LK	-47,390437

Fonte: Autor (2017)

A figura 4.2 apresentam os gráficos de confiabilidade x tempo apresenta o decaimento da confiabilidade onde a MTTF (vida média) encontrado foi de 8,64 horas para o modelo de horas de manutenção dos cardans. O gráfico apresenta um curva característica parâmetro de forma maior que 1.

Figura 4.2: Curva confiabilidade x tempo e a PDF da manutenibilidade



Fonte: Autor (2017)

## 4.2 LEVANTAMENTO DOS CUSTOS

Os custos relativos ao ciclo de vida do cardam foram considerados o custo de investimento, custo de manutenção e o custo de disposição foram considerados irrelevantes, pois o cardam, depois de concluída a sua vida econômica será descartado como sucata. Neste trabalho os custos não são reais, foram arbitrados custos respeitando a ordem de grandeza para não impactar na análise.

Para o custo de investimento considerou-se o custo de aquisição dos cardans. Nesse custo não foi observado custos relativos ao comissionamento dos cardans e formação de capital humano. Em 2012 foi adquirido 10 cardans.

O cardam é um item reparável, dependendo do grau da falha. No caso de falhas severas onde o garfo da cruzeta é danificado, o cardam não permite ser reparado. Na maior parte dos casos é possível realizar o reparo do cardam. Nestes eventos, é realizada uma peritagem nos mancais dos rolamentos nos garfos do cardam, são substituídas as duas cruzetas (conjuntos), lado cadeira e lado redutor, e substituído as vedações do estriado e dos mancais. A figura 2.3 apresenta um avista explodida do cardam detalhando os itens de manutenção.

Com esse contexto, o custo da manutenção preventiva são os custos de reparar o cardam na oficina e do recurso para substituir o cardam nas manutenções preventivas. O Custo da manutenção corretiva é representado pelos os custos de reparo do cardam na oficina e pelo impacto da falha no laminador. A quadro 4.4 apresenta os custos relacionados a manutenção dos cardans.

Quadro 4.4: Custos de manutenção

Cardam novo (R\$)	R\$ 240.000,00
Manutenção do cardam oficina (R\$)	R\$ 160.000,00
Impacto da falha (R\$/h)	R\$ 60.000,00

Fonte: Autor (2017)

Com esses dados de custos é possível estruturar a análise de LCC dos cardans do laminador.

### 4.3 ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO

Segundo o diagrama de Moulbray (2001), a primeira estratégia de manutenção a ser analisada é a viabilidade de adotar uma atividade de monitoramento de condição. Atualmente não é aplicável nenhuma manutenção por condição nos eixos do laminador em função da própria característica construtiva dos rolamentos dos eixos que apresentarem rotação de 3 a 6º fazendo com que os elementos girantes tenham uma velocidade de rotação muito pequena. Essa condição não permite perceber alterações na energia rotacional (perceptível pela vibração) e pelo ganho de temperatura a não ser que haja uma falha de algum elemento girante ou pista externa. Desta maneira, o modo de falha apresentado é caracterizado por falha da superfície das pistas e elementos do rolamento, apresentado características de *pitting* e *brineling*.

A segunda estratégia do diagrama de Moulbray (2001) está relacionada à viabilidade de adotar uma atividade de reparo programado, e a terceira de substituição programada. A rotina de manutenção preventiva do laminador é de uma parada mensal para manutenção. Nessa preventiva é realizado todas as atividades de reparo e inspeção e requer que todas as fontes de energias sejam bloqueadas. Essa condição atual limita adotar estratégia de reparo programado ou substituição programa, pois para substituir os cardans é necessário manter a energia elétrica e hidráulica no laminador ativas. Desta maneira a estratégia atual é *run to fail*.

No próximo subtítulo será possível perceber os custos envolvidos na estratégia atual e compará-la com estratégias alternativas.

### 4.4 COMPARAÇÃO ESTRATÉGIAS

Com os modelos das falhas e da manutenibilidade foi possível realizar simulação utilizando a ferramenta BlockSim da Reliasoft. O quadro 4.5 apresenta o resultado da simulação de 10 anos de operação dos eixos na atual estratégia de manutenção.

