

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA**  
**TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**DOUGLAS ALAN DE SOUZA SILVA**

**APLICAÇÃO DE UM MÉTODO DE ANÁLISE DE FALHA EM UM SISTEMA DE  
TENSIONAMENTO DE UMA LINHA PRODUTIVA DE EMBALAGENS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2017**

**DOUGLAS ALAN DE SOUZA SILVA**

**APLICAÇÃO DE UM MÉTODO DE ANÁLISE DE FALHA EM UM SISTEMA DE  
TENSIONAMENTO DE UMA LINHA PRODUTIVA DE EMBALAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Joaquim de Mira Junior.

**PONTA GROSSA**

**2017**



---

---

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### APLICAÇÃO DE UM MÉTODO DE ANÁLISE DE FALHAS EM UM SISTEMA DE TENSIONAMENTO DE UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS

Desenvolvido por:

DOUGLAS ALAN DE SOUZA SILVA

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado em 23 de junho de 2016, como requisito parcial para obtenção do título de CURSO. Os candidatos foram arguidos pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinado. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Dr. Joaquim de Mira Junior  
Professor Orientador

---

Dr. Helio Voltolini  
Membro titular

---

Dr. Josmar Ivanqui  
Membro titular

- A Folha de Aprovação assinada encontra-se arquivada na Secretaria Acadêmica –

## RESUMO

Este trabalho propõe a aplicação de um Fmeca (*Failure mode and effects criticality analysis*), análise de criticidade de modo e efeitos de falha, em um sistema de tensionamento de papel. A aplicação remete-se a uma linha de laminação de embalagens cartonadas situada na cidade de Ponta Grossa. As quebras relacionadas a falhas no sistema de tensionamento da linha produtiva, geravam um alto impacto nos indicadores produtivos, conseqüentemente, um custo elevado de produção. Para aplicação do Fmeca é necessário profundo conhecimento da metodologia e aplicação dos passos, bem como, conhecimento técnico do sistema e dos componentes envolvidos, já que é necessário chegar a causa primária das falhas e propor ações para evitar recorrência. As atividades foram executadas num período de seis meses por integrantes de um grupo focado na redução das falhas. Ao final, é possível constatar os ganhos significativos para a empresa com a aplicação da ferramenta Fmeca, esses ganhos são mensurados e apresentados a seguir.

**Palavras chave:** Fmeca, Laminação, Tensionamento.

## **ABSTRACT**

This final assignment proposes the application of a Fmeca (Failure mode and effects criticality analysis) in a paper tensioning system. The application is referred to a carton packaging line located in the city of Ponta Grossa. The breakdowns related to failures in the tensioning system at the productive line, generated a high impact on the KPI's, consequently a high production cost. This final assignment was performed with purpose of minimizing the breakdowns regarding to failure in the tensioning system. For Fmeca application, deep technical knowledge of the system and the components involved is necessary methodology knowledge as well as knowledge about the system and associated components, so that it's needed to figure out the main failure causes in order to avoid recurrence. The tasks were performed along six months by a team focused in breakdowns reduction. As conclusion of this job it's possible to confirm the gains reached for the company with the application of Fmeca.

**Keywords:** Fmeca, Coating, Tensioning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Leiaute Laminadora 21 .....	11
Figura 2 - Gráfico de impacto na eficiência da Laminadora 21 .....	12
Figura 3 - Quebras primeiro semestre na Laminadora 21 por máquina .....	13
Figura 4 - <i>Downtime</i> da máquina Embobinador .....	14
Figura 5 - <i>Downtime</i> da máquina Desbobinador .....	14
Figura 6 - Mapeamento dos sistemas e subsistemas de uma linha. ....	18
Figura 7 - Formulário de cálculo RPN .....	20
Figura 8 - Diagrama Decisional .....	21
Figura 9 - Diagrama ligação célula de carga Montalvo U75 .....	25
Figura 10 - Típica aplicação célula de carga em par .....	26
Figura 11 - Diagrama Calibração célula de carga com peso padrão .....	27
Figura 12 - Leiaute Laminadora 21 .....	28
Figura 13 - Diagrama típico de desbobinador .....	29
Figura 14 - Motor CC com enrolamento de campo .....	30
Figura 15 - Diagrama convencional Conversor/Motor .....	31
Figura 16 - Diagrama interno <i>encoder</i> comum .....	32
Figura 17 - <i>Encoder</i> incremental .....	32
Figura 18 - Disco <i>encoder</i> incremental.....	33
Figura 19 - Sinais dos canais A e B .....	33
Figura 20 - Construção Interna <i>encoder</i> absoluto .....	34
Figura 21 - Tacogerador Weg .....	34
Figura 22 - Polaridade tacogerador .....	35
Figura 23 - Matriz de responsabilidades dos integrantes do grupo .....	36
Figura 24 - Matriz de habilidades dos integrantes do grupo .....	37
Figura 25 - Matriz de habilidades do grupo .....	38
Figura 26 - Cronograma Fmeca .....	39
Figura 27 - Lista de componentes para avaliação criticidade .....	41
Figura 28 - Planilha Fmeca, Item, função, modo de falha e efeito da falha. ....	42
Figura 29 - Formulário de cálculo RPN .....	44
Figura 30 - Fluxo de tomada de decisão.....	45
Figura 31 - Gráfico das ações realizadas .....	46
Figura 32 - Amplificador <i>Strain Gauge</i> antigo x novo .....	47
Figura 33 - <i>No break</i> e banco de baterias instalado proveniente da ação 63 .....	48
Figura 34 - Matriz de habilidades antes x depois do trabalho executado .....	49
Figura 35 - Gráfico de controle de reincidências .....	50
Figura 36 - Pontuação do grupo nas auditorias do WCM .....	51
Figura 37 - Documentos de treinamento e conhecimento criados pelo grupo .....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela Avaliação Criticidade. ....	19
Tabela 2 - Causa Falta/Falha na linearidade no sinal de tensão da célula de carga	43

## LISTA DE ABREVIATURAS

RPN – *Risk Priority Number*  
BT - Baixa tensão  
CA - Corrente alternada  
CC - Corrente contínua  
DDP - Diferencial de potencial  
TPM – *Total Productive Maintenance*  
TBM – *Time Based Maintenance*  
BD – *Break Down*  
MTBF – *Mean Time Between Failures*  
FMECA – *Failure modes Effects Cause Analysis*  
DT – *Down Time*  
SP – *Set point*  
PV – *Process Value*  
CBM – *Condition Based Maintenance*  
CIL – *Check List, Inspeção, Lubrificação*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 PROBLEMA .....	11
1.2 OBJETIVOS .....	15
1.2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 LAMINAÇÃO .....	17
2.2 METODOLOGIA FMECA .....	17
2.2.1 Os Passos do Fmeca .....	18
2.2.2 Modo de Falha .....	21
2.2.3 MTBF .....	22
2.2.4 MTTR .....	22
2.2.5 Down Time .....	22
2.3 TENSIONAMENTO .....	22
2.3.1 Força Linear .....	23
2.3.2 Medição do Tensionamento .....	24
2.3.3 Célula de Carga .....	24
2.3.4 Calibração da Célula de Carga .....	26
2.4. SISTEMA DE TENSIONAMENTO DA LINHA LAMINADORA .....	28
2.4.1 Desbobinador de Papel.....	28
2.4.2 Motor CC .....	29
2.4.3 Driver de Controle .....	30
2.4.4 Encoder .....	31
2.4.5 Tacogerador.....	34
<b>3. INICIO DAS ATIVIDADES DO GRUPO DE FMECA</b> .....	<b>36</b>
<b>4. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES E ACOMPANHAMENTO</b> .....	<b>39</b>
4.1. AUDITORIAS DE ACOMPANHAMENTO .....	39
<b>5. EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES PROPOSTAS</b> .....	<b>40</b>
5.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS DOS SISTEMAS .....	40
5.2 AVALIAÇÃO DE CRITICIDADE DOS COMPONENTES .....	41
5.3 PREENCHIMENTO DA FOLHA DE ANÁLISE FMECA.....	41
5.3.1 Pontuação das Causas Potenciais .....	43
5.3.2 Classificação das ações .....	44
5.4 EXECUÇÃO E MONITORAMENTO DAS AÇÕES.....	47
5.4.1 Ações Críticas.....	47



<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
6.1 MAPA DE HABILIDADES DO GRUPO .....	49
6.2 QUEBRAS ELIMINADAS NO SEGUNDO SEMESTRE DE 2016.....	50
6.3 ENCERRAMENTO DO GRUPO COM NOTA SUPERIOR A 80 .....	51
6.4 PROCEDIMENTOS E AÇÕES FUTURAS .....	52
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO 1 - LISTA DE COMPONENTES LEVANTADOS PARA ANÁLISE .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO 2 - ANÁLISE RPN - LAMINADORES MOTOR DC .....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXO 3 - ANÁLISE RPN - CONTROLE DE TENSÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO 4 - PROPOSTA ABB NOVO SISTEMA .....</b>	<b>69</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A revolução industrial foi um marco na vida cotidiana em quase todos os aspectos, de certa forma toda a sociedade foi beneficiada com o crescimento socioeconômico resultante. Grande parte da economia mundial é movida pelo setor secundário onde é feita a transformação e manufatura de matéria prima para produtos de bens de consumo ou serviço.

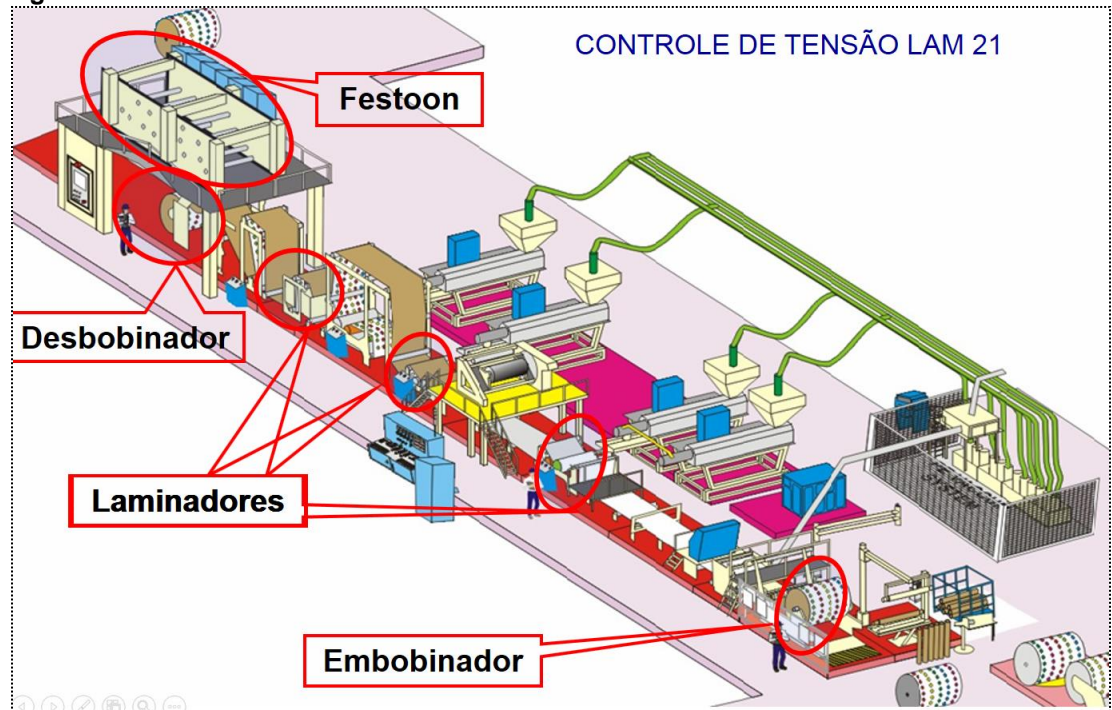
A demanda do setor secundário torna o ambiente produtivo das indústrias cada vez mais competitivo e desafiador no que diz respeito a confiabilidade, é necessário extrair total eficiência produtiva dos equipamentos com menor custo possível. Para tal, o uso de ferramentas e métodos que possam maximizar a eficiência das linhas produtivas evitando quebras ou falhas, está cada vez mais disseminado nas empresas. O bom profissional deve estar comprometido e apto a usar métodos para analisar falhas, criar melhorias e soluções que maximizem a eficiência das máquinas e equipamentos, estabelecendo confiança e segurança. O conceito arcaico em que a “manutenção é um mal necessário” está ultrapassado. Com métodos preditivos, por exemplo, é possível aumentar a confiabilidade dos equipamentos antecipando-se às falhas, analisando suas características físicas, antes mesmo de ocorrerem. Isso evita despesas com mão de obra, material, perdas de processo e qualidade, como também, o custo de uma manutenção planejada que acaba se tornando bem mais barata com relação a uma manutenção emergencial.

Nesse trabalho é utilizada uma ferramenta usada em projetos para evitar falhas potenciais e suas causas, o Fmeca do inglês (*Failure mode and effects criticality analysis*) análise de criticidade de modo e efeito das falhas. A aplicação remete-se a fazer um entendimento de todos os sistemas, sub-sistemas e componentes envolvidos em um processo e realizar uma análise baseada em alguns critérios pré-definidos. Ao final deste trabalho é possível constatar os ganhos que a aplicação da ferramenta em um curto prazo trouxe para a empresa a qual foi aplicada.

## 1.1 PROBLEMA

Para entendimento geral, observa-se na Figura 1 o leiaute da Laminadora 21. O processo consiste de modo geral, na entrada de rolos de papel cartonados impressos na máquina desbobinador, passando pelos laminadores, onde é feito o processo de laminação da embalagem e saindo no embobinador. A troca de rolos é feita ininterruptamente a uma velocidade de produção de 650 m/min (metros por minuto). Detalhes do processo de laminação e referencial teórico sobre laminação, desbobinador e embobinador de papel são apresentados no tópico 2 (FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA).

**Figura 1 - Leiaute Laminadora 21**



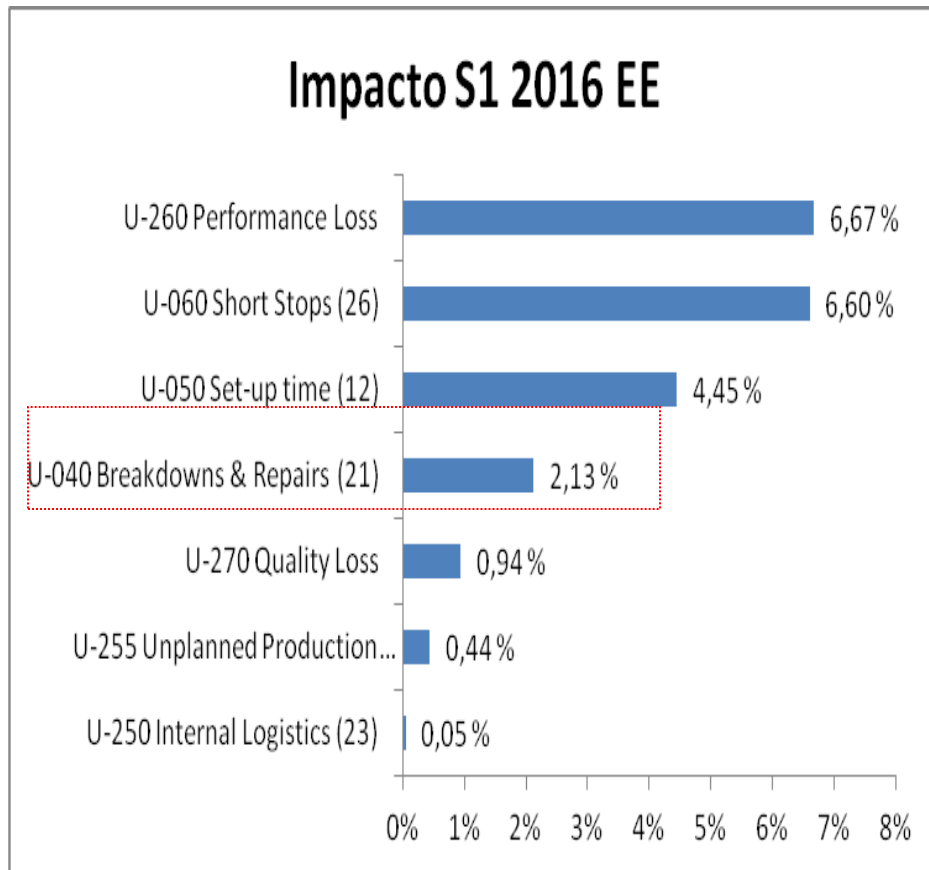
**Fonte:** Adaptado documentação interna Indústria de embalagens

Na gestão da linha produtiva de embalagens abordada neste trabalho, são monitorados indicadores importantes para o controle de custos de produção, um dos principais é a eficiência, onde é relacionada a capacidade produtiva e quanto realmente a máquina produziu. Se a capacidade for igual ao valor produzido, então a eficiência é igual a cem por cento.

A eficiência no primeiro semestre de 2016 foi de 78,72% da capacidade. Na figura 2 são mostrados os percentuais de impacto na eficiência separados por código, por exemplo: Pequenas paradas, perdas de qualidade, perdas por falha na logística

interna. O item circulado com 2,13%, na Figura 02, de impacto é relacionado a quebras, portanto, responsabilidade do departamento de manutenção.