Quadro 4.5: Simulação Run to Fail

<b>Visão Geral do Sistema</b>	
<b>Geral</b>	
Disponibilidade Média (Todos Eventos):	0,997993
Desvio Padrão (Disponibilidade Média):	0,000231
Disponibilidade Média (sem MP, OC e Inspeção):	0,997993
Disponibilidade Pontual (Todos Eventos) em 87600:	0,998
Confiabilidade(87600):	0
Quantidade Esperada de Falhas:	19,689
Desvio Padrão (Quantidade de Falhas):	1,878779
TMAPF (h):	9758,339017
MTBF (Tempo Total) (h):	4449,184824
MTBF (Tempo de Funcionamento) (h):	4440,257279
MTBE (Tempo Total) (h):	4449,184824
MTBE (Tempo de Funcionamento) (h):	4440,257279
<b>Tempo Disponível/Indisponível do Sistema</b>	
Tempo Disponível (h):	87424,22557
Tempo Indisponível da MC (h):	175,774427
Tempo Indisponível da Inspeção (h):	0
Tempo Indisponível MP (h):	0
Tempo Indisponível da OC (h):	0
Downtime de Espera (h):	0
Tempo Indisponível Total (h):	175,774427
<b>Eventos com Parada do Sistema</b>	
Número de Falhas:	19,689
Quantidade de MCs:	19,689
Quantidade de Inspeções:	0
Quantidade de MPs:	0
Quantidade de OCs:	0
Quantidade de Eventos OFF por Gatilho:	0
Total de Eventos:	19,689
<b>Custos</b>	
Custo Total:	R\$ 19.237.591,04
Custos de Oportunidade (MC):	R\$ 0,00
Custos da OnCondition (Total):	R\$ 0,00

Fonte: Autor (2017).

Para esta simulação a disponibilidade do laminador foi pouco impactada pela falha dos cardans, apresentado um percentual de 99,79% somando 7,35 dias de indisponibilidade decorrentes de falhas no cardam. O MTBF simulado ficou em 186 dias o que representa 19,7 falhas no período de análise . Considerando os valores de manutenção, o custo desta estratégia simulada para 10 anos é o acumulado de R\$ 19.237.591,04.

Com os mesmos dados de falha e de manutenibilidade, foi simulado realizar substituições programadas com 3 períodos, conforme apresenta a quadro 4.6.

Quadro 4.6: Simulação estratégias de manutenção cardans

<b>Visão Geral do Sistema</b>			
<b>Período</b>	<b>2 anos</b>	<b>1 ano</b>	<b>6 meses</b>
<b>Geral</b>			
Disponibilidade Média (Todos Eventos):	0,997855	0,99755	0,996903
Desvio Padrão (Disponibilidade Média):	0,000238	0,000614	0,001054
Disponibilidade Média (sem MP, OC e Inspeção):	0,998591	0,999544	0,999861
Disponibilidade Pontual (Todos Eventos) em 87600:	0,997	0,997	1
Confiabilidade(87600):	0	0,004	0,193
Quantidade Esperada de Falhas:	13,934	4,85	1,562
Desvio Padrão (Quantidade de Falhas):	2,834021	2,135898	1,210629
TMAPF (h):	10125,43497	19509,00502	54826,00764
MTBF (Tempo Total) (h):	6286,780537	18061,85567	56081,94622
MTBF (Tempo de Funcionamento) (h):	6273,292892	18017,61213	55908,25721
MTBE (Tempo Total) (h):	3981,456231	3283,604468	2580,113101
MTBE (Tempo de Funcionamento) (h):	3972,914424	3275,561093	2572,122342
<b>Tempo Disponível/Indisponível do Sistema</b>	0	0	0
Tempo Disponível (h):	87412,06315	87385,41885	87328,69776
Tempo Indisponível da MC (h):	123,392846	39,969963	12,182238
Tempo Indisponível da Inspeção (h):	0	0	0
Tempo Indisponível MP (h):	64,544	174,611188	259,12
Tempo Indisponível da OC (h):	0	0	0
Downtime de Espera (h):	0	0	0
Tempo Indisponível Total (h):	187,936846	214,581151	271,302238
<b>Eventos com Parada do Sistema</b>	0	0	0
Número de Falhas:	13,934	4,85	1,562
Quantidade de MCs:	13,934	4,85	1,562
Quantidade de Inspeções:	0	0	0
Quantidade de MPs:	8,068	21,828	32,39
Quantidade de OCs:	0	0	0
Quantidade de Eventos OFF por Gatilho:	0	0	0
Total de Eventos:	22,002	26,678	33,952
<b>Custos</b>	0	0	0
Custo Total:	R\$ 15.004.853,52	R\$ 9.973.417,47	R\$ 13.973.692,17
Custos de Oportunidade (MC):	0	0	0
Custos da OnCondition (Total):	0	0	0