**Figura 2 - Gráfico de impacto na eficiência da Laminadora 21**

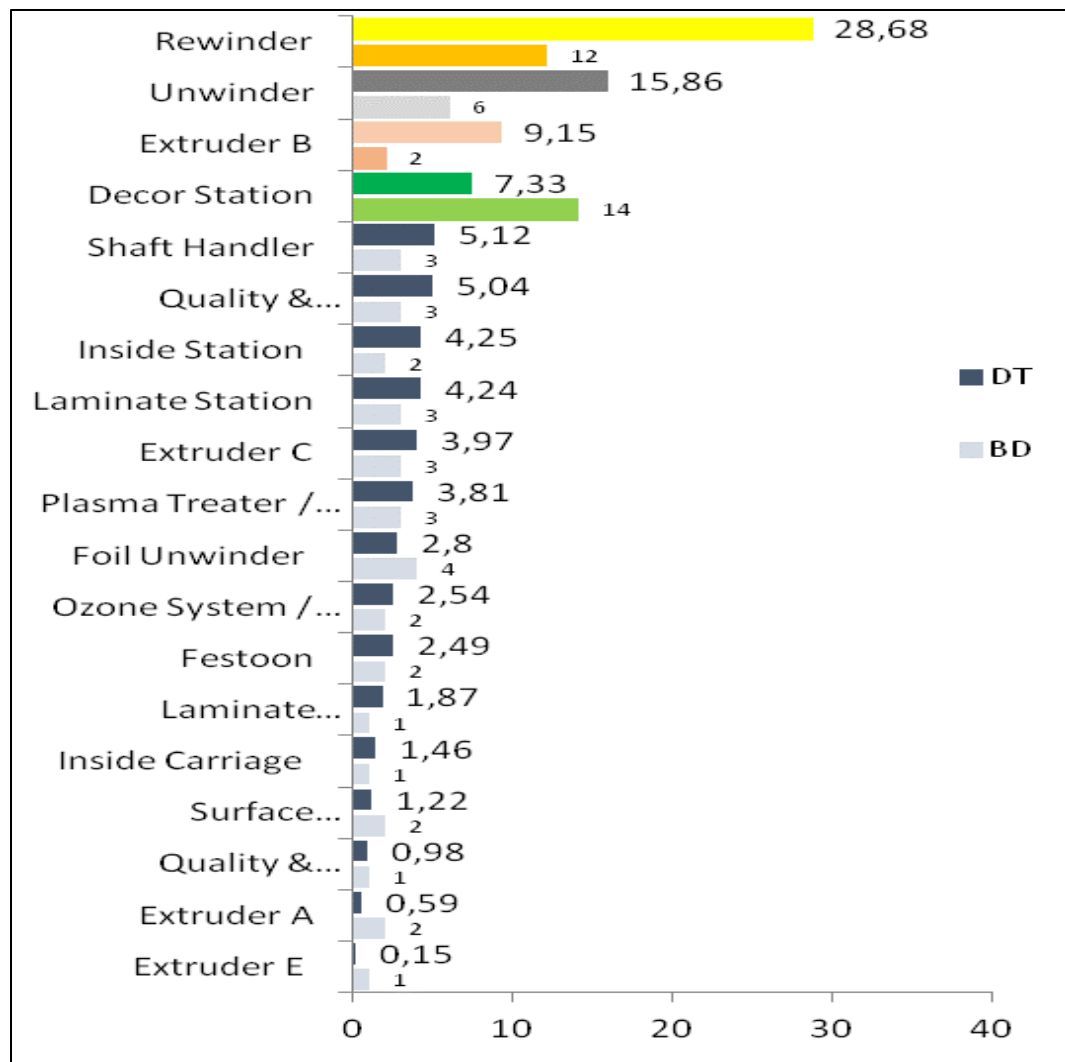


**Fonte: Indústria de embalagens cartonadas em Ponta Grossa PR**

Analisando os dados decorrentes da porcentagem de impacto, as duas máquinas com maior contribuição de impacto foram Embobinador e Desbobinador. Na máquina Embobinador houveram doze quebras sendo o maior responsável entre as máquinas pela perda da eficiência da linha com 28,68 horas de DT (*DownTime*). O Desbobinador de papel foi o segundo maior responsável com uma contribuição de 15,86 horas de DT totalizando 6 quebras.

Na figura 3 é possível constatar os valores de DT em horas e número de BD (*Breakdowns* = quebras) da linha de laminação.

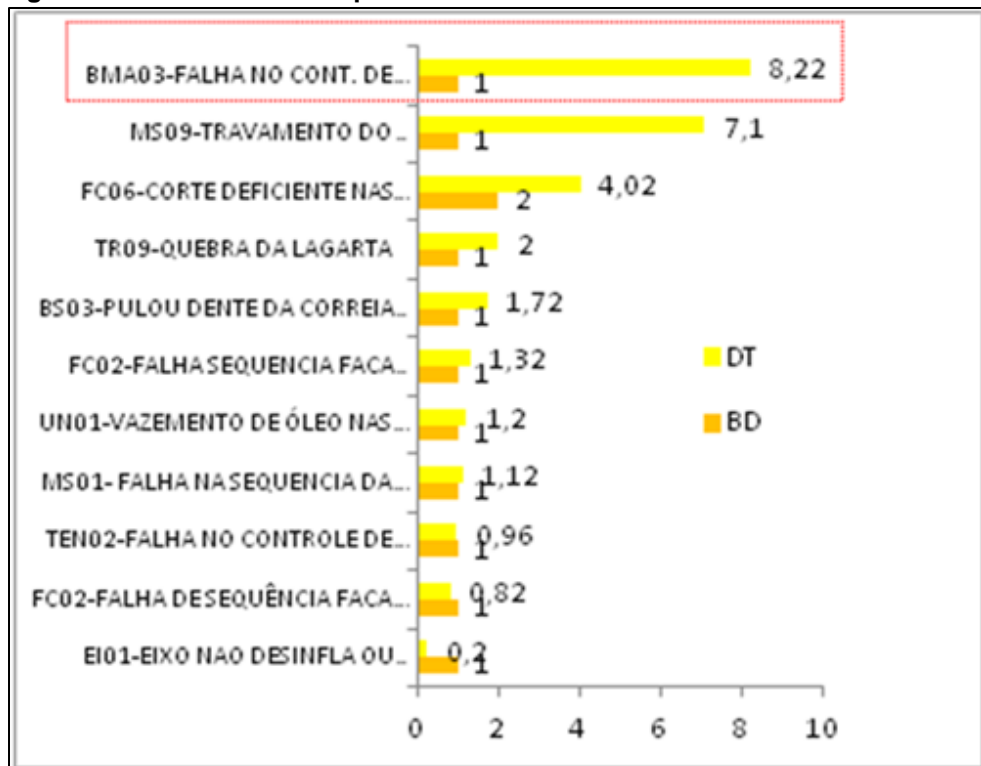
Figura 3 - Quebras primeiro semestre na Laminadora 21 por máquina



Fonte: Indústria de embalagens cartonadas em Ponta Grossa PR

Analisando as doze quebras da máquina *Rewinder* (embobinador) e fazendo uma classificação por modo de falha obtém-se o gráfico da figura 4, onde o principal responsável foi o modo de falha BMA03 - Falha no controle de tensão com 8,22 horas de máquina parada.

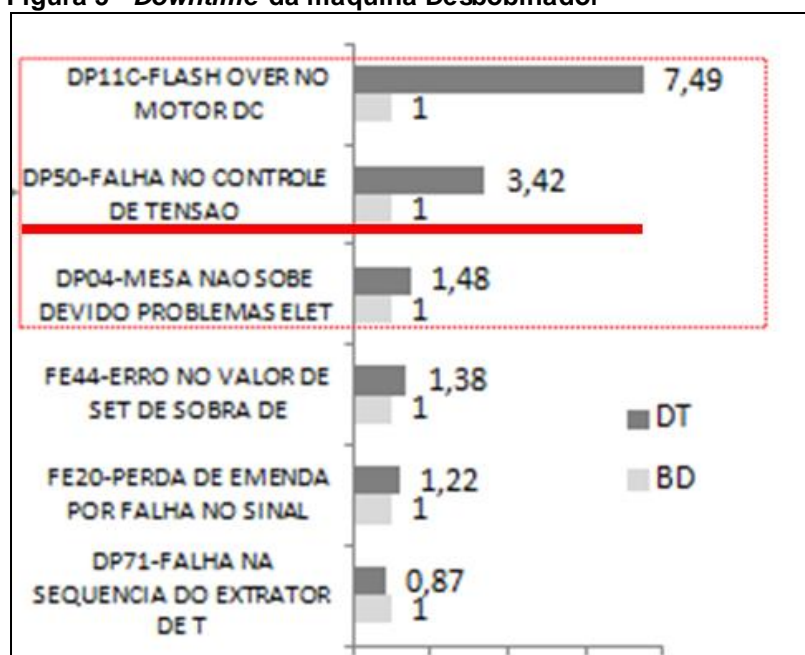
Figura 4 - Downtime da máquina Embobinador



Fonte: Indústria de embalagens cartonadas em Ponta Grossa PR

Analisando a máquina Desbobinador, segundo principal responsável pelo impacto mostrado na figura 3. Obtém-se o gráfico por modo de falha, onde o segundo modo de falha é DP50 – Falha no controle de tensão com 3,42 horas de máquina parada (figura 5).

Figura 5 - Downtime da máquina Desbobinador



Fonte: Indústria de embalagens cartonadas em Ponta Grossa PR

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Eliminar problemas relacionados com falhas no controle de tensionamento do papel na linha de laminação utilizando a metodologia Fmeca.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Atingir nota mínima de 8 na auditoria final o que resulta em finalizar o grupo de melhoria com sucesso;
- Estudar a malha do controle de tensionamento da Laminadora 21 e seus componentes;
- Estudar princípio de funcionamento das células de carga e aplicação na linha de laminação;
- Ampliar o mapa de habilidades adquirindo conhecimento técnico o que resulta em ganho pessoal e para a empresa.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Analisando os gráficos mostrados no item 1.1, nota-se que ao todo foram 11,64 horas de linha de produção parada por falha no controle de tensionamento. Isso resulta em despesas de produção. Para ter um entendimento de quanto a empresa teve de prejuízos no primeiro semestre de 2016, é necessário fazer alguns cálculos bem simples.

Considerando que a Laminadora 21, produz á 650 m/min (metros por minuto). Leva-se em conta o número de horas que a máquina ficou fora de operação, o custo da embalagem e a capacidade de produção de embalagem por hora. Para calcular o custo da linha inoperante por falha no controle de tensão (CDT) considera-se os itens abaixo:

CDT (Real) = Custo de máquina parada

PE (Real) = Preço unitário de embalagem

DT (Horas) = Tempo de máquina parada

NEH = Número de embalagens produzidas por hora

Considerando:

PE = R\$ 0,14.

NEH = 630 000 embalagens.

DT = 11,64 horas.

Aplicando os valores na fórmula, afim de determinar o custo de máquina parada, obtém-se:

**CDT = (PE \* NEH) \* DT.** Substituindo os valores na fórmula obtém-se:

$$\text{CDT} = (0,14 * 630\ 000) * 11,64 \longrightarrow \text{R\$ } 1.026.648,00$$

No primeiro semestre de 2016 a empresa de embalagens cartonadas teve um prejuízo equivalente a 1.026.648,00 (um milhão, vinte e seis mil, seiscentos e quarenta e oito reais) devido a problemas com sistema de tensionamento da linha laminadora 21.

Alinhado com estratégia global de produção de embalagens da empresa, para o ano de 2016, justificou-se a abertura de um grupo focado nos modos de falha relacionados com o controle de tensionamento do papel na linha Laminadora 21. Este grupo é composto por cinco membros, funcionários da empresa, com diferentes funções e habilidades.



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 LAMINAÇÃO

Segundo Fabiana Silveira, “laminação é o processo de embalagens plásticas flexíveis por meio da combinação de diferentes substratos, é um recurso utilizado para agregar valor às mesmas, contribuir nas questões estéticas, aumentar as propriedades de barreira, proteger a impressão e reduzir custos”. Uma das principais vantagens das embalagens laminadas é a união de propriedades de dois ou mais polímeros que, juntos, irão propiciar os requisitos necessários para o envase, o acondicionamento e proteção, a produtividade e até mesmo as condições do preparo do produto.

### 2.2 METODOLOGIA FMECA

O Fmeca é uma ferramenta que se originou da indústria aeronáutica e espacial, foi originalmente desenvolvida pelo exército norte americano por volta de 1940. Em meados de 1960 há relatos da NASA utilizando métodos similares ao Fmeca, porém com outras nomenclaturas. Em 1966 a NASA liberou a metodologia Fmeca para ser utilizada no programa Apollo e foi usada posteriormente em vários outros projetos como: *Viking*, *Voyager*, *Magellan* e *Galileo*. O desenvolvimento do Fmeca diversas vezes foi erroneamente atribuído a NASA, devido sua constante utilização na década de 60 e 70.

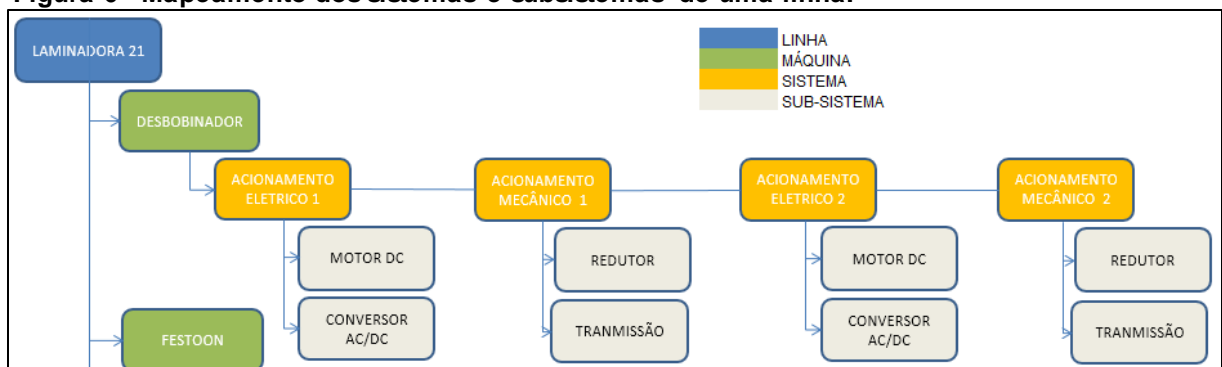
Segundo Cristiano Herpich FMECA é uma ferramenta estendida do FMEA *Failure mode and Effects Analysis*. Um sistema lógico que hierarquiza as falhas potenciais e fornece orientações para ações, que visam evitá-las por meio de técnicas de manutenção ou reprojeto (SMITH; KEITH, 2008). De acordo com os autores, as falhas encontradas por meio da técnica FMECA são priorizadas a partir da criticidade das causas, utilizando o índice RPN (Grau de Prioridade de Risco), composto pelo produto dos seguintes indicadores: severidade (gravidade do modo de falha), segurança, meio-ambiente, qualidade, produção, custo, ocorrência (frequência com que o modo de falha ocorre) e detecção (grau de facilidade para detectar a falha).

### 2.2.1 Os Passos do Fmeca

O Fmeca possui várias etapas para sua aplicação, desde entendimento como um todo de um sistema, até a execução e acompanhamento das ações de melhoria. Para melhor entender como funciona é necessário explanar os nove passos da metodologia segundo SMITH R. e R. KEITH R. K. (*Rules of thumb for maintenance and reliability engineers*), 2008.

Passo 1: Divisão e mapeamento de linha de um processo em máquinas, sistemas, subsistemas e componentes. É necessário definir parâmetros críticos para avaliação de criticidade. Na figura 6 é possível ver a divisão de linha, máquina, sistema e subsistemas aplicados no objeto de estudo.

**Figura 6 - Mapeamento dos sistemas e subsistemas de uma linha.**



**Fonte: Fmeca aplicado em uma fábrica de embalagens em Ponta Grossa PR (2016)**

Após a divisão dos sistemas até o nível componente de cada sistema é necessário fazer uma avaliação de classificação dos componentes. Essa avaliação permite saber dentre todos os componentes listados quais são os componentes críticos. A avaliação consiste em submetê-los a uma planilha onde são avaliados aspectos como: segurança, produtividade, qualidade e meio ambiente.

Passo 2: Definição do item e função. É importante definir o funcionamento de cada parte da linha, ou seja, ter com clareza sua função primordial, para então, definir o que seria uma falha no sistema ou componente. Nessa etapa é feita a primeira avaliação de componentes, onde todos são listados e submetidos a uma avaliação de seus efeitos sobre segurança, meio ambiente, qualidade, produtividade MTTR e MTBF. A tabela 1 mostra o exemplo de avaliação inicial para definição de componentes críticos:

Tabela 1 - Tabela Avaliação Criticidade.

EFEITO		5	3	1
		ALTO	MÉDIO	BAIXO
				
GRAVIDADE	SEGURANÇA	LESÃO COM AFASTAMENTO	LESÃO SEM AFASTAMENTO	SEM RISCO
	PRODUTIVIDADE	TEMPO SEM PRODUZIR > 3h	TEMPO SEM PRODUZIR >=1 E < 3h	TEMPO SEM PRODUZIR < 1h
	QUALIDADE	SE HOUVER RECLAMAÇÃO	SE HOUVER APENAS PERDA INTERNA	SEM PERDAS
	MEIO AMBIENTE	CONTAMINAÇÃO EXTERNA	CONTAMINAÇÃO INTERNA	SEM CONTAMINAÇÃO
MTTR		MAIOR QUE 3h	ENTRE 1 E 3h	MENOR QUE 1h
MTBF		MAIS QUE 3 BD ANO	ENTRE 1E 3BD ANO	MENOR QUE 1 BD ANO
CUSTO		MAIOR QUE R\$ 10000,00	ENTRE R\$ 1000,01 E R\$ 10000,00	MENOR QUE R\$ 1000,00

Fonte: Adaptado de Smith e Keith (2008)

A avaliação inicial permite filtrar uma lista de componentes, direcionando assim o Fmeca para os componentes críticos quanto aos seus efeitos. Importante ressaltar que os valores de custo e produtividade das avaliações podem ser alterados de acordo com a necessidade e estratégia da companhia.

Passo 3: Levantamento dos modos de falha funcional. Consiste em levantar os modos de falha funcional dos componentes já avaliados como críticos. Esse levantamento é feito em grupo, utilizando o conhecimento de toda a equipe e manuais dos respectivos componentes.

Passo 4: Efeitos e consequências dos modos de falha. São avaliados e preenchidos na planilha padrão do Fmeca os efeitos dos modos de falha listados, ou seja, o impacto direto na linha produtiva.

Passo 5: Determinar as causas da falha. Essa etapa é extremamente importante, pois é nela que são inseridas as causas das falhas. Em casos que precise ter um entendimento mais abrangente sobre as causas das falhas, é necessário utilizar a ferramenta dos “Por quês” até chegar a causa primária. No item 5.2 há um exemplo da aplicação dos “Por quês?” até descobrir a causa primária da falha.

Passo 6: Avaliação e cálculo do RPN. Etapa onde é realizado o cálculo de RPN, *Risk Priority Number*, que é o resultado das avaliações da planilha padrão do Fmeca.

As causas das falhas são levadas ao questionário da figura 7, onde são avaliadas pelos parâmetros: Segurança, qualidade, produção, frequência e detecção.

Figura 7 - Formulário de cálculo RPN

<b>Frequência da Falha:</b>		<b>Impacto na produção (DT):</b>	
Menor que 0.5 falhas por ano	0	Não afeta a produção	0
Entre 1 e 2 falhas por ano	1	Para a linha por menos que 15 minutos	1
Entre 3 e 6 falhas por ano	2	Parada de 15 minutos para 01 hora	2
Mais que 6 falhas por ano	3	Parada de 01 hora para 02 horas	3
		Parada de 02 horas para 04 horas	4
		Para a linha por mais de 04 horas	5

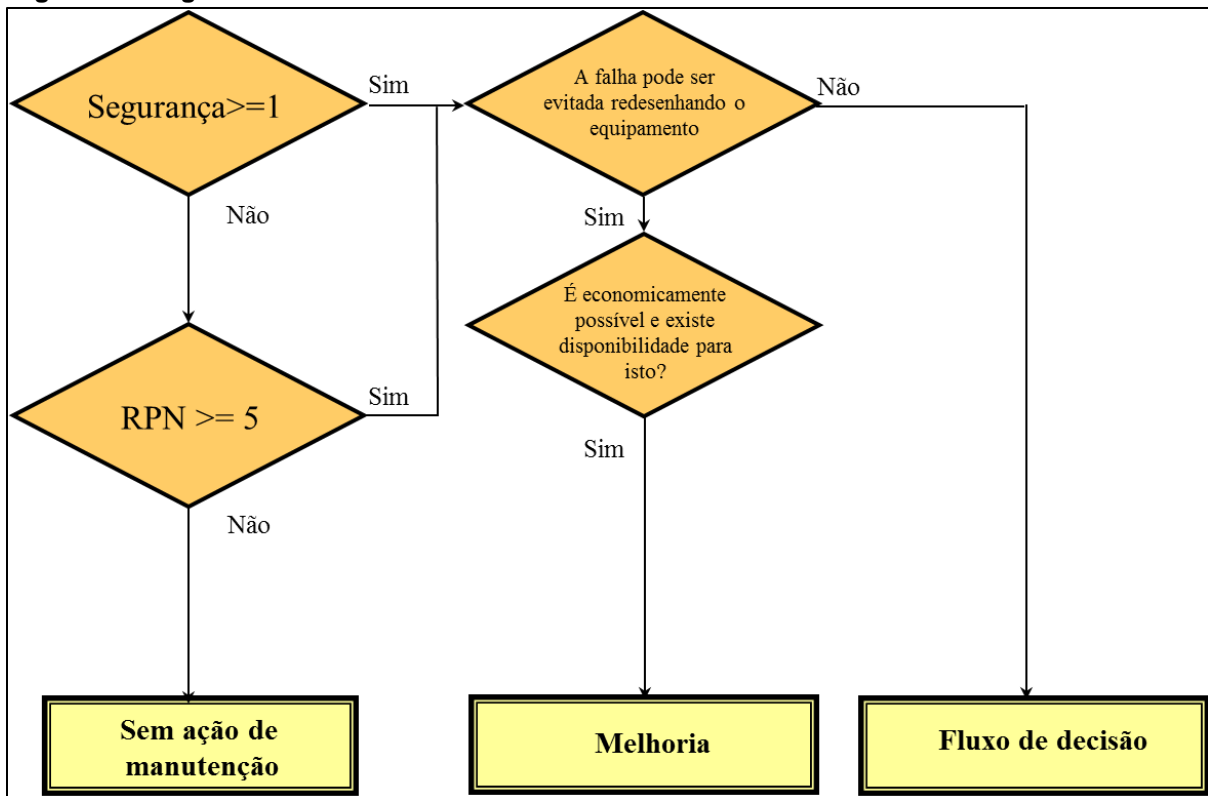
  

<b>Impacto em Segurança</b>		<b>Impacto em Qualidade</b>		<b>Detecção</b>	
Não impacta em segurança	0	Não impacta em qualidade	0	O operador pode facilmente detectar normalmente durante a operação	0
Risco pequeno de acidente (Sem afastamento)	1	Parcial perda em uma ordem de produção	1	Como detectar é conhecido e existe um plano de inspeção para tal.	1
Risco maior de acidente (com afastamento)	2	Total perda da ordem de produção	2	É conhecido como detectar, porém não ha um método de como fazê-lo.	3
Risco de sérios acidentes (danos permanentes)	3	Risco de claim pelo cliente	3	Não é conhecido como detectar.	5

Fonte: Material interno fábrica de embalagens em Ponta Grossa PR (2016)

Passo 7: Ações recomendadas e frequência. Para direcionar qual o tipo de ação mais adequada de acordo com a nota, existe um diagrama decisional que primeiro avalia a segurança e o custo. Por exemplo, supõe-se que o resultado da avaliação do efeito da falha em segurança seja 3, a próxima pergunta a se fazer é se a falha pode ser evitada redesenhando o equipamento, se a resposta for sim, vai para a próxima questão, “é economicamente viável?”, “sim”. Nesse caso é a ação recomendada é uma melhoria no sistema (re-projeto ou modificação no equipamento). Vide figura 8 abaixo: Diagrama Decisional

Figura 8 - Diagrama Decisional



Fonte: Material interno fábrica de embalagens em Ponta Grossa PR (2016)

Passo 8: Consiste em atribuir responsáveis pelas ações e definir os prazos para as ações, onde as mais críticas devem ser programados com prazo menor de execução.

Passo 9: Monitoramento das ações, consiste em avaliar através dos indicadores de quebra e falha se as ações foram assertivas, ou seja, não ocorreram falhas que poderiam ter sido evitadas pela análise.

Caso haja falhas que não foram cobertas pela análise, significa que houve falha no entendimento dos modos de falha do equipamento, ou que não houve entendimento da causa raiz da falha. Nesse caso é necessário que seja realizada novamente a análise.

### 2.2.2 Modo de Falha

Segundo o dicionário MICHAELIS (2000), define-se modo de falha da seguinte forma: Modo é a “Forma ou maneira de ser ou manifestar-se uma coisa”; “Maneira ou forma particular de fazer as coisas, ou de falar”; “Maneira de conseguir as coisas; meio, via”. Falha, “Defeito”, “Desarranjo ou enguiço” ou “ato ou efeito de falhar”, sendo

que falhar está descrito como “Não dar o resultado desejado, não ser como se esperava”.

### 2.2.3 MTBF

MTBF (*Mean Time between Failures*) / TMEF – Tempo médio entre falhas. Indicador que representa o tempo médio entre a ocorrência de uma falha e a próxima, representa também o tempo de funcionamento da máquina ou equipamento diante das necessidades de produção até a próxima falha”. Fonte: ABNT NBR 5462 - Confiabilidade e manutenibilidade (terminologia).

### 2.2.4 MTTR

MTTR (*Medium Time to Repair*) tempo médio de reparo, ou seja quanto tempo em média o mantenedor está levando para consertar o equipamento. Esse indicador permite avaliar a velocidade das manutenções corretivas e identificar as maiores dificuldades por parte dos funcionários em resolver problemas nos equipamentos. Fonte Abraman (associação brasileira de manutenção e gestão de ativos). Fonte: ABNT NBR 5462 - Confiabilidade e manutenibilidade (terminologia).

### 2.2.5 Down Time

*Down Time* (Tempo de Parada) quanto tempo uma máquina ou linha de produção ficou indisponível desde a quebra até o retorno de produção. Para entender melhor deve-se confrontar esse tempo como TTR (*Time to Repair*) que normalmente é menor ou igual ao DT. Por exemplo, se uma manutenção em uma máquina dura uma hora, porém só retornou a produção após uma hora e meia, o Down Time é a soma dos dois, portanto uma hora e meia de *Down Time*. Fonte: ABNT NBR 5462 - Confiabilidade e manutenibilidade (terminologia).

## 2.3 TENSIONAMENTO

Tensionamento do verbo tensionar, segundo dicionário Aurélio significa estender, por sob tensão. Entende-se também como tensionamento colocar sob carga ou força vetorial. Como por exemplo, em linhas de produção de papel ou jornal onde

o papel fica tensionado ao longo da linha de produção, mantendo-o estável, sendo assim necessário para determinados processos. Segundo David R. Roisum. Ph.D e especialista no assunto: Tensionamento é a força aplicada a um filme ou rolo na MD (*machine direction*).

Todo elemento que toca o rolo pode mudar o seu tensionamento, enquanto segue seu curso para baixo através da máquina. Os cilindros acionados podem dar ao operador algum controle sobre o tensionamento. Todavia, os cilindros não acionados também mudam o tensionamento devido a efeitos, tais como, o arraste dos mancais, rolamentos e a inércia (resistência às mudanças de velocidade). O tensionamento pode ser reportado em três diferentes modos: força total, linear e de tensionamento. A força total reportada em unidades tais como libras, Quilograma, ou Newton é uma carga aplicada pela máquina e, por isso, de grande interesse para os fabricantes de máquinas. Eles usam aquela força para classificar de acordo com o tamanho, os cilindros, para que eles não se flexionem excessivamente.

David R. Roisum. Ph.D – **“The mechanics of the rollers”**

Portanto é imprescindível o controle preciso do tensionamento, caso contrário, corre-se o risco de danificar as partes mecânicas de um sistema de tensão.

### 2.3.1 Força Linear

Força linear é a força por unidade de largura do rolo. As unidades de medida no sistema inglês são libras/polegadas (libras por polegada de largura do rolo) que são mais comumente abreviadas como PLI (libras por polegada linear). Desse modo, uma força total de 40 libras aplicada a uma largura de máquina de 20 polegadas tem 2 PLI de tensionamento. Se a largura do papel for fixa em uma máquina, a largura já estará calibrada nas entradas e saídas, com as quais o operador trabalhará. Se a largura do papel for variável, a largura será inserida pelo operador ou conservadas através das receitas e a divisão será feita com base na largura atual. Por isso as tensões de trabalho mudam de acordo com a largura de material que é processado seja papel ou filme. Em linhas de papel a unidade mais comum é N/m (Newton por metro) ou N/mm<sup>2</sup> (Newton por milímetro quadrado), ou seja, quanta força em Newtons está sendo aplicado na superfície a cada ponto ou milímetro quadrado do papel. Essa unidade permite ter um controle confiável sem sobrecarregar as partes mecânicas envolvidas.

### 2.3.2 Medição do Tensionamento

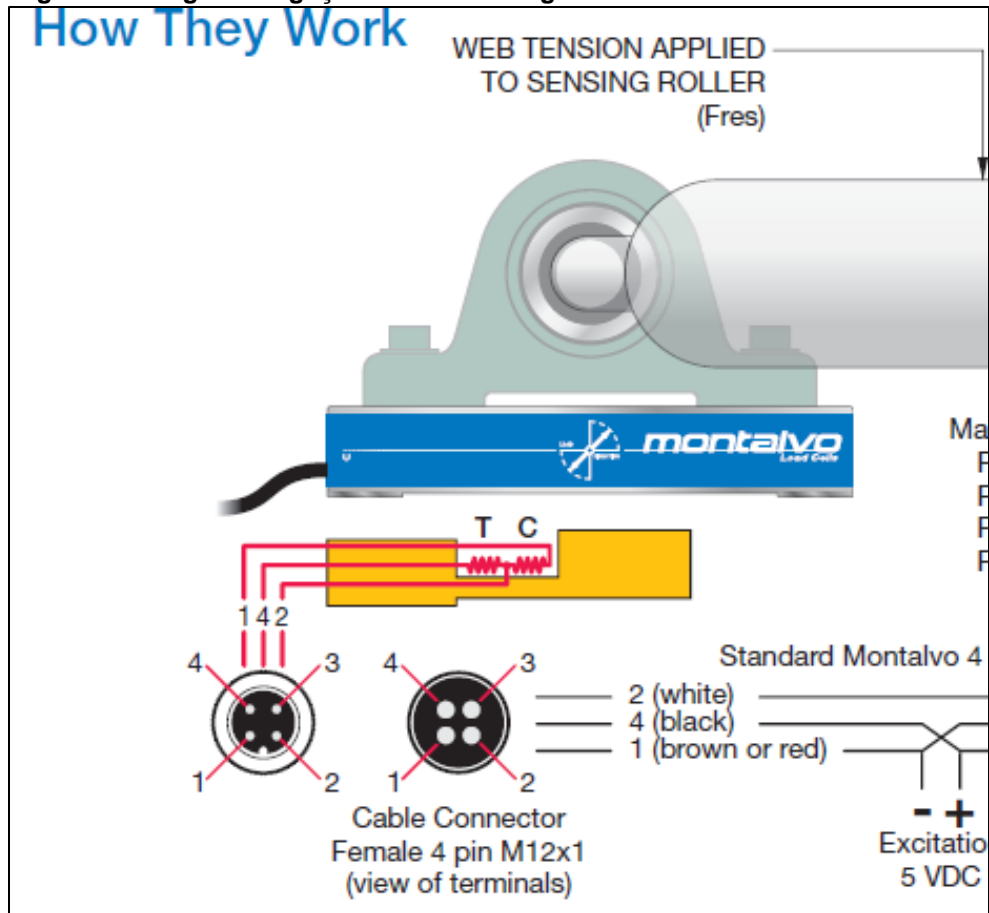
A medição do tensionamento em uma linha é de extrema importância. É necessário saber se realmente a tensão desejada no processo é a tensão real de trabalho, caso contrário o processo pode ser comprometido e os equipamentos podem ser danificados por tensão fora da tolerância. Os modos de falha mais comuns em malhas de tensionamento são quebra ou estouro do papel/filme por tensão muito alta, ou deficiência no processo por tensão muito baixa. Esses são os modos de falha mais perceptíveis, falhas na medição e controle de tensionamento pode também danificar equipamentos como motores trabalhando em sobrecarga, cilindros com muita tensão (força) aplicada sobre eles, assim como a diminuição da vida útil de mancais e rolamentos por sobrecarga de trabalho. Na maioria dos casos a medição é feita por células de carga acopladas na base dos cilindros.

### 2.3.3 Célula de Carga

Utilizando o princípio de “*Strain Gauge*” onde consiste internamente em uma associação de semicondutores formando uma ponte completa ou meia ponte. As células de carga são excitadas por uma tensão DC estabilizada de um circuito eletrônico externo. Quando não há força aplicada na célula de carga, a ponte entra em estado balanceado e o sinal de saída será próximo de zero. Quando se aplica uma força, ocorre deformação interna do material no elemento sensível, a resistência na ponte de *Strain Gauge* varia. Isto resulta uma alteração no sinal de saída das células de carga. Este sinal é amplificado para as faixas de trabalho adequadas por um circuito amplificador externo. Na figura 9 é possível entender o diagrama de ligação simples de uma célula de carga Montalvo U75.



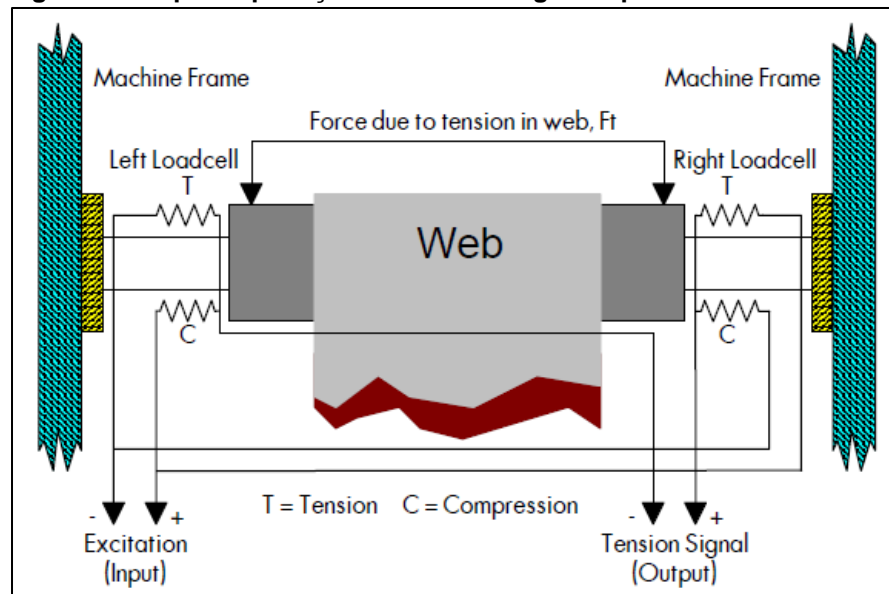
Figura 9 - Diagrama ligação célula de carga Montalvo U75



Fonte: Adaptada do datasheet load cell U75 Montalvo Corporation

Nota-se que nos pinos 1 e 4 são ligados a excitação com alimentação externa DC estabilizada. Logo, segundo as leis de Kirchoff baseado no estiramento do elemento “*Strain Gauge*” há uma variação da resistência consequentemente a tensão vista pelos terminais 1 e 2 se altera. A figura 10, também exemplifica um típico diagrama de células de cargas montadas em par onde nota-se que os terminais das células de carga, são montados de forma a se oporem um do outro com relação a tensão de excitação e a saída.

**Figura 10 - Típica aplicação célula de carga em par**



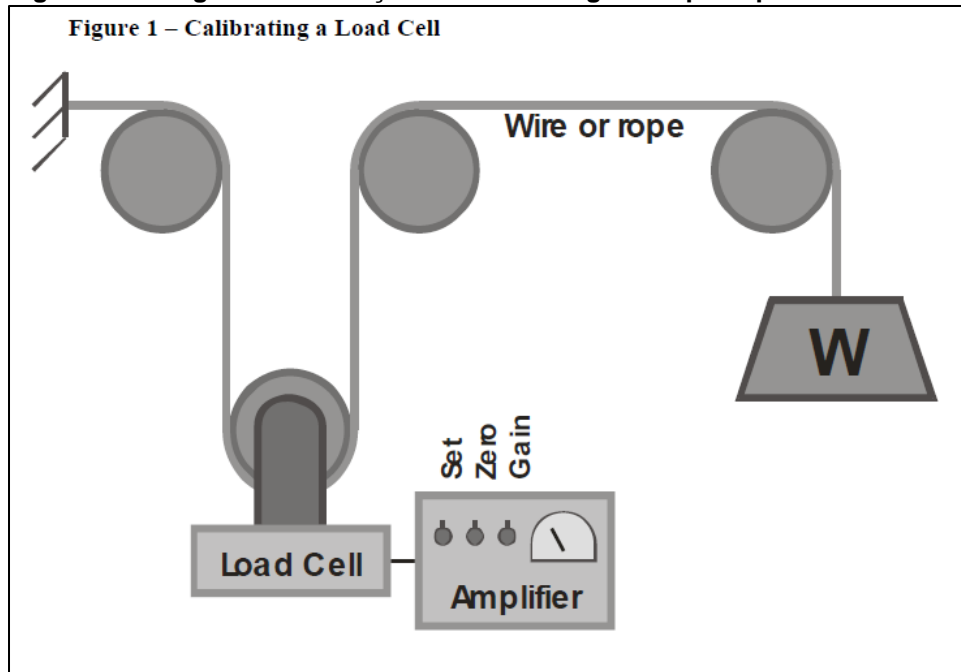
Fonte: Adaptada datasheet Strain Gauge HA351948

### 2.3.4 Calibração da Célula de Carga

Calibração é necessário configurar o circuito amplificador de modo que seja ignorado a força realizada pelo peso do cilindro. São ajustados o zero e a tensão máxima de trabalho desejadas de acordo com cada aplicação. Inicialmente é retirado toda a carga ou peso da célula de carga e então ajustado o “0” do amplificador. Após isso usando cintas com pesos calibrados ou talha de calibração, aplica-se carga sobre ela até a tensão máxima desejada, onde será obtido um valor de tensão ou corrente na saída do amplificador. Após isso ajusta-se o ganho de acordo com o valor obtido para a tensão máxima desejada. Por exemplo deseja-se trabalhar em um range de 0-4000N onde o cartão do controlador lê um sinal de 0-10 VDC. Ou seja, significa que deve-se ajustar o amplificador onde 4000 N equivale a 10 VDC na saída. Após o ajuste de range (máximo e mínimo) e necessário checar a linearidade do sinal, onde aplica-se mais tensão ou menos dentro do range de trabalho, se a diferença for muito grande em torno de +- 3%, é necessário ajustar o ganho do amplificador para aquela faixa de tensão. Vale lembrar que a tolerância varia de acordo com a aplicação; linhas de laminação onde os sistemas são mais robusto e o papel/filme tem uma dureza maior, trabalham com valores de tensão e tolerância mais altos, em torno de 2000N; linhas onde o filme é sensível e necessita-se de uma maior precisão no tensionamento.