Fonte: Autor (2017).

Nessa simulação é possível perceber que a disponibilidade do laminador é impactada com a redução do período de substituição apresentando valor de 99,78% @ 2 anos, de 99,75% @ 1 ano e 99,69% @ 6 meses. Isso se deve ao fato do número de eventos de manutenção aumentar para os períodos, 22 eventos @ 2 anos, 26,7 eventos @ 1 ano e 33,9 eventos @ 6 meses.

Para essa simulação o MTBF teve um incremento com a redução do período, apresentando o resultado de 262 dias para 2 anos, 752 dias para 1 ano e 2336 dias para 6 meses, refletindo no número de falhas esperadas de 13,9 para 2 anos, 4,8

para 1 ano e 1,5 para 6 meses. Em contra partida o número de substituições planejadas apresentou um aumento significativo, para o período de 2 anos são projetadas 8 substituições, para 1 ano 21,8 substituições e para 6 meses 32,4 substituições.

Observando o custo total relativo a cada período, é possível perceber que, com o período de 2 anos de substituição, o custo acumulado de corretiva e preventiva é R\$ 15.004.853,52, apresentando uma redução dos custos projetados para a estratégia atual de 22% (R\$ 4.232.737,52). Para o período de 1 ano o custo acumulado foi de R\$9.973.417,47, apresentando uma redução dos custos de 48% (R\$ 9.264.173,57). E por último, o período de 6 meses de substituição programada apresentou os custos acumulados de R\$ 13.973.692,17 o que representa uma redução de 27% dos custos (R\$ 5.263.898,87) de manutenção dos cardans.

#### 4.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo apresentou a aplicação da ferramenta de LCC para comparar estratégias de manutenção. Para isso, apresentaram-se os dados e modelos das falhas e dados de manutenibilidade dos cardans que estão em operação desde 2012. Logo após apresentou-se os custos de manutenção dos cardans e a estratégia atual, bem como as interferências para adoção de estratégias de caráter preventiva. Por último foi realizado simulação de três períodos de substituição programada e os impactos relacionados à disponibilidade do Laminador, MTBF, número de eventos de manutenção e custo.

A estratégia de manutenção atual é substituição por falha, *run to fail* segundo Moubray (2001). Essa estratégia é adotada em função da dificuldade encontrada para realizar a troca dos cardans em preventiva normal. Para realizar a substituição dos cardans necessita-se de que as fontes de energias estejam desbloqueadas na cadeira de laminação que está sofrendo a troca e essa condição limita a realização das demais atividades de manutenção do laminador.

Simulando esta condição para uma vida de 10 anos dos cardans, é possível projetar 19,68 falhas, MTBF de 6 meses para o período o que implica num custo de

R\$ 19.237.591,04. O quadro 4.7 apresenta um comparativo entre as estratégias abordadas no estudo.