A figura 11 exemplifica um modelo de calibração de célula de carga com quatro cilindros, um amplificador com ajuste de ganho, zero e set (ajuste).

**Figura 11 - Diagrama Calibração célula de carga com peso padrão**

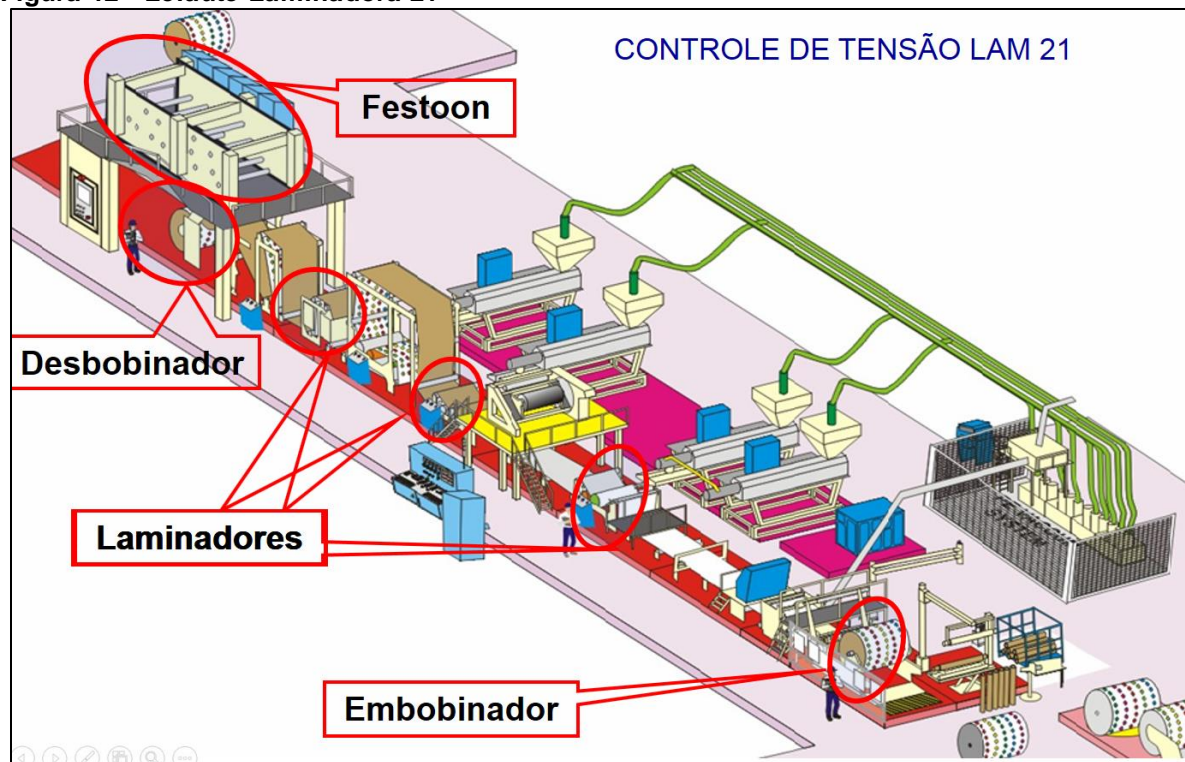


Fonte: Artigo David R. Roisum: What is the Best Tension for My Product

## 2.4. SISTEMA DE TENSIONAMENTO DA LINHA LAMINADORA

Como mostrado na figura 1 e 12, a laminadora 21 possui cinco pontos principais de controle de tensionamento. Cada um dos pontos circulos na figura 12, são acionamentos individuais que trabalham de forma sincronizada em termos de velocidade e tensão do papel.

Figura 12 - Leiaute Laminadora 21



Fonte: Adaptado documentação interna Indústria de embalagens

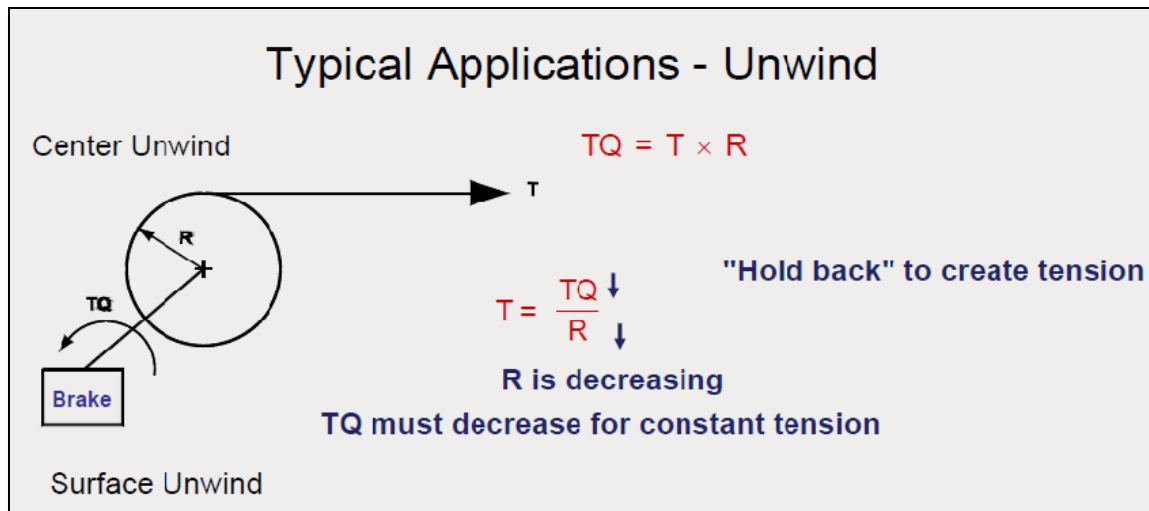
Os acionamentos principais são feitos por motores de corrente contínua controlados por conversores do modelo Eurotherm 590P, também chamados de *Drivers*. Os *drivers* estão em uma topologia de rede tipo anel que se comunicam entre si por meio de fibra óptica.

### 2.4.1 Desbobinador de Papel

Tem a função de desbobinar ou desenrolar papel para o restante da linha de forma estável com a velocidade sincronizada. É composto por dois motores CC de

55KW os quais possuem *feedback* por tacogerador de tensão. O tacogerador por sua vez gera a realimentação de velocidade para o *Driver* que controla através de disparo tiristorizado a corrente e tensão fornecida ao motor CC. A figura 13 apresenta um típico sistema desbobinador de papel com controle por torque, indicado por TQ, mostrando um rolo controlado ou freado pelo motor. A caixa onde se lê *brake*, indica um motor que trabalha na maioria do tempo, freando o rolo ou papel que está sendo puxado pela linha (T) tensão aplicada, conseqüentemente, é inversamente proporcional ao diâmetro do rolo.

Figura 13 - Diagrama típico de desbobinador



Fonte: Darrell Whiteside

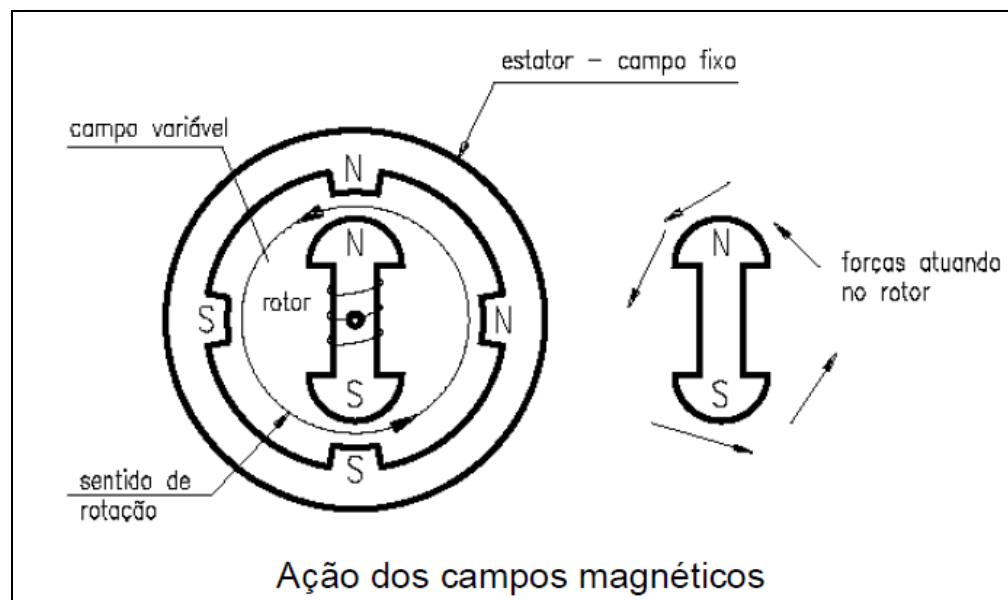
#### 2.4.2 Motor CC

As máquinas de corrente contínua são utilizadas em sua maioria em linhas onde necessita-se de um controle de velocidade, sistemas onde trabalha-se freando um sistema. Apesar de antigos, os motores DC ou CC ainda são muito utilizados em aplicações como: Máquinas de papel, embobinadores e desbobinadores, laminadores e extrusoras. Os aspectos construtivos dos motores CC basicamente são dois elementos, o estator e o rotor. Há dois enrolamentos campo ou ímã permanente e armadura.

“O estator é composto de uma estrutura ferromagnética com pólos salientes aos quais são enroladas as bobinas que formam o campo, ou de um ímã permanente.” Eng. (FLAVIO HONDA, Siemens).

A figura 14 mostra o desenho de um motor CC com campo variável. A tensão resultante na armadura gera um campo magnético suficiente para mover o rotor do motor. A corrente de campo é aplicada no estator, que resultará em um campo magnético responsável por controlar a velocidade do motor. Há alguns casos em que o motor tem campo fixo ou de ímã permanente.

**Figura 14 - Motor CC com enrolamento de campo**



Fonte: Apostila de Automação Industrial M. Eng. Rodrigo Cardozo Fuentes

#### 2.4.3 Driver de Controle

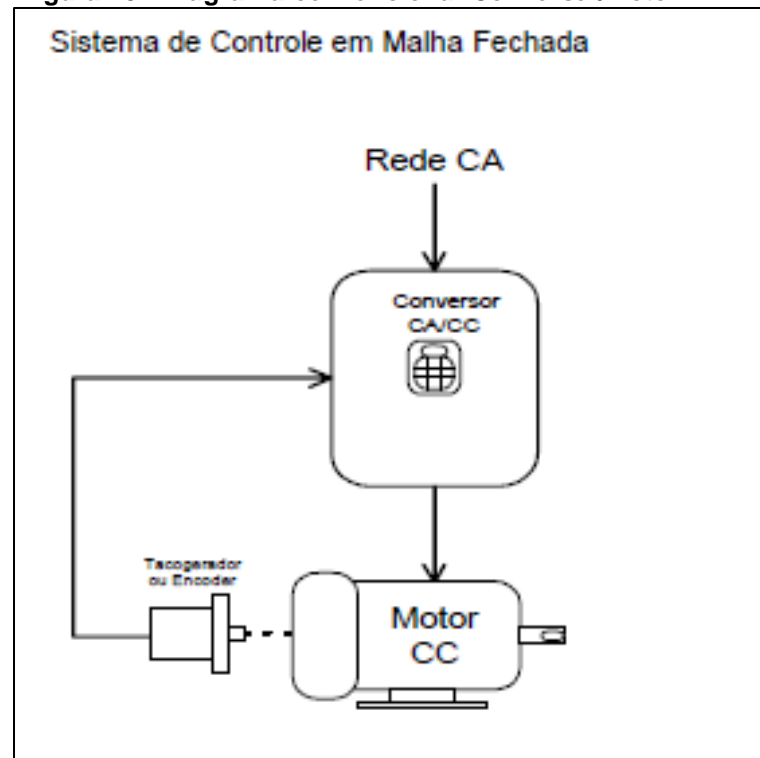
*Drivers* ou conversores de controle são equipamentos de precisão e confiabilidade, destinados ao acionamento e controle de motores de corrente contínua. Todas as funções tais como disparo, regulação, proteções e sinalizações são definidas por um controlador. Isso garante grande flexibilidade e facilidade na adaptação às mais diversas aplicações, nos mais variados segmentos industriais.

“São constituídos basicamente de um estágio de potência e um estágio de controle. O estágio de potência é formado por uma ponte tiristorizada, trifásica, totalmente controlada ou duas pontes tiristorizadas, trifásicas, em configuração antiparalela, o que possibilita a este operar em quatro quadrantes, com frenagens regenerativas e reversões no sentido de rotação. No estágio de controle estão o microprocessador e demais circuitos com os

algoritmos e interfaces para a regulação, disparo, proteção e sinalização.  
**Weg equipamentos industriais, datasheet CTW04”**

Essa estrutura possibilita controlar a velocidade e o torque do motor CC de acordo com a necessidade e aplicação, variando a tensão fornecida e a corrente nos enrolamentos de armadura e campo. No figura 15 tem-se um típico diagrama onde o conversor controla um motor com realimentação, ou seja, em malha fechada. Acoplado ao motor há um tacômetro ou encoder, estes com a função de gerar retorno de velocidade para o *Driver*.

**Figura 15 - Diagrama convencional Conversor/Motor**



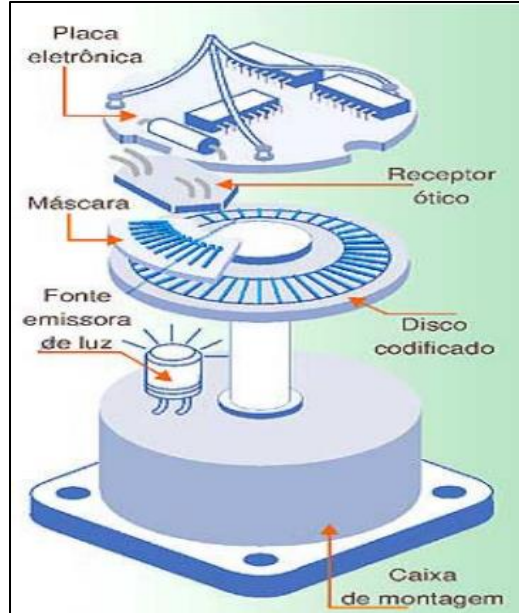
Fonte: Apostila de Automação Industrial M. Eng. Rodrigo Cardozo Fuentes

#### 2.4.4 Encoder

É um dispositivo ou transdutor que converte o giro do seu próprio eixo em sinais elétricos ou pulsos. Esses pulsos são decodificados em sinais binários e podem ser usados para gerar uma referência de posição ou velocidade, dependendo da aplicação. Basicamente o sistema é composto por uma fonte emissora de luz, um disco codificado que gira junto ao eixo, um receptor ótico e uma placa eletrônica que

interpreta os sinais elétricos gerados. Nas figuras 16 e 17 representa-se a estrutura interna do encoder e aspectos externos mais comuns.

**Figura 16 - Diagrama interno *encoder* comum**



Fonte: Trabalho realizado por Wagner José – 2007.2

**Figura 17 - *Encoder* incremental**

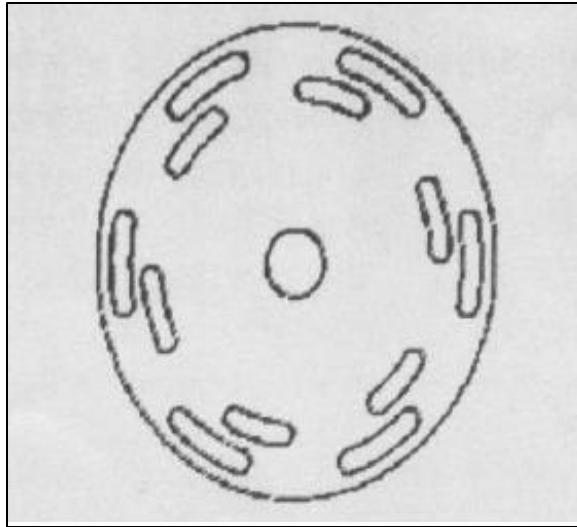


Fonte: Sick soluções e equipamentos

Os *encoders* podem ser do tipo incremental ou absoluto. O incremental possui no disco perfurado uma defasagem entre a posição dos perfis conforme a figura 18, o que gera dois sinais um defasado com relação ao outro visto pelos sensores óticos. Essa construção permite saber para qual sentido de rotação do eixo.



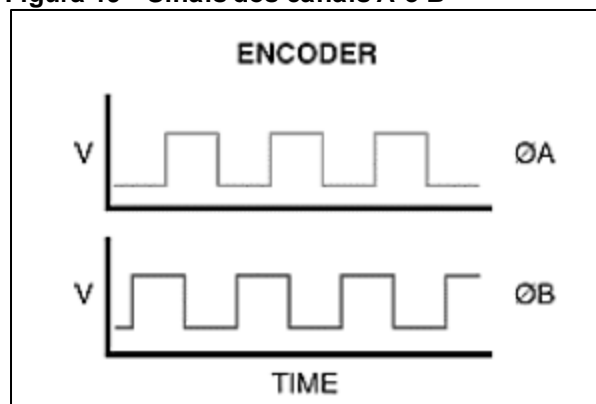
**Figura 18 - Disco *encoder* incremental**



Fonte: Universidade de Caxias do Sul 2008

Logo os sinais digitais lidos pelo circuito eletrônico serão também defasados um em relação ao outro como segue na figura 19.

**Figura 19 - Sinais dos canais A e B**



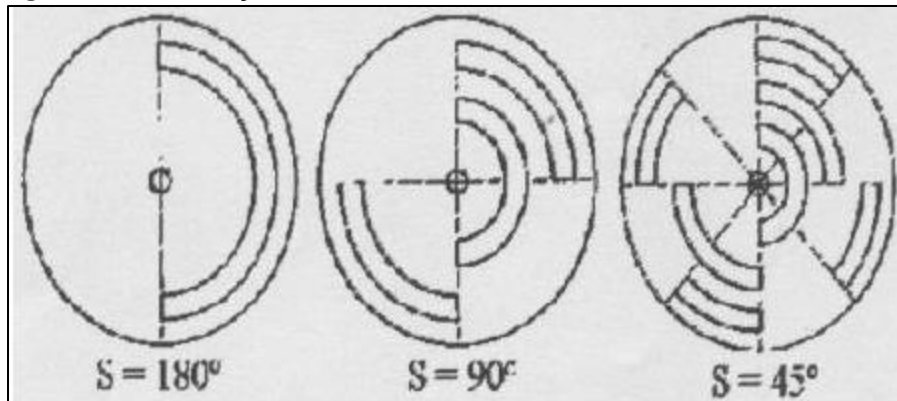
Fonte: Tekel Instruments Web site

Já o encoder absoluto possui anéis internos o que possibilita uma alta resolução e combinação de sinais, se comparado com os incrementais. É gerado um código para cada posição do disco, onde a precisão é dada por:

$$Precisão = \frac{360}{2^n}$$

Na figura 20, a estrutura interno do encoder absoluto, vê-se os anéis internos, o que permite ligar o equipamento e saber a posição exata do eixo.

**Figura 20 - Construção Interna *encoder* absoluto**



Fonte: Tekel Instruments Web site

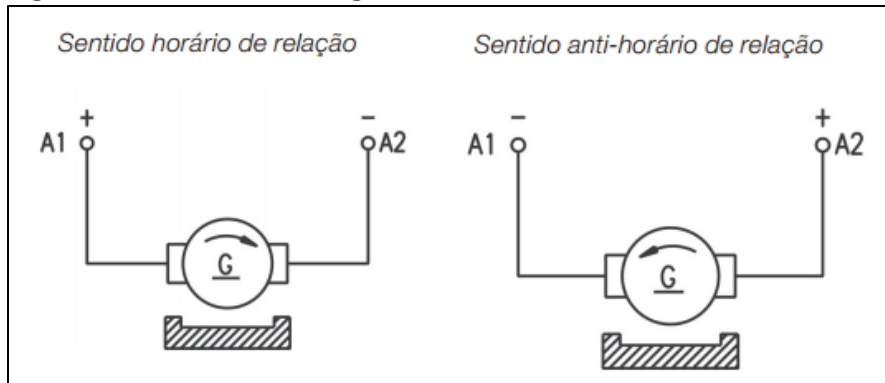
#### 2.4.5 Tacogerador

O Tacogerador de tensão é um componente utilizado em máquinas onde há a necessidade de um controle de velocidade permanente como: máquinas de controle numérico, máquinas de papel, embobinadores e desbobinadores de papel ou filme. O tacogerador (figura 21) funciona com o mesmo princípio do motor DC, existem ímãs permanentes no estator, com a função de produzir um campo magnético. O eixo do taco é acoplado ao motor de forma que transmita o movimento e gere a tensão de amplitude proporcional a velocidade do motor. A polaridade também depende do sentido de giro do motor como mostrado abaixo na figura 22.

**Figura 21 - Tacogerador Weg**



Fonte: old.weg.net

**Figura 22 - Polaridade tacogerador**

Fonte: old.weg.net

### 3. INICIO DAS ATIVIDADES DO GRUPO DE FMECA

O início das atividades do grupo ocorreu no dia 10 outubro de 2016 em uma fábrica de embalagens de Ponta Grossa, foi feito o lançamento do GT PM 190 – Erradicação de problemas relacionados com tensionamento na linha de laminação. O Grupo tinha por objetivo erradicar quebras referentes a problemas com tensionamento na linha mencionada a partir do ano de 2017. Seguindo a metodologia da folha do Fmeca, a primeira etapa consiste em levantar os membros do grupo e atribuir as respectivas funções de cada membro do time. A figura 23 exemplifica como foram divididas as atribuições de cada integrante.

**Figura 23 - Matriz de responsabilidades dos integrantes do grupo**

Responsabilidades					
	Manutentor Eletrônico Manutenção	Manutentor Eletrônico Manutenção	Técnico Automação Manutenção	Manutentor Mecânico Manutenção	Manutentor Mecânico Manutenção
Agendar/ Organizar reuniões					
Atualização de Indicadores					
Atualização de Tabela					
Análises FMECA					
Ops / Its (padronização)					
Implementação de ações					

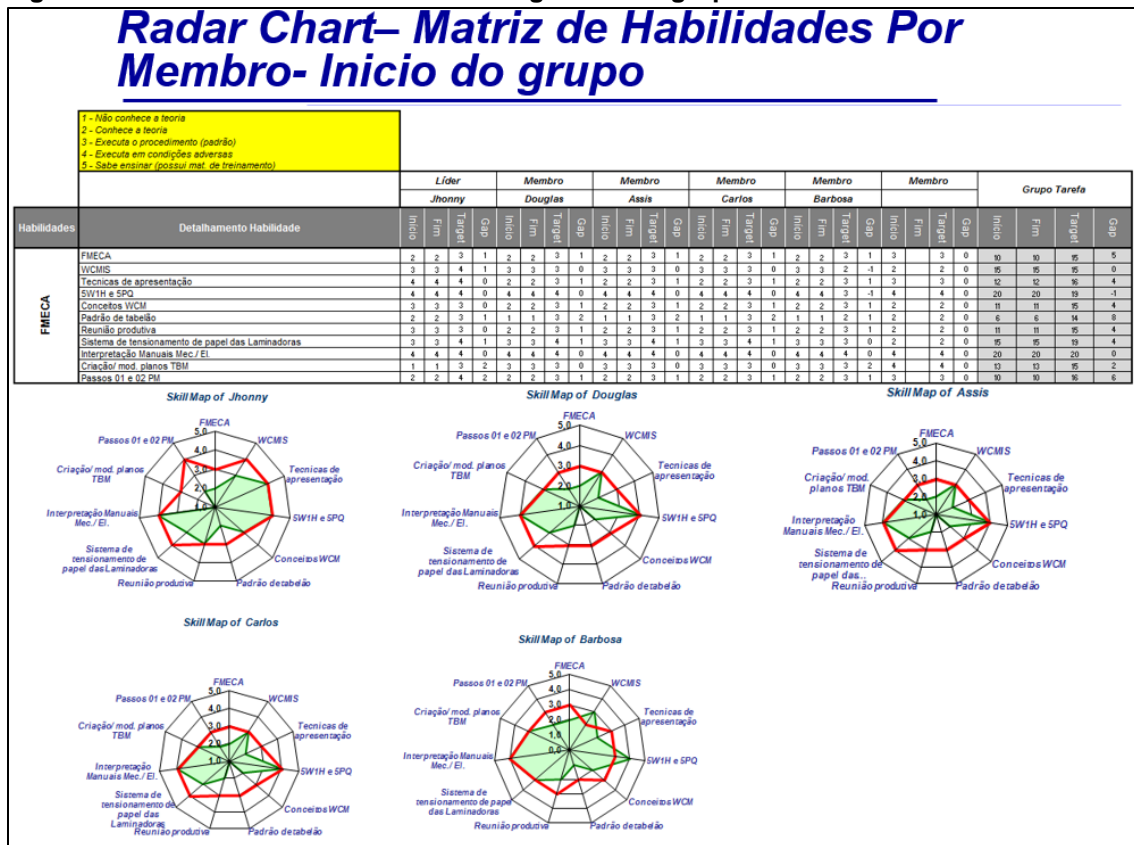
  

	<b>Sponsor</b> Maintenance Supervisor	<b>Legenda:</b> ■ Responsabilidade ■ Backup da atividade
---	--	--

Fonte: Material interno Indústria de embalagens

Com as atividades já atribuídas para cada membro é necessário saber quais as habilidades de cada membro e quais as maiores lacunas de conhecimento. Para isso é montado um mapa de habilidades de cada integrante, com o objetivo de obter um gráfico de habilidades e conhecimento de todo o grupo. Na figura 24, tem-se o gráfico de habilidades nas ferramentas necessárias para trabalhar com o Fmeca.

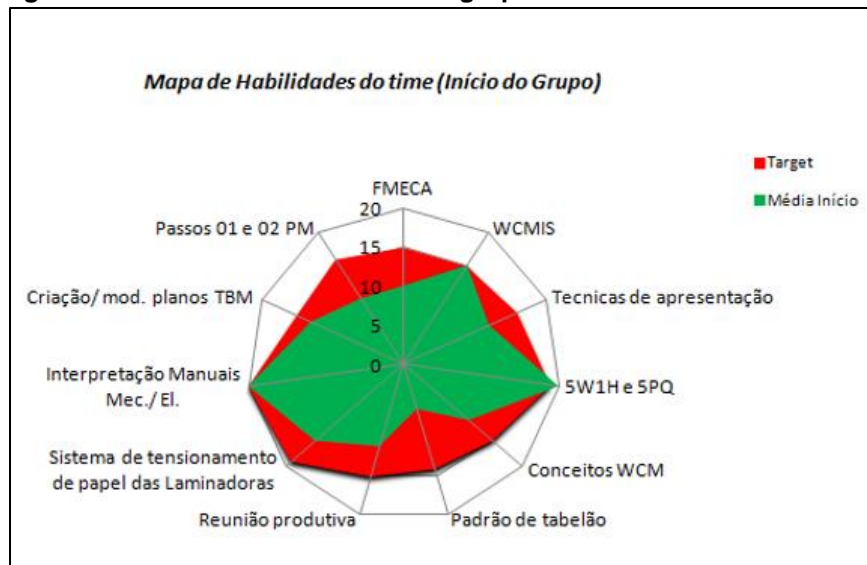
Figura 24 - Matriz de habilidades dos integrantes do grupo



Fonte: Material interno Indústria de embalagens

Após ter uma análise das habilidades por integrante do grupo obtém-se um gráfico das habilidades do grupo em geral. O objetivo disso é identificar as lacunas de conhecimento e ao final do grupo, ter aumentado o mapa de habilidades de todos os integrantes. Na figura 25 observa-se o mapa inicial de habilidades do grupo baseado em tópicos como WCMS (Sistema interno informatizado), técnicas de apresentação, cinco “Por Quês”, reunião produtiva, sistema de tensionamento de papel da laminadora e interpretação de manuais.

**Figura 25 - Matriz de habilidades do grupo**



**Fonte: Material interno Indústria de embalagens**

Observa-se que o grupo tinha déficit de conhecimento nos itens Padrão de quadro de apresentação, passos 1 e 2 do pilar de manutenção planejada e também na metodologia Fmeca. Para esses itens, uma das primeiras atividades antes do grupo iniciar foi a realização de treinamentos internos com o objetivo de sanar as lacunas. Foram realizados três treinamentos internos, todos nas respectivas datas: 11, 13 e 14/08/2017.

#### 4. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES E ACOMPANHAMENTO

Seguindo a metodologia Fmeca, é necessário um cronograma de todas as atividades, chamado *Master Plan*. Nele contém todas as atividades do grupo com acompanhamento semanal e com status desde o início até a conclusão. O período total desde o início até o encerramento foram trinta e uma semanas de trabalho. A figura 26 mostra o modelo do cronograma adaptado devido ao tamanho do arquivo original.

Figura 26 - Cronograma Fmeca

Cronograma de Atividades					Grupo: PML_190 - ERR				
Passos		Atividades			AGO		SET		
					34	35	36	37	38
0	1	Metodologia FMECA	Formação da Time	Plena					
				Real					
	2		Apresentação da metodologia FMECA e entendimento da ferramenta	Plena					
				Real					
	3		Elaboração do MASTERPLAN	Plena					
				Real					
	4		Atribuição de responsabilidades para os membros do grupo	Plena					
				Real					
	5		Levantamento de embasamento teórico para realização do trabalho	Plena					
				Real					
	6		Elaboração do Embasamento Teórico	Plena					

Fonte: Autoria própria

Durante as execuções das atividades todas as reuniões do grupo foram registradas no sistema interno da empresa onde é possível registrar reuniões, descrever pautas e controlar a participação dos integrantes nas reuniões. Foram um total de dezoito reuniões e participação média de 86,6% (oitenta e seis virgula seis por cento).

##### 4.1. AUDITORIAS DE ACOMPANHAMENTO

A auditoria é uma checagem de como o grupo trabalhou ao longo da sua trajetória. Foram confrontadas as atividades com o cronograma *Master Plan*, verificando o andamento do grupo, atrasado ou “*on time*”, o que significa que está progredindo conforme o esperado e planejado. O grupo foi auditado pelo departamento de manutenção planejada com o intuito de direcionar a equipe com a execução das atividades. As auditorias realizadas pelo departamento de Engenharia

de Processos WCM tem o intuito principal de pontuar e avaliar o desempenho do grupo de acordo com uma folha padrão que muda de acordo com a metodologia de trabalho de cada grupo. Após a realização das auditorias as mesmas também foram lançadas no sistema de gestão do grupo onde é possível ver o gráfico de evolução da nota em relação ao tempo. O sistema também compara a nota atual com a nota esperada e mostra um status em verde, amarelo e vermelho. As pontuações serão apresentadas na seção 06.

## **5. EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES PROPOSTAS**

As atividades do grupo foram realizadas durante reuniões onde todos se isolavam das atividades diárias e se dedicavam somente as atividades relacionadas. Inicialmente foi realizado uma abordagem teórica sobre a linha de laminação mencionada. Foram levantados manuais, documentos, procedimentos e livros sobre princípio de tensionamento como também sobre a malha de tensionamento da linha Laminadora 21.

### **5.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS DOS SISTEMAS**

Como citado no item 2.2.1 o primeiro passo consiste em um levantamento de todos os itens envolvidos em um processo a nível componente, sejam eles eletroeletrônicos ou mecânicos. Foram identificados os aspectos de linha, máquina, sistema e subsistema das máquinas: desbobinador de papel, embobinador de papel, laminador 1, 2 e 3, Citadas no item 2.4. O objetivo dessa separação é ter mapeado toda a estrutura da linha ou máquina e todos os componentes envolvidos. Ao todo foram listados 163 (cento e sessenta e três) componentes mecânicos e eletrônicos nas máquinas mencionadas anteriormente.



## 5.2 AVALIAÇÃO DE CRITICIDADE DOS COMPONENTES

A avaliação de criticidade compreende os seguintes aspectos: segurança, qualidade, produtividade, meio ambiente e três tópicos relacionados a indicadores de manutenção, MTTR, MTBR e custo de manutenção. Na tabela 1 do item 2.2.1 vê-se como os itens foram analisados quanto aos aspectos citados.

Após avaliar os componentes com relação aos aspectos acima foram somadas as respectivas notas e qualificados os componentes de acordo com o resultado conforme a figura 27.

**Figura 27 - Lista de componentes para avaliação criticidade**

COMPONENTE	GRAVIDADE				MTTR	MTBF	CUSTO	TOTAL
	S	P	Q	M				
<b>FESTOON</b>								
<b>Acionamento elétrico longitudinal:</b>								
Motor AC SIEMENS	3	5	3	1	5	1	5	23
Encoder Siemens LE20	1	5	3	1	3	1	3	17
Drive motor eurotherm 590	5	5	3	1	5	1	5	25
Cabos de alimentação	3	3	3	1	3	1	1	15
Ventilador Weg 380V	3	3	1	1	1	1	1	11
Conversor AC / DC Eurotherm	5	5	1	1	5	1	5	23
Chave Seccionador Siemens	3	3	1	1	1	1	3	13
Fusíveis Siemens	3	3	1	1	1	1	1	11
Sensores Indutivos e Fim de curso (abertura)	1	3	1	1	1	1	3	11
<b>Acionamento mecânico longitudinal</b>								
Fuso/ Buchas / Acoplamentos	1	5	3	1	5	1	5	21
Rolamentos	1	5	3	1	5	1	3	19
SYNCHRONIZED BELT GT2 14 MGT2800	1	5	3	1	5	1	1	17
CORREIA DENTADA 2820212 MMTORRES	1	5	3	1	5	1	1	17
POLIAS SINCRONIZADAS	1	5	3	1	5	1	3	19
Cilindros de Passagens	1	5	5	1	5	1	3	21

**Fonte: Material interno Indústria de embalagens**

Os componentes com nota igual ou maior a 19 foram classificados como críticos, portanto necessitam ser submetidos a folha de análise Fmeca. Dos 163 componentes listados e avaliados restaram 47 como sendo críticos. Para consultar lista de componentes avaliados ver Anexo 1.

## 5.3 PREENCHIMENTO DA FOLHA DE ANÁLISE FMECA

Dado início ao preenchimento da análise Fmeca (figura 28) onde a mesma é feita seguindo os passos da metodologia citada no item 2.2.1 a folha foi preenchida

da seguinte maneira. Para cada sistema e subsistema foi colocado os itens correspondentes na coluna item com sua função principal e listado os modos de falha potenciais mais comuns seguido do efeito da falha no processo. Para o item motor DC 55KW, 400V por exemplo foram listados quatro modos de falha principais mais comuns na linha de laminação. Queima do enrolamento de campo do motor, queima do enrolamento de armadura do motor, *flash over* no motor (curto circuito entres espiras e carcaça) e faiscamento entre escovas e comutador.

Figura 28 - Planilha Fmeca, Item, função, modo de falha e efeito da falha.

ÍTEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA
Motor DC 55KW, 400V.	1.Transformar energia elétrica em energia mecânica gerando movimento rotacional do seu eixo.	Queima do enrolamento de campo do motor.	Impossibilidade de rodar motor (MTTR >3horas)
		Queima do enrolamento de armadura do motor.	Impossibilidade de rodar motor (MTTR >3horas)
		Flash Over the Motor	Impossibilidade de rodar motor (MTTR >3horas)
		Faiscamento entre escovas e comutador	Corrente acima da nominal do motor

Fonte: Material interno Indústria de embalagens

Após o levantamento dos modos de falha e efeitos dos 47 itens iniciou-se o preenchimento e levantamento das causas potenciais para cada modo de falha. Durante essa etapa foi utilizada a ferramenta *Brain Storm* (Tempestade de ideias) com o intuito de levantar todas as causas potenciais e lançar na planilha as causas mais prováveis. Algumas delas ainda passíveis de chegar a causa raiz, ou seja, quando a causa não está clara suficiente e é possível explicar perguntando “Por Quê” até chegar na causa primária. Somente chegando na causa primária do problema, que é possível sugerir uma ação de contra medida confiável e segura. Exemplificando a causa potencial:

**Item:** Célula de carga U75 5000N Montalvo

**Função:** Gerar tensão de acordo com a deformação do elemento sensível variando sua resistência interna (Princípio de Strain Gauge).