Quadro 4.7: Comparativo entre as estratégias de manutenção

	Run to Fail	2 Anos	1 Ano	6 Meses
MTBF	185,382701	261,949189	752,5773196	2336,747759
	-	41%	306%	1160%
Número de falhas	19,689	13,934	4,85	1,562
	-	29%	75%	92%
Custo total	R\$ 19.237.591,04	R\$ 15.004.853,52	R\$ 9.973.417,47	R\$ 13.973.692,17
	-	22%	48%	27%

Fonte: Autor (2017)

No comparativo entre as estratégias percebe-se um incremento significativo no MTBF de 41% para 2 anos de período de troca, 306% para 1 ano e 1160% para 6 meses. No número de falhas a simulação apresentou uma redução em comparação a estratégia atual de 29% para 2 anos, 75% para 1 ano e 92% para 6 meses. Já em relação ao custo, há redução em todos os períodos, onde em 2 anos uma redução de 22%, 1 ano 48% e 6 meses 27%. Neste critério é possível perceber um ponto de inflexão no período 1 ano. Isso é devido ao custo entre a manutenção corretiva, preventiva e confiabilidade apontarem para o custo otimizado por volta de um ano.

## 5 CONCLUSÃO

Este capítulo sintetiza as considerações relevantes do desenvolvimento deste trabalho, apresenta as conclusões dos objetivos almejados e recomendações para trabalhos futuros.

As empresas necessitam dispor de ferramentas que suportem a análise e decisão de estratégias relacionadas aos ativos. As ferramentas de confiabilidade oferecem um meio para manipular as informações de uso de ativos, trazendo ao entendimento o comportamento dos ativos. Esse comportamento dos ativos relacionado aos custos envolvidos em todas as fases do ciclo de vida oferece uma perspectiva técnica e econômica da utilização dos ativos. Esse tipo de análise holística é primordial para realizar uma efetiva gestão de ativos.

O presente trabalho teve por finalidade comparar estratégias de manutenção através de análise de ciclo de vida de cardans a frio, por meio da análise de confiabilidade e manutenibilidade dos cardans e as informações de custos envolvidos na aquisição e manutenção dos eixos.

### 5.1 QUANTO AOS OBJETIVOS

O presente trabalho se propôs a estudar o ciclo de vida dos cardans do laminador de tiras à frio com o intuito de simular estratégias alternativas de gestão deste ativo com base nos dados de confiabilidade, manutenibilidade e custos. Para o cumprimento dos objetivos gerais, definiu-se os seguintes objetivos específicos:

- Estudar ferramentas de LCCA disponíveis;
- Modelar o ciclo de vida considerando a estratégia de manutenção atual dos cardans do laminador;
- Simular estratégias alternativas manutenção;
- Auxiliar a decisão de estratégia de manutenção para os cardans do LTF de uma empresa siderúrgica brasileira.

Para cumprir os objetivos específicos o capítulo 3 apresentou o embasamento teórico para o estudo, desde a perspectiva de ciclo de vida para a ISO 55.000, abordando as principais métricas de confiabilidade para análise de ciclo de vida, explorando uma metodologia consagrada de LCCA e estratégias de manutenção. No capítulo 4 foi abordado o estudo de caso onde foi possível modelar os dados de confiabilidade e mantabilidade dos cardans, considerando os dados de uso de 2012 a 2017. Com base nos modelos e nos custos envolvidos no ciclo de vida dos cardans foi possível montar cenários de manutenção e avaliar a melhor estratégia de manutenção.

Como resultado deste modelamento, percebeu-se que o principal modo de falha dos cardans tem dominância sobre o seu comportamento de falha, onde o modelo foi representado por uma Weibull 2 parâmetros, com o parâmetro de forma (*Beta*) de 2,68, caracterizando característica de falha por desgaste, e o *Eta* de 749. Os dados de mantabilidade apresentam um comportamento interessante. O modelo também foi representado por uma Weibull 2 parâmetros, onde o parâmetro de forma (*Beta*) também foi superior a um (1), apresentando valor de 3,74 e *Eta* 9,57. Esse parâmetro de forma muito superior a um (1) representa uma redução no tempo de troca dos cardans. Esse fenômeno é percebido através da curva de aprendizagem do *staff* da manutenção que estão reduzindo o tempo de substituição dos cardans ao longo do tempo.