**Modo de falha:** A. Falta/Falha na linearidade no sinal de corrente.

**Efeito da falha A:** Falha no controle de tensão podendo causar dobras no material e quebra de papel com DT maior que uma hora.

**Tabela 2 - Causa Falta/Falha na linearidade no sinal de tensão da célula de carga**

1				Deformação do elemento sensível da célula de carga
	2			Aplicado força maior que a célula de carga suporta
		3		Calibração feita incorretamente
			4	Passagem da cinta incorreta
			5	Padrão para passagem da cinta desatualizado
			5.1	Alterado cilindros e não foi atualizado procedimento
	2			Excesso de força vetorial durante a calibração
		3		Dinamômetro atual permite calibração com força 2000N a mais que o range de trabalho

**Fonte:** Material interno Indústria de embalagens

Os tópicos que são abertos após os itens 1 da tabela 3 são o que chama-se do próximo “Por Quê” da causa. O objetivo é abrir as causas potenciais até chegar na causa raiz. Por exemplo a causa raiz de uma possível falha na linearidade do sinal gerado pela célula de carga citada acima, seria “1 Deformação do elemento sensível”, “por quê?”. 2 “Excesso de força vetorial durante calibração da célula de carga”, por quê? 3 “Dinamômetro de calibração permite aplicar 1000N de força vetorial além do necessário”.

Nesse caso a análise levou o grupo a um ponto de vista em que o equipamento possibilita ao técnico realizar erroneamente a calibração, logo a ação de melhoria para evitar esse potencial de falha foi a aquisição do equipamento adequado junto ao procedimento e treinamento dos envolvidos.

### 5.3.1 Pontuação das Causas Potenciais

A pontuação das causas potenciais foram realizadas levando em conta três aspectos: frequência, consequência (abrangendo segurança, qualidade e produção)

e detecção. Para determinar os pesos das pontuações de cada causa foi levado em consideração o quadro da figura 29 abaixo.

Figura 29 - Formulário de cálculo RPN

<b>Frequência da Falha:</b>		<b>Impacto na produção (DT):</b>	
Sem incidências	0	Não afeta a produção	0
1 falha por ano	1	Para a linha por menos que 15 minutos	1
Entre 1 e 3 falhas por ano	2	Parada de 15 minutos para 01 hora	2
Mais que 3 falhas por ano	3	Parada de 01 hora para 02 horas	3
		Parada de 02 horas para 04 horas	4
		Para a linha por mais de 04 horas	5

<b>Impacto em Segurança</b>		<b>Impacto em Qualidade</b>		<b>Detecção</b>	
Não impacta em segurança	0	Não impacta em qualidade	0	O operador pode facilmente detectar normalmente durante a operação	0
Risco pequeno de acidente (Sem afastamento)	1	Parcial perda em uma ordem de produção	1	Como detectar é conhecido e existe um plano de inspeção para tal.	1
Risco maior de acidente (com afastamento)	2	Total perda da ordem de produção	2	É conhecido como detectar, porém não ha um método de como faze-lo.	3
Risco de sérios acidentes (danos permanentes)	3	Risco de Issue pelo cliente	3	Não é conhecido como detectar.	5

Fonte: Material interno fábrica de embalagens em Ponta Grossa PR (2016)

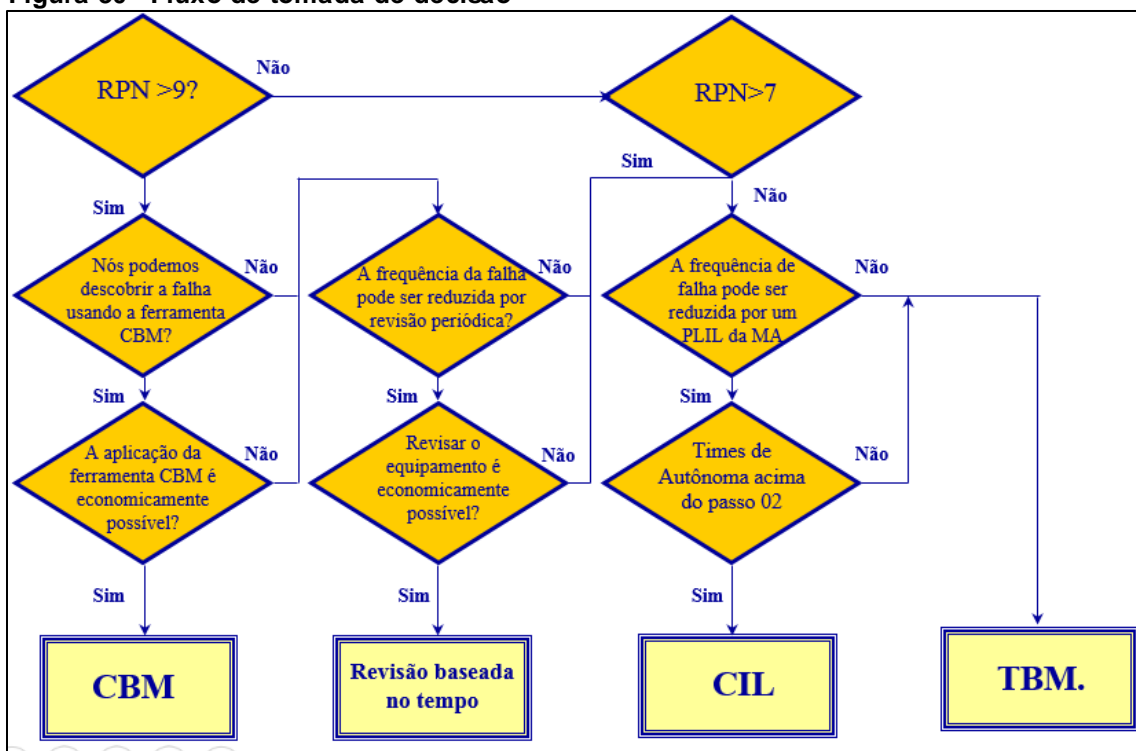
Cada causa em questão foi confrontada com o quadro acima e atribuída a nota na coluna de pontuação do Anexo 2 ao final deste trabalho.

### 5.3.2 Classificação das ações

Feito a pontuação das causas o próximo passo foi determinar que tipo de ação deveria ser tomada para evitar que o modo de falha aconteça. Para isso foi utilizado um fluxo de tomada de decisão padrão de acordo com a metodologia (figura 08). A padronização das ações através do método garante que os integrantes que estão aplicando a ferramenta não proponham ações que sejam mais cômodas ao invés de eficazes, ou seja, a ação deve tratar a causa raiz potencial e não o efeito. Ainda na figura 08 tem-se o diagrama decisional o qual foi aplicado para cada causa potencial levantada. Se o item tiver nota em segurança maior que um, vai para a próxima etapa. “A falha pode ser evitada redesenhando o equipamento”? Se a resposta for sim e for

economicamente possível, aplica-se uma melhoria. Se a resposta for não, vai para o próximo fluxo de decisão. Modos de falha e causas em que segurança for menor que um e o cálculo de RPN for menor que 3, não necessita de ação de manutenção. Para casos em que não é viável re-projeto a análise segue para o próximo diagrama (Figura 30). Nesse diagrama são possíveis quatro tipos de ações CBM (*Condition based maintenance*) manutenção baseada em condição, revisão baseada em tempo, CIL (*check list*, inspeção operacional e plano de lubrificação), TBM (*Time Based Maintenance*) manutenção baseado em tempo independente da condição.

**Figura 30 - Fluxo de tomada de decisão**



Fonte: Material interno fábrica de embalagens em Ponta Grossa PR (2016)

Revisão baseada em tempo significa que a cada tempo determinado desmonta-se um componente ou sistema para inspeção interna por exemplo. Já o TBM é a troca do componente independente da condição, baseado em estudos se determina a vida útil e o tempo de troca.

Após a classificação houve a distribuição das ações por membro da equipe. A análise proporcionou uma lista de 101 ações dentre elas ações de melhoria, restauração de condição básica, atualização de planos de manutenção, criação e revisão de procedimentos e também itens que passaram a ser cobertos pelos planos

operacionais de manutenção autônoma. Na figura abaixo 31 observa-se o gráfico quanto a classificação das ações onde:

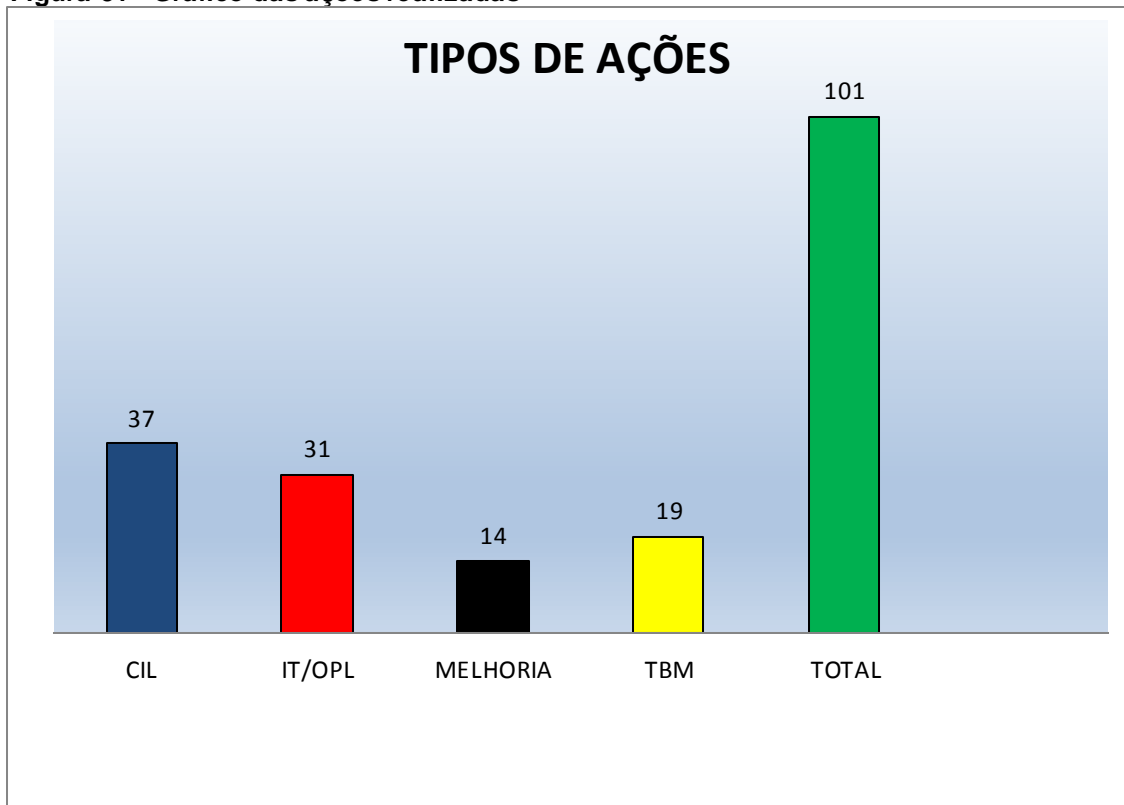
CIL: Compreende-se por ações que foram inseridas no *Check List*, inspeção e plano de lubrificação operacional.

IT/OPL: Ações referentes a procedimentos que foram criados e treinados os envolvidos.

MELHORIA: Ações de melhoria em máquina. (Reprojeto ou alteração física).

TBM: Ações que foram inseridas no plano de manutenção baseada em tempo.

Figura 31 - Gráfico das ações realizadas



Fonte: Autoria própria.

As ações foram listadas e inseridas no chamado *master plan* das ações onde cada uma delas obteve responsável e prazos de execução atribuídos.

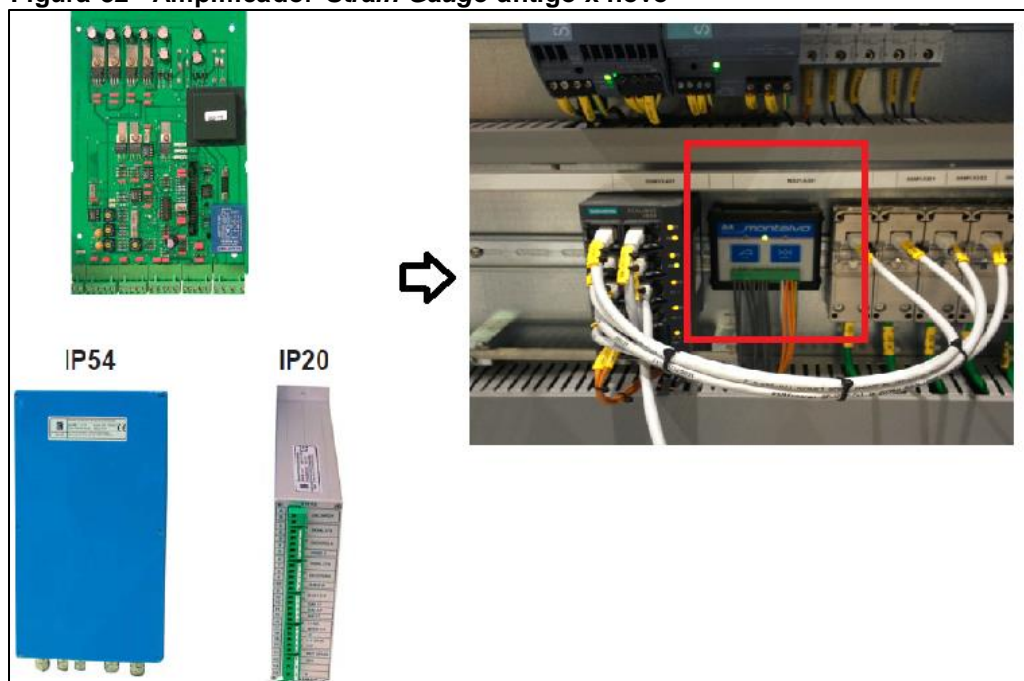
## 5.4 EXECUÇÃO E MONITORAMENTO DAS AÇÕES

As ações geradas foram sendo executadas pelos funcionários, porém houve um atraso na realização das ações devido a atrasos na etapa de cálculo do RPN e sugestão das ações. Nesse período foi necessário fazer replanejamento da execução do restante dos trabalhos para não comprometer a entrega dos resultados.

### 5.4.1 Ações Críticas

Dentre as ações algumas delas foram consideradas como importantes para a obtenção do resultado, como por exemplo a ação número 55 do anexo 3, upgrade do amplificador do sinal das células de carga do equipamento “laminador 2 e 3”. O amplificador antigo estava em processo de obsolescência, também constatado que era eletronicamente frágil perdendo facilmente a calibração do *range* de trabalho da célula de carga após desligamentos ou oscilações de energia com a máquina em trabalho. Juntamente com a empresa Montalvo, foi adquirido um amplificador de sinal atualizado para a aplicação, fabricado para o modelo de célula de carga instalada (figura 32).

**Figura 32 - Amplificador *Strain Gauge* antigo x novo**



Fonte: Autoria própria e 2PTR2 *strain gauge* datasheet.

Também relevante a ação de número 63 foi a compra e instalação de um *No break* de 30KVA responsável por estabilizar a tensão 220V AC e 24VDC nos componentes do sistema de controle de tensão de toda a linha. Abaixo na figura 33 a imagem do *No break* instalado e todos os disjuntores de distribuição os quais foram ligados nele.

**Figura 33 - *No break* e banco de baterias instalado proveniente da ação 63**



**Fonte: Autoria própria**

Outra ação considerada relevante foi a troca dos módulos de comunicação da linha Eurotherm dos *drivers* da linha que se comunicavam entre si para controle da malha de velocidade e tensão da linha. O sistema estava defasado e em obsolescência o que se tornou um grande potencial de risco caso um dos módulos viesse a falhar.

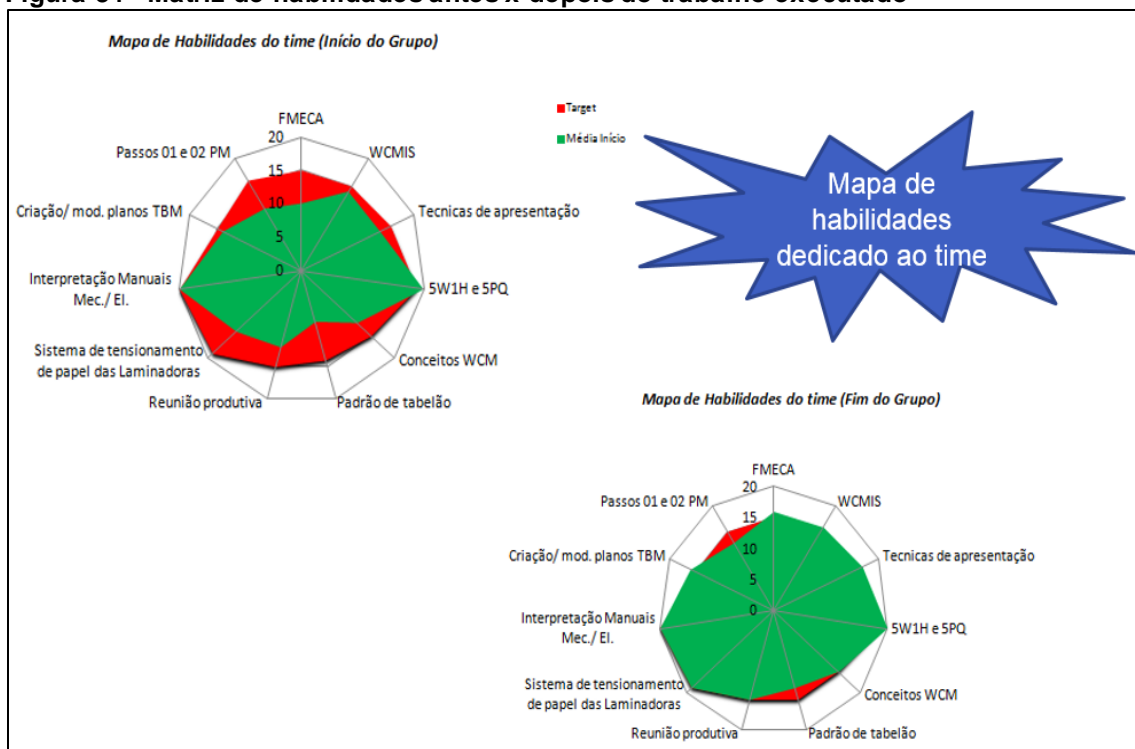


## 6. RESULTADOS

### 6.1 MAPA DE HABILIDADES DO GRUPO

No início dos trabalhos do grupo foi levantado o mapa de habilidades dos integrantes do grupo de melhoria como mostrado no item 3, figura 25. O esperado em grupos de melhoria é que o grupo elimine as lacunas de habilidade, isso implica em ganho de conhecimento e melhores resultados para a empresa. Ao encerramento do grupo notou-se um ganho significativo no mapa de habilidades da equipe, comparando o mapa inicial com o mapa final na figura 34.

**Figura 34 - Matriz de habilidades antes x depois do trabalho executado**



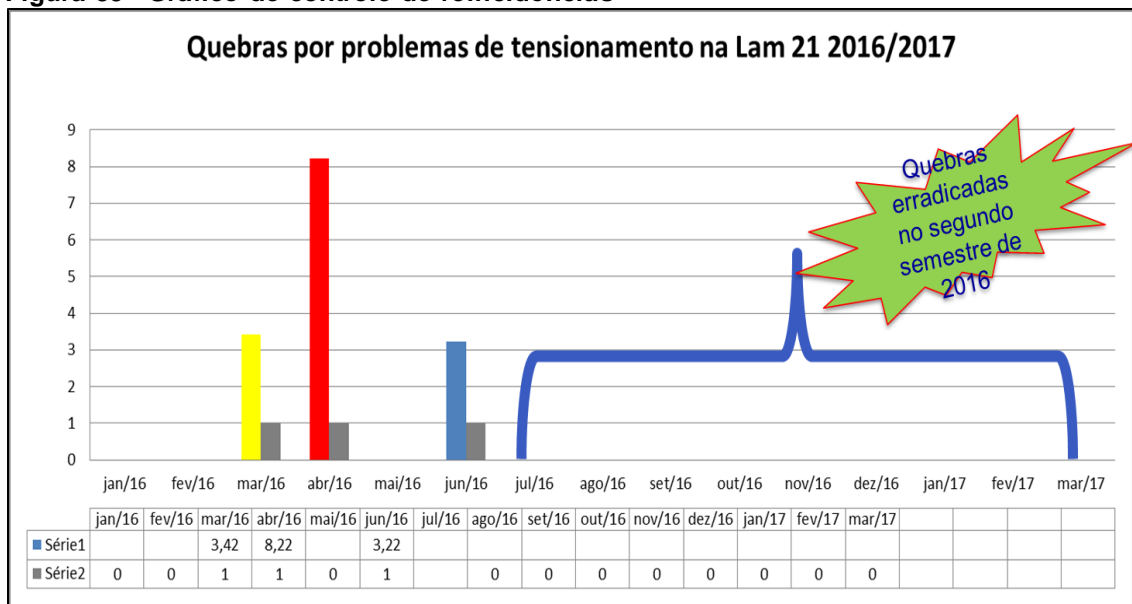
Fonte: Material interno fábrica de embalagens em Ponta Grossa PR (2017)

O mapa de habilidades do grupo ao final foi preenchido pelo líder do grupo juntamente com o facilitador, que normalmente é algum gestor da área. Isso garante confiabilidade as informações, evitando que os próprios integrantes se avaliem.

## 6.2 QUEBRAS ELIMINADAS NO SEGUNDO SEMESTRE DE 2016

Após a realização de mais de 30% das ações geradas pela análise RPN as quebras referentes a falhas no sistema de tensionamento foram erradicadas, ou seja, a partir do segundo semestre de 2016 não houve reincidência de falhas relacionadas com problemas de tensionamento na laminadora 21. No gráfico da figura 35 constata-se a obtenção do resultado.

Figura 35 - Gráfico de controle de reincidências



Fonte: Material interno fábrica de embalagens em Ponta Grossa PR (2017)

Considerando os custos de uma quebra por tensionamento mostrados no início desse trabalho (item 1.3 JUSTIFICATIVA) a empresa a qual foi aplicada a ferramenta economizou R\$ 1.305.360,00 (Um milhão trezentos e cinco mil, trezentos e sessenta reais), em um ano o ganho torna-se **R\$ 2.610.720,00**.

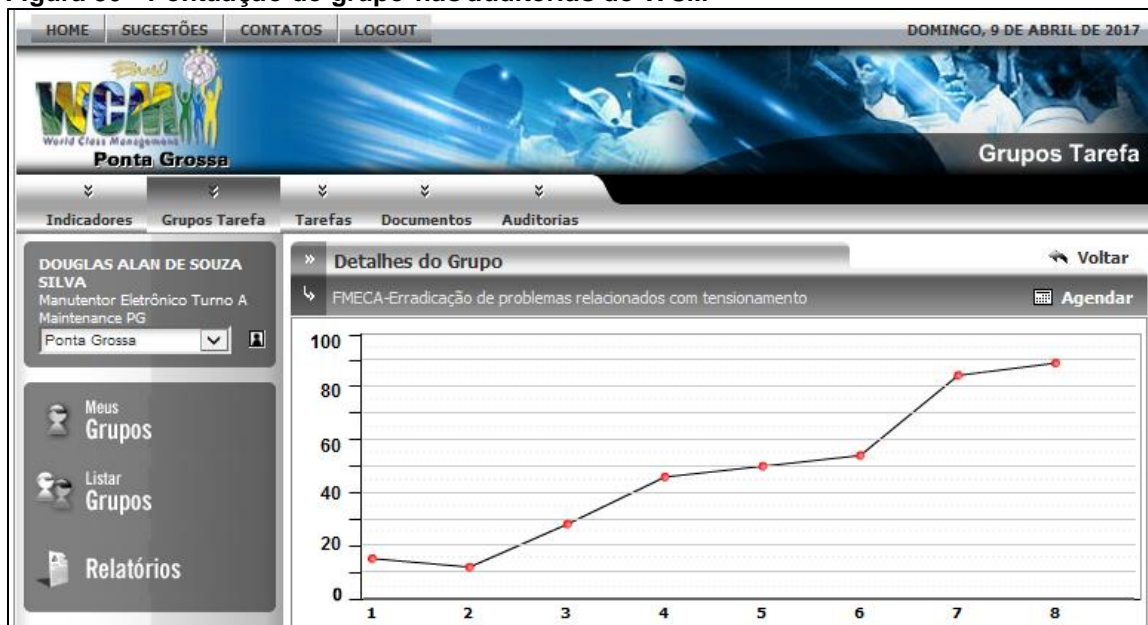
Houve uma melhora significativa com as ações principalmente a da instalação do *Nobreak*. Essa ação evitou um modo de falha chamado “*power failure*”, onde após uma oscilação de energia na rede elétrica, a tensão das fontes de 24 Volts de corrente contínua atingiam abaixo de 10 volts, fazendo perder calibração dos amplificadores das células de carga. Os treinamentos realizados com os operadores e os manutentores propiciaram um maior entendimento do sistema e também uma melhora no diagnóstico e nas inspeções diárias. Dentre os procedimentos criados estão os de checagem e calibração das células de carga da linha, o procedimento já existia mas

estava defasado e não cadastrado no sistema informatizado, o que possibilita o acesso de todos os técnicos. A troca dos amplificadores 2PTR2 por Montalvo também tiveram um peso significativo para a melhoria do sistema, já que os amplificadores antigos eram muito suscetíveis a variações de tensão elétrica enquanto linha em funcionamento, vindo a perder calibração.

### 6.3 ENCERRAMENTO DO GRUPO COM NOTA SUPERIOR A 80

Ao longo dos trabalhos do grupo foram realizadas oito auditorias pelo pilar de engenharia de processos WCM. Para o encerramento com sucesso o grupo precisava ter nota mínima de 80%. A nota é atribuída com base em uma folha de auditoria que avaliou principalmente o objetivo principal do grupo entre outros quesitos. Na figura 36 tem-se um gráfico de tendência com os resultados em porcentagem para cada auditoria que foi realizada. Ao final, a nota atingida foi de 89, o que comprova que as atividades foram efetivas e os ganhos para a empresa foram comprovados.

**Figura 36 - Pontuação do grupo nas auditorias do WCM**









































Fonte: Material interno Indústria de embalagens

## 6.4 PROCEDIMENTOS E AÇÕES FUTURAS

Das ações executadas durante o andamento do foram criados 19 procedimentos de treinamento e conhecimento, onde foram treinados os operadores e técnicos de manutenção. Esses procedimentos foram um ganho significativo para a empresa, visto que são aplicáveis a outras linhas de produção. Na figura 37 a lista de documentos realizada.

**Figura 37 - Documentos de treinamento e conhecimento criados pelo grupo**

» Documentos <span style="float: right;">Voltar</span>				
↳ FMECA-Eradicação de problemas relacionados com tensionamento				
Documento	VS	Categoria	Data	Status
OPL-6451-0 - Ajuste de posição do sensor analógico do dancer do Festoon da Lam 21	0	OPL	10/02/2017	 
OPL-6462-0 - Conectores de Rede Profibus	0	OPL	07/02/2017	 
- Documento incompleto	0	OPL	17/02/2017	 
OPL-6463-0 - Fusíveis para Dive de Acionamento do Embobinador Lam 21	0	OPL	17/02/2017	 
OPL-6464-0 - Fusíveis para Dive de Acionamento do Festoon e PeB Festoon da Lam 21	0	OPL	17/02/2017	 
OPL-6465-0 - Fusíveis para Drives DC do Desbobinador de Papel da Lam 21.	0	OPL	17/02/2017	 
OPL-6452-0 - Identificar as pontas da célula de carga	0	OPL	07/02/2017	 
OPL-6453-0 - Inspeção de tensão de alimentação 24V do encoder.	0	OPL	07/02/2017	 
OPL-6448-0 - Inspeção dos cilindros de passagem	0	OPL	10/02/2017	 
OPL-6466-0 - Inspeção dos cilindros de passagens	0	OPL	17/02/2017	 
OPL-6457-0 - Inspeção na temperatura de trabalho dos redutores	0	OPL	20/02/2017	 
OPL-6448-0 - Montagem de rolamentos com Kit	0	OPL	10/02/2017	 
OPL-6454-0 - Montagem de rolamentos com Kit	0	OPL	10/02/2017	 
OPL-6455-0 - Padrão de medição de pulsos dos tiristores dos laminadores	0	OPL	07/02/2017	 
OPL-6457-0 - Prensagem de terminais em cabos elétricos	0	OPL	20/02/2017	 
OPL-6457-0 - Torque correto para aperto de conexoes de motores elétricos	0	OPL	20/02/2017	 
OPL-6467-0 - Upgrade de hardware do drive da Pinça A do Desb. da Lam 21	0	OPL	11/02/2017	 
OPL-6457-0 - Verificação de conexões elétricas	0	OPL	20/02/2017	 
OPL-6456-0 - Verificação do encoder nos motores Siemens 1ph7	0	OPL	07/02/2017	 

Fonte: Material interno Indústria de embalagens

Após a execução das ações foi feito um estudo juntamente com a empresa ABB com intuito de realizar uma atualização no sistema de células de carga da linha de laminação, visto que o sistema atual mesmo com as melhorias, trata-se de tecnologia defasada. No Anexo 4 observa-se a cotação de todos os itens levantados para atualização do sistema já com orçamento de instalação. O custo do sistema instalado é aproximadamente R\$ 314.000,00. Justifica-se o investimento analisando o prejuízo em reais citado no item 1.3, que foi de R\$ 1.026.648,00. A proposta foi inserida na lista de investimentos da empresa para o ano de 2018.

## 7. CONCLUSÃO

Tendo em vista os objetivos traçados no início deste trabalho, pode-se dizer que os resultados foram muito bons levando em consideração que todas as atividades foram realizadas durante um período de seis meses e no horário de expediente dos integrantes. Todos os funcionários envolvidos são do departamento de manutenção, portanto, com uma alta carga de trabalho diária. O conhecimento técnico agregado na área de automação e controle foi muito útil, onde foi necessário reforçar e aplicar alguns conhecimentos adquiridos na formação, como análise de sistemas em malha fecha, estudos de controle PID (Proporcional, integral, derivativo), estudos de máquinas e seus elementos, técnicas de manutenção, informática aplicada, automação e controle discreto, entre outros. Um exemplo claro, foi que durante a realização do procedimento de calibração das células de carga da linha, foi necessário lembrar e constatar o princípio da ponte de *Strain Gauge* identificando cada extremidade. Para a realização de um trabalho Fmeca é necessário que todos os envolvidos estejam comprometidos e tenham disponibilidade para tal, visto que a carga horária utilizada nos passos, desde a coleta das informações em campo, até a execução e acompanhamento da eficácia das ações, é relativamente alta.

Constatou-se que a aplicação de ferramentas e técnicas de manutenção são eficazes quando aplicadas corretamente, muitas situações ou falhas são difíceis de serem analisadas durante um dia normal de trabalho. Às vezes é necessário retirar-se do ciclo comum diário para surgirem novas ideias e novas soluções.

O resultado principal adquirido foi a erradicação de quebras relacionadas com falhas no controle de tensão gerando a economia de **R\$ 2.610.720,00**. (Dois milhões, seiscentos e dez mil e setecentos e vinte reais) até o primeiro semestre de 2017, com um custo baixo das ações críticas que foram realizadas.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 5462 - **Confiabilidade e manutenibilidade (terminologia)**. Disponível em: <<http://www.eventos.abraman.org.br/pesquisa/glossario.php>> Acessado 24 de junho de 2017.

APOSTILA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. Universidade Federal de Santa Maria. Prof. M.Eng. Rodrigo Cardozo Fuentes. **Conceitos motor de corrente contínua e conversor CA CC estático**. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/fuentes>>. Acessado 10 de maio de 17.

ARTIGO: APLICAÇÃO DE FMECA PARA DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO EM UM SISTEMA DE CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO DE TURBOGERADORES. Eng.Cristiano Herpich, Ph.D Flávio Sanson Fogliatto. **Teoria Fmeca / Fmea e aplicação da ferramenta**. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianópolis, SC, Brasil. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br>>. Acessado 23 de março, 2017.

ARTIGO: “LAMINAÇÃO: AGREGANDO VALOR À EMBALAGEM”. Fabiana Silveira, Licenciada em Química, MBA em gestão de qualidade. **Teoria sobre processo de laminação**. Disponível em: <http://abflexo.org.br/artigo-tecnico/laminacao-agregando-valor-a-embalagem>. Acessado 23 de março, 2017.

BASICS OS WEB TENSION CONTROL, Conferência 16-20 St Louis, MO. 2007. Darrell Whiteside, Sales manager. **Teoria desbobinador / embobinador de papel**. Disponível em: <<http://www.tappiplace.org>>. Acessado 24 de Março de 2017.

Chris Rauwendaal. **UNDERSTANDING THE EXTRUSION**. Hanser Gardner Publications, Inc. Cincinnati 1998.

DATASHEET WEG CTW04. **DRIVER DE CONTROLE CA CC**. Disponível em: <<http://www.weg.net>>. Acesso em 26 abril. 2017

David R. Roisum, Ph.D. Artigo **THE BEST TENSION FOR MY PRODUCT**. FINISHING TECHNOLOGIES, INC, 2006 Neenah, WI 54956.

David R. Roisum, Ph.D. **THE MECHANIC OF THE ROLLERS**. TAPPI PRESS, Atlanta, 1996.

Jones, J.P. **DETERMINE TENSION VALUES**. Converting Magazine.

MANUAL SIEMENS MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA. Publicação Técnica. Edição 01.2006. Eng. Flávio Ronda. **PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO MÁQUINAS CC**. Disponível em: <[www.siemens.com.br/motores](http://www.siemens.com.br/motores)>. Acesso em 26 de abril, 2017.

Melo S. F, Felipe, Trabalho de Instrumentação e Eletrônica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Tecnologia. 2008. **Tipos de encoder, incremental e absoluto**. Disponível em: <<http://www.ct.ufrn.br>>. Acessado 10 de maio de 17.

Pires, Marconi. **Histórico do Poliuretano, laminação**. Disponível em: <<http://poliuretano.wordpress.com/historia-do-poliuretano/>>. Acesso em: 30 03. 2017.

PRODUCT MANUAL PARKER. PARKER SOLUTIONS. **2PTR2 Strain Gauge Signal Conditioner. Princípio de funcionamento célula de carga**. Disponível em: <<http://www.SSDdrives.com>>. Acessado 30 de abril de 17.

SICK SOLUÇÕES E EQUIPAMENTOS. **Encoder incremental e absoluto**. Disponível em: <<http://www.sick.com.br/br/produtos/sensoresindustriales/encoder/pt.html>>. Acesso em: 01 de maio de 2017.

SMITH R.; R. KEITH R. K. **Rules of thumb for maintenance and reliability engineers**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2008.

WEG PRODUTOS E SERVIÇOS (ADAPTADO). **Princípio de funcionamento motor DC e tacogeradores**. Disponível em: <<http://old.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Motores-Eletricos/Corrente-Continua/Tacogeradores>>. Acesso em 02 de maio, 2017.