Com esta análise do uso do ativo foi possível comparar os custos envolvidos na estratégia de gestão atual deste ativo, *run to failure*, em três cenários com estratégias de substituições programadas, em seis (6) meses, um (1) ano e dois (2) anos. Este cenários foram elaborados com base nas estratégias de manutenção sugeridas por Moulbray na metodologia RCM II, onde a substituição programada é sugerida em detrimento à manutenção por condição em dificuldades de monitoramento do modo de falha preponderante do ativo. O quadro 4.6 apresenta as informações de cada estratégia e o quadro 4.7 realiza uma comparação em relação ao MTBF, número de falhas e custo total de cada estratégia.

Diante dos resultados conclui-se que os objetivos geral e específicos determinados para este estudo foram alcançados.

## 5.2 RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES

O principal resultado deste trabalho é a análise das informações do modelo de falha, manutenibilidade e custo do ativo. Com base nesta análise, sugere-se adotar um modelo de manutenção por substituição programada. O período sugerido para substituição ideal recomendado é de um (1) ano em função dos números apresentado nas simulações e a característica da linha. Os benefícios para a empresa, na adoção desta estratégia, vão além do financeiro, com potencial de deixar de gastar um montante da ordem de R\$ 9.000.000.00. Terá benefício em segurança onde reduzirá o risco de acidente através da redução da intervenção não planejada, em continuidade operacional, pois cada falha acarreta em perda de qualidade e tem alto potencial de falhas múltiplas, pois a falha de um cardam robusto com o estudado poderá danificar outras partes do laminador.

No entanto a adoção desta prática não é simples, pois para substituir os cardans em preventivas normais necessita-se adaptar o laminador para esta condição, onde as atividades de manutenção serão desenvolvidas concomitantes com a troca do cardam. Para esta condição, deve-se adequar as fontes de energia para garantir o mesmo patamar de segurança que as paradas de manutenção normais. Deve-se elaborar uma análise de risco minuciosa para esse cenário, devendo avaliar as liberações de trabalho com as fontes de energia não desligadas, podendo formalizar restrições de atividades de manutenção com a troca dos cardans.

## 5.3 DIFICULDADES E BARREIRAS

As informações utilizadas para realizar a análise de confiabilidade dos cardans foram obtidas do CMMS da empresa. Em 2016 foi realizada a migração de CMMS do MAXIMO para o SAP e desta maneira o histórico de equipamentos até a data de substituição do CMMS está no banco de dados do MAXIMO e as informações após estão no SAP. Os bancos de dados são diferentes e isso gerou

um complicador para levantar as informações de falhas e manutenibilidade dos cardans.

A outra dificuldade está relacionada com as informações inseridas no CMMS. Nos dois bancos de dados as informações de falha não estão padronizadas. A informação de tempo de parada não reflete o tempo realmente utilizado, pois o staff do turno, que realizam as correções dos equipamentos, contempla as atividades de desmobilização neste tempo. A descrição de causa e dano são textos inseridos pelos mecânicos e só são refinadas se as paradas passam por análises de falhas. Essas características do banco de dados do CMMS se apresentaram como um forte dificultador, pois se deve realizar uma triagem e tratamento dos dados antes de realizar o estudo de confiabilidade.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base no estudo desenvolvido e observação prática das funções de manutenção, reforço a necessidade de introduzir as ferramentas de engenharia de confiabilidade na rotina da manutenção. Desta maneira sugere-se:

- Reformular e padronizar a imputação de dados no CMMS para favorecer estudos de confiabilidade;
- Desenvolver estudos de RAM de seções da linha, priorizando por criticidade, com o objetivo de modelar a linha por completo;
- Desenvolver estudos de LCCA para ativos críticos;
- Alinhar as metodologias de gestão de projetos atualmente utilizada na empresa para visão do LCC;
- Desenvolver critérios de confiabilidade para aquisição de novos equipamentos;
- Trabalhar a base de dados do CMMS para viabilizar os trabalhos futuros de engenharia de confiabilidade.