**ANEXO 1 - LISTA DE COMPONENTES LEVANTADOS PARA ANÁLISE**



COMPONENTE	GRAVIDADE				MTTR	MTBF	CUSTO	TOTAL	ESPEC.
	S	P	Q	M					
Drive motor	5	5	3	1	5	1	5	25	E
Chill roll	3	5	5	1	5	1	5	25	M
Cilindro POP	5	5	3	1	5	1	5	25	M
MODULO DE POTÊNCIA EURO THER 270A	3	5	3	1	5	3	5	25	E
MODULO DE POTÊNCIA EURO THER 180A	3	5	3	1	5	3	5	25	E
Motor AC 180 A	3	5	3	1	5	1	5	23	E
Conversor AC DC	5	5	1	1	5	1	5	23	E
Drive AC	3	5	3	1	3	3	5	23	E
Cilindro Dry Roller	3	5	3	1	5	1	5	23	M
Motor DC 180A	3	5	3	1	3	3	5	23	E
Coletor/Escovas	3	5	3	1	5	1	5	23	E
Redutor	3	5	3	1	5	1	5	23	M
Motor DC 200A	3	5	3	1	5	1	5	23	E
Redutor	3	5	3	1	5	1	5	23	M
Mancais / Rolamento	3	5	3	1	5	1	5	23	M
Bomba hidráulica	3	3	3	3	3	3	5	23	M
Fuso/ Buchas / Acoplamentos	1	5	3	1	5	1	5	21	M
Cilindros de Passagens	1	5	5	1	5	1	3	21	M
Dive DC	3	3	3	1	3	3	5	21	E
REDUTOR ORTOGONAL HELIMAX Nº18 CESTARI	3	5	1	3	3	1	5	21	M
LOAD CELL U75-5000N MONTALVO	1	5	3	1	5	1	5	21	E
Amplificador cel. Carga 2ptr2	1	5	3	1	3	3	5	21	E
Cilindro NIP Borracha	3	1	5	1	1	5	5	21	M
Cilindro Hidráulico 50Bar	3	3	3	3	3	1	5	21	M
Bomba hidráulica	3	3	3	3	3	1	5	21	M
Rolamentos	1	5	3	1	5	1	3	19	M
POLIAS SINCRONIZADAS	1	5	3	1	5	1	3	19	M
SENSOR INDUTIVO analógico 4 A 20 mA	1	5	3	1	5	1	3	19	E
Válvula Proporcional	1	5	3	1	5	1	3	19	M
Modulo Link Desbobinador de Papel	3	5	3	1	3	1	3	19	E
Modulo Link Sala elétrica de Papel	3	5	3	1	3	1	3	19	E
Motor AC	1	5	3	1	3	1	5	19	E
Cabos e conexões elétricas	5	3	3	1	3	1	3	19	E
PLACA X LINK	1	5	3	1	3	1	5	19	E
CORRENTE SILENCIOSA P= 3/4" LARG= 3-1/2"	3	3	3	1	5	1	3	19	M
Eixo da pinça	3	3	3	1	3	1	5	19	M
Pinça	3	3	3	1	3	1	5	19	M
PORTA DE CONTROLE 590LC/1100/V6/3/0/1/1	1	3	3	1	3	3	5	19	E
Motor AC 180A	3	3	3	1	3	1	5	19	E
Drive AC eurotherm	3	3	3	1	3	1	5	19	E

Correia / Polia	3	5	3	1	5	1	1	19	M
Cilindro contra pressão	3	5	3	1	3	1	3	19	M
Atuador Pneumático	3	3	3	1	3	3	3	19	M
Guias Eixos	3	3	3	1	3	1	5	19	M
Cilindros hidráulicos	3	3	3	3	3	1	3	19	M
PLACA X LINK	1	5	3	1	3	1	5	19	E
PORTA DE CONTROLE 590LC/1100/V6/3/0/1/1	1	3	3	1	3	3	5	19	E
Encoder	1	5	3	1	3	1	3	17	E
SYNCHRONIZED BELT GT2 14 MGT2800	1	5	3	1	5	1	1	17	M
CORREIA DENTADA 2820212 MMTORRES	1	5	3	1	5	1	1	17	M
Atuadores Pneumático	3	3	3	1	3	1	3	17	M
Reservatório de Ar	3	3	3	1	3	1	3	17	M
Freio, disco e pastilha	1	3	3	1	3	3	3	17	M
Bumber	3	3	3	1	3	1	3	17	M
Facas	3	3	3	1	3	1	3	17	M
Taco gerador	1	3	3	1	3	1	5	17	E
Ventilação do motor DC	3	3	3	1	3	1	3	17	E
Caixa de conexões elétricas	3	3	3	1	3	3	1	17	E
Indutores Filtros	1	3	3	1	3	1	5	17	E
ENCODER G2EV-003 2048P	1	5	3	1	3	1	3	17	E
VENTILADOR WEG 2800 RPM 380V 60Hz	3	3	3	1	3	1	3	17	E
Link/ Processamento	1	3	3	1	3	1	5	17	E
CARTÃO ENT. ANALÓGICAS (6ES5-464- 8MC11)	1	3	3	1	3	1	5	17	E
Mancais/ Rolamentos / Buchas	3	3	3	1	3	1	3	17	M
Cilindros pneumáticos	1	3	5	1	3	1	3	17	M
Placas de comunicação / Profibus	1	3	3	1	3	3	3	17	E
Bailarino	3	3	3	1	3	1	3	17	M
Válvula Proporcional	1	3	3	1	3	3	3	17	M
Sensor Indutivo analógico	1	5	3	1	3	1	3	17	E
Articulações/ Bucha/ Rolamento	3	3	3	1	3	1	3	17	M
Drive	3	3	3	1	3	1	3	17	E
Conexões / mangueiras hidráulicas	3	3	3	3	1	3	1	17	E
Articulação/ buchas	3	3	3	1	3	3	1	17	M
Correias Sincronizadas	3	3	3	1	3	1	3	17	M
Guias	1	3	3	1	3	1	5	17	M
VENTILADOR WEG 2800 RPM 380V 60Hz	3	3	3	1	3	1	3	17	M
Cabos de alimentação	3	3	3	1	3	1	1	15	E
Processamento e programa	3	3	3	1	3	1	1	15	E
Módulo profibus CPU S5	3	3	3	1	3	1	1	15	E
Fibras ópticas (conectores)	3	3	3	1	3	1	1	15	E

Cilindro de Borracha (Rubber Roll)	1	3	3	1	1	3	3	15	M
Barras Paralelas	3	3	1	1	3	1	3	15	M
Encoder	1	3	3	1	3	1	3	15	E
Correias	1	3	3	1	3	1	3	15	M
Chave seccionadora	3	3	3	1	1	1	3	15	M
Componentes eletromecânicos	3	3	3	1	3	1	1	15	M
PLACA SPEED FEEDBACK (TACO GERADOR)	1	3	3	1	1	1	5	15	E
ACOPLAMENTO FLEX. OMEGA REX E50M	1	3	3	1	3	1	3	15	M
PLACA SPEED FEEDBACK (TACO GERADOR)	1	3	3	1	3	1	3	15	E
Cabos e conexões	3	3	3	1	1	3	1	15	E
ACOPLAMENTO ELAST BORR. SINTET NORMEX E 97	1	3	1	1	3	1	5	15	M
Mancais/ buchas / rolamentos	1	3	3	1	3	1	3	15	M
Base de fixação	3	3	3	1	3	1	1	15	M
Regulador de pressão/ Manômetros	1	3	5	1	1	1	3	15	M
Encoder	1	3	3	1	3	1	3	15	E
Cabos / conexões	3	3	3	1	1	3	1	15	E
Dissipador de energia (Resistor)	3	3	3	1	1	1	3	15	E
Motor AC	1	3	3	1	3	1	3	15	E
Placa de comunicação Profibus	1	3	3	1	3	1	3	15	E
Válvula Proporcional Hidráulica	1	3	3	3	1	1	3	15	M
Válvula Proporcional Hidráulica	1	3	3	3	1	1	3	15	M
Câmaras / válvulas do eixo	5	1	3	1	1	3	1	15	M
Mancais/ Rolamento	3	3	3	1	3	1	1	15	M
CPU S7/ Processamento	1	3	3	1	3	1	3	15	E
CPU 342 Profibus	1	3	3	1	3	1	3	15	E
Rede Profibus/ cabos e terminações	3	3	3	1	3	1	1	15	E
PASTILHA DE FREIO TWIFLEX C/ENCAIXE	1	3	3	1	3	1	3	15	M
ENGRENAGEM CFE A4	1	3	3	1	3	1	3	15	M
Chave Seccionador	3	3	1	1	1	1	3	13	E
Articulações	1	3	3	1	3	1	1	13	M
Mangueira / conexões	3	3	3	1	1	1	1	13	M
Placa analógica do S7 I/O	1	3	3	1	1	1	3	13	E
Sensores de Pulso das Pinças	1	3	3	1	1	1	3	13	E
Sensor de pulso para velocidade	1	3	3	1	1	1	3	13	E
Válvula Proporcional	1	3	3	1	1	1	3	13	M
Bombas de vácuo / Filtros de Ar	3	3	1	1	3	1	1	13	M

Polias	1	3	3	1	3	1	1	13	M
VENTILADOR EBMPAPST 230V 60Hz 450W	3	3	1	1	1	1	3	13	E
Rolamentos	1	3	3	1	3	1	1	13	M
ESCOVAS	1	3	3	1	3	1	1	13	E
PORTA ESCOVAS	1	3	3	1	3	1	1	13	E
VENTILADOR EBMPAPST 230V 60Hz 450W	1	3	3	1	1	1	3	13	E
Indutores	1	3	3	1	1	1	3	13	E
Correia sincronizada HTD 3150-14M-115-CXA	1	3	3	1	1	3	1	13	M
Sensor indutivo de posição do NIP	1	3	3	1	1	1	3	13	E
CABO C/ PLUG MACHO 5 PINOS	1	3	3	1	1	1	3	13	E
Mangueiras/ válvulas/ Conexões	1	3	5	1	1	1	1	13	M
Base fixação	1	3	3	1	3	1	1	13	M
Placa analógica S7 I/O	1	3	3	1	1	1	3	13	E
Processamento S7	1	3	3	1	3	1	1	13	E
Cilindros Pneumáticos	1	3	3	1	3	1	1	13	M
Válvula direcional	1	1	3	3	1	1	3	13	M
Válvula direcional	1	1	3	3	1	1	3	13	M
Polias/ Rolamentos	1	3	3	1	3	1	1	13	M
Inflador de eixo	3	1	3	1	1	3	1	13	M
Mangueiras e conexões	3	1	3	1	1	3	1	13	M
Ponteira do inflador	3	1	3	1	1	3	1	13	M
Sensor indutivo	1	3	3	1	1	3	1	13	E
Ventilador	3	3	1	1	1	1	1	11	E
Fusíveis	3	3	1	1	1	1	1	11	E
Sensores Indutivo e Fim de curso	1	3	1	1	1	1	3	11	E
Pressostato	1	3	1	1	1	1	3	11	M
Mangueira/ conexões pneumáticas	1	3	1	1	1	3	1	11	M
Cilindro pneumáticos	1	1	3	1	1	1	3	11	M
Sensores de Posição das barras.	1	3	1	1	3	1	1	11	M
Conexões elétricas	3	1	3	1	1	1	1	11	E
Acoplamento	1	3	3	1	1	1	1	11	M
Indicador de pressão	1	1	5	1	1	1	1	11	M
Ventilação	1	3	3	1	1	1	1	11	E
Contatores de comando	1	3	1	1	1	3	1	11	E
Transdutor de pressão	1	1	3	1	1	1	3	11	E
Válvulas/ mangueiras/ conexões	1	1	3	1	1	3	1	11	M
Mangueiras / válvulas / conexões	3	1	3	1	1	1	1	11	M
Mangueiras/ conexões	3	1	3	1	1	1	1	11	M
Pressostato	1	3	3	1	1	1	1	11	M
Ventosas/ mangueiras e conexões	1	1	1	1	1	3	1	9	M
Articulação Braço	1	1	3	1	1	1	1	9	M
Correia / Polia transmissão/ Polia contato	1	1	3	1	1	1	1	9	M



**ANEXO 2 - ANÁLISE RPN - LAMINADORES MOTOR DC**

ÍTEM	FUNÇÃO	MOD O DE FALH A	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	Conseqüência			Detecção	RPN	AÇÕES RECOMENDADAS	RESPONSÁVEL	PRAZO	FREQUÊNCIA				
					Frequência	Segurança	Qualidade							Produção			
Motor DC 55KW, 400V.	1.Transformar energia elétrica em energia mecânica gerando movimento rotacional do seu eixo.	A. Queima do enrolamento de campo do motor.	Impossibilidade de rodar motor (MTTR >3horas)	1	Sobre aquecimento												
				1	Falta/Falha na ventilação	0	1	1	4	0	6	Criar procedimento de inspeção (padrão de ventilação) Inserir esse item no check list de autônoma para inspeção / criar procedimento visual - <b>44</b>	Douglas	03/j an			
				2	Excesso de sujeira	0	2	0	4	3	9	Garantir atividade e execução da troca dos filtros- <b>45</b>	Douglas	03/j an			
				3	Sobre carga de trabalho mecânico	0	0	1	5	3	9	Criar padrão (procedimento) de corrente em speed jog 9m/min dos laminadores para detectar travamento mecânico.- <b>45</b>	Douglas	03/j an			
				2	Curto circuito												
				1	Isolação Baixa	1	1	0	4	3	9	Criar procedimento de megar motor DC e anexar com TBM. - <b>31</b>	Assis	13/f ev			
				2	Contato físico entre o rotor e estator	1	0	1	5	1	8	Criar OPL para inspeção da posição de porta escovas e comutador do motor DC. <b>32</b>	Douglas	17/f ev			
				1	Sobre aquecimento												
				1	Falta/Falha na ventilação	0	1	1	4	0	6	Criar procedimento de inspeção (padrão de ventilação) Inserir esse item no check list de autônoma para inspeção / criar procedimento visual - <b>44</b>	DOUGLAS	03/j an			





- 2048 PULSOS/VER.	elétricos a partir do movimento rotacional de seu eixo, gerando referência de velocidade para a linha.	pulsos elétricos	feedback e motor não roda	1	Acoplamento quebrado	1	0	0	2	3	6	Não contempla atividade de inspeção de acoplamento do encoder, atividade de motor dos laminadores defasada (tacogerador), ciar IT sobre inspeção do encoder dos motores dc e atualizar TBM. <b>-46</b>	Douglas	17/f ev	2 M
				2	<b>Falta / Falha de alimentação para encoder</b>										
				1	Cabo rompido	1	0	0	2	3	6				
				2	Placa de encoder do drive danificada	1	0	0	2	3	6				
				3	Mau contato nas conexões elétricas do encoder	1	0	1	3	3	8				
	B. Pulsos dos canais fora de sincronismo	Quebra de papel, falha no controle de tensão	1	<b>Rotação do encoder diferente da rotação do motor</b>											
			1	Folga mecânica no acoplamento	1	0	1	3	3	8	Inserir padrão de pulsos do encoder com máquina rodando em check list (não existe procedimento, colocar em check list) <b>-48</b>	Douglas	17/f ev		
			2	<b>Perda de sinal dos canais do encoder</b>											
			1	Cabo dos canais de sinais Rompidos	1	0	1	3	3	8	Inserir padrão de pulsos do encoder com máquina rodando em check list (não existe procedimento, colocar em check list) <b>-48</b>	Douglas	17/f ev		
			2	Mau contato nas conexões elétricas do encoder/placa do drive.	1	0	1	3	3	8					

### **ANEXO 3 - ANÁLISE RPN - CONTROLE DE TENSÃO**

ÍTEM	FUNÇÃO	MOD O DE FALH A	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	Consequê ncia			Frequência	Segurança	Qualidade	Produção	Deteccão	RPN	AÇÕES RECOMENDADAS	RESPONSÁVEL	PRAZO	FREQUÊNCIA	
					1	2	3											
					1	2	3											
					1	2	3											
CÉLULA DE CARGA U75 - 5000N MONTALVO	Gerar corrente em miliamperes de acordo com a deformação do elemento sensível variando sua resistência interna (PRINCÍPIO DE STRAIN GAGE).	A. Falta/Falha na linearidade e no sinal de corrente	Falha no controle de tensão podendo causar dobras no material e quebra de papel.	1			Deformação do elemento sensível da célula de carga							Atualização da IT de calibração das células de carga dos laminadores. - 89	JHONNY	10/j an		
					1		Calibração incorreta	2	0	1	4	3	10					
						2	Passagem da cinta incorreta	2	0	1	4	3	10					
							3	Padrão para passagem da cinta desatualizado	2	0	1	4	3					10
							3.1	Alterado cilindros e não foi atualizado procedimento	2	0	1	4	3					10
								Excesso de força vetorial durante a calibração	2	0	1	4	3					10
								Dinamômetro atual permite calibração com força 1000N a mais que o range de trabalho	2	0	1	4	3					10
		B. Ausência do sinal	Máquina parte porém instabilidade de	1			Cabo Rompido								Fazer calha de proteção para os cabos das células de carga -53	DOUGLAS	03/j an	
					2		Papel enrosca no cabo após quebra de papel	1	0	1	3	5	10					
						3	Cabo solto no chão sem proteção	1	0	1	3	5	10					



**ANEXO 4 - PROPOSTA ABB NOVO SISTEMA**

A lista de material a ser fornecido é a seguinte:

<b>Qty</b>	<b>Description</b>	<b>Article number</b>
2	PFTL 101B-5.0kN, Load Cell	3BSE004191R1
2	Cable with male plug connector, 30 m, for connection to PFTL101/201/PFCL 201	3BSE018741R30
1	Manual load cell PFTL 101 English	3BSE009965R0401
1	1 Tension electronics PFEA112, IP20	3BSE050091R20
1	2 load cells input, voltage and current output A+B with adjustable filtering. Shown on display A, B, A+B, A-B. Profibus-DP.	
1	PFEA112-20, Incl. a CD user manual	
1	User Manual for tension electronics PFEA 111/112,	3BSE029380R0126 Portuguese

**Preço do Sistema: R\$ 157.000,00**

<b>Qty</b>	<b>Description</b>	<b>Article number</b>
2	PFTL 101B-5.0kN, Load Cell	3BSE004191R1
2	Cable with male plug connector, 30 m, for connection to PFTL101/201/PFCL 201	3BSE018741R30
1	Manual load cell PFTL 101 English	3BSE009965R0401
1	1 Tension electronics PFEA112, IP20	3BSE050091R20
1	2 load cells input, voltage and current output A+B with adjustable filtering. Shown on display A, B, A+B, A-B. Profibus-DP.	
1	PFEA112-20, Incl. a CD user manual	
1	User Manual for tension electronics PFEA 111/112,	3BSE029380R0126 Portuguese

**Preço do Sistema: R\$ 157.000,00**

**Preço Total dos dois Sistemas: R\$ 314.000,00**

CONDIÇÕES GERAIS DE VENDAS ABB:

1) Validade da proposta	15 dias
2) Prazo de entrega	110 dias, contados do recebimento e aceite do pedido pela ABB Ltda, totalmente esclarecido técnica e comercialmente, ou após a aprovação de documentos/desenhos, caso sejam requeridos.
3) Condições de Entrega	EXW - Instalações da ABB em Sorocaba - SP;
4) Condições de pagamento	100% 28 ddl

5) Reajuste	Os preços serão fixos e irrevogáveis, contanto que a moeda do dia anterior ao faturamento não exceda o limite de $\pm 5\%$ da taxa da moeda base desta proposta: 01/01/2016 - Dólar (USD) = R\$3,4273
6) Inspeção	Informar caso necessário para inclusão na proposta
7) Embalagem	Inclusa nos preços, embalagem padrão ABB para transporte Aéreo / Rodoviário.
8) Colocação do pedido	Somente serão dados como aceitos quando o cliente receber a confirmação automática por email, de que os mesmos foram processados. Solicitamos que seja mencionado o número desta proposta. Obs.: Valor mínimo para aceite do pedido R\$ 1.500,00 (Um mil e Quinhentos reais).
9) Cancelamento	Em caso de cancelamento de pedido alheio à vontade da ABB fica o comprador obrigado à ressarcir todas as despesas incorridas em projetos, fabricação, aquisição de materiais e administrativos. Veja nossas Condições Gerais de Venda
10) Garantia	A garantia da ABB é concomitante à legal, e cobre débitos imputáveis à ABB, que ocorram no período de 12 meses de operação ou 18 meses a partir da data do aviso de que os equipamentos encontram-se prontos para entrega, na fábrica da ABB, prevalecendo o que ocorrer primeiro.
11) Alteração	Qualquer alteração na Proposta solicitada pelo Comprador, deverá ser acordada com a ABB, ficando certo que os preços, prazos e garantias serão revistos pela ABB, com o propósito de adequá-los, tendo como base as conseqüências que tal alteração causar na execução da Proposta.

Para toda e qualquer condição não mencionada acima, deve-se fazer referência às Condições Gerais de Vendas anexa.