## REFERÊNCIAS

ABNT/CEE-251, **Comissão de Estudo Especial de Gestão de Ativos (ABNT/CEE-251)**, 2013. Disponível em <http://abraman.org.br/arquivos/325/325.pdf> acessado em 06/06/2017.

ABRAMAN, **Documento Nacional – A Situação da Manutenção no Brasil**, Pesquisa bi anual realizada pela entidade sobre o setor nacional, 2013. Disponível em <http://www.abraman.org.br/sidebar/documento-nacional/resultado-2013>, acessado em 06/06/2017.

LAFRAIA , J. R. **Gasto com manutenção muda o foco**, Artigo publicado em Valor Econômico em 2012, Disponível em <http://www.abraman.org.br/noticias/gasto-com-manutencao-muda-o-foco>, acessado em 07/06/2017;

AÇO BRASIL, **Relatório consolidado setor siderúrgico**, Instituto Aço Brasil, 2015. Disponível em <http://www.acobrasil.org.br/site2015/dados.asp> Acessado em 07/06/2017.

BISSOLI, A. R.; FONSECA JR., L. C; ALBANI JR. S. **A Evolução da gestão de ativos na ArcelorMittal Tubarão**, Trabalho apresentado no SIC - Simpósium Internacional de Confiabilidade, Belo Horizonte, 2017. Disponível em <http://www.arsymposium.org/southamerica/2017/abstracts/p10s1.htm> Acessado em 12/09/2017.

DOE, 2014, **LIFE CYCLE COST HANDBOOK -Guidance for Life Cycle Cost Estimation and Analysis**, US Department of Energy (DOE), Washington DC, 2014.

FARIAS, V.S.; FERNANDES, N. C. **Life Cycle Cost Analysis of Substation Automation Implementation**, International Telecommunication Symposium, São Paulo, 2014

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GNEDENKO, B.; PAVLOV, I.; USHAKOV, I. **Statistics Reliability Engineering**. Wiley and Sons Inc. New York, 1999.

HERMAN, PENTEK e OTTO, **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios**, 2015, disponível em

[https://www.researchgate.net/publication/307864150\\_Design\\_Principles\\_for\\_Industrie\\_4\\_0\\_Scenarios\\_A\\_Literature\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/307864150_Design_Principles_for_Industrie_4_0_Scenarios_A_Literature_Review), acessado em 07/06/2017;

IAM, **Artigo da base de conhecimento do Institute of Asset Management**, 2017. Disponível no link <https://theiam.org/What-is-Asset-Management>, acessado em 15/06/2017.

ISO, 2017 <https://committee.iso.org/sites/tc251/social-links/resources/guidance.html>

NIST HANDBOOK, **Life-cycle costing manual for the Federal Energy Management Program**, 1995.

MOUBRAY, J. **Reliability Center Maintenance**, New York, Editora Industrial Press, 2ª Edição, 2001.

MONTEIRO, J. V. **Gestão de Ativos**. Notas de aula pós graduação UTFPR, 2017.

NASA, **Reliability Centered Maintenance Guide For Facilities**, Manual RCM, 2000.

RAHMAN, S.; VANIER, D. J Life cycle cost analysis as a decision support tool for managing municipal infrastructure, 2004. Disponível em <http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/npsi/ctrl?lang=en>, acessado em 15/07/2017.

SILVA, E.L., MENEZES E. M., **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação** 4ª ED. Florianópolis, LED/PPGEP/UFSC, 2005.

VIOLA, D. F. A.S., **Gestão integrada de ativos num contexto real**, Dissertação de mestrado no ISEL - INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, 2015.

VOITH **Eixos cardans de alto desempenho**, Manual, 2016. Disponível em <http://www.voith.com/br/products-services/power-transmission/universal-joint-shafts-10128.html>, acessado em 13/09/2017.

RELIASOFT, **Reliasoft Sintesys 10**. Plataforma de softwares de confiabilidade da Reliasoft, 2016.