



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GEYSE MAIA DA SILVA

**MANUTENÇÃO BASEADA NO RISCO APLICADA A UMA INDÚSTRIA DE  
MOAGEM DE TRIGO**

Recife

2018

GEYSE MAIA DA SILVA

**MANUTENÇÃO BASEADA NO RISCO APLICADA A UMA INDÚSTRIA DE  
MOAGEM DE TRIGO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Orientadora:** Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Dayse Cavalcante de Lemos Duarte.

Recife

2018

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Valdicèa Alves, CRB-4 / 1260

- S586m Silva, Geise Maia da.  
Manutenção baseada no risco aplicada a uma indústria de moagem de trigo / Geise Maia da Silva. - 2018.  
75folhas, Il.; Tabs.; Abr.; Sigl. e Simb.
- Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Dayse Cavalcante de Lemos Duarte.
- TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Curso Graduação Engenharia Civil, 2018.  
Inclui Referências Apêndices.
1. Manutenção baseada no risco. 2. FEI. 3. FMEA. 4. Planejamento de manutenção. 5. Moinho de trigo. I. Duarte, Dayse Cavalcante de Lemos. (Orientadora). II. Título.

UFPE

621 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-17

GEYSE MAIA DA SILVA

**MANUTENÇÃO BASEADA NO RISCO APLICADA A UMA INDÚSTRIA DE  
MOAGEM DE TRIGO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em 19 de dezembro de 2018.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Dayse Cavalcante de Lemos Duarte (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>º</sup>. Me. Luiz Adeildo da Silva Junior (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>º</sup>. Dr. Enivaldo Santos Barbosa (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

## RESUMO

A evolução da manutenção ao longo da história caminhou, junto aos avanços tecnológicos, em busca de redução de paradas e maior disponibilidade das máquinas. De modo que, as ações de manutenção foram direcionadas nas frequências das falhas. Desta forma, gerou um distanciamento para com o gerenciamento de falhas pouco prováveis, mas com consequências desastrosas. O conhecimento a cerca dos acidentes industriais elevaram a integração entre segurança e manutenção a medida que foram evidenciadas fortes relações entre a manutenção e o desfecho de acidentes catastróficos. Neste contexto, o presente trabalho busca evidenciar os perigos existentes em uma indústria de processamento de grãos ao propor uma metodologia de manutenção baseada no risco. É utilizado o método FEI - *Dow's Fire and Explosion Index*, na identificação do problema a cerca da explosão em poeira, e o método de Análise dos Modos de Falhas e seus efeitos (FMEA) na identificação do perigo, ambos os métodos contribuem na elaboração de um cenário que permite a determinação da potencialidade e consequência da falha. O resultado deste trabalho é a definição de um planejamento de manutenção por meio da avaliação do risco, que direciona os recursos para onde tiver um grau de prioridade maior. O método se mostra totalmente aplicável e resulta em ações diretas e práticas.

**Palavras-chave:** Manutenção baseada no risco. FEI. FMEA. Planejamento de manutenção. Moinho de trigo.

## ABSTRACT

The evolution of maintenance throughout history has gone hand in hand with the technological advances, in search of reduction of stops and greater availability of the machines. So, maintenance actions was directed to the frequencies of the failures. In this way, it generated a distancing towards the management of improbable failures, but with disastrous consequences. Knowledge about industrial accidents increased the integration between safety and maintenance, since strong relationships between maintenance and the result of catastrophic accidents were evidenced. In this context, the present work seeks to highlight the risks in a grain processing industry, proposing a risk-based maintenance methodology. The Dow Fire and Explosion Index (FEI) method is used to identify the dust explosion problem and the Failure Modes Analysis and its Effects (FMEA) method is called in the hazard identification, both methodology contribute on showing the scenario of potentiality and consequence of falure. The result of this work is the definition of a maintenance planning through risk assessment, which directs resources to where it has higher priority. The method is fully applicable and results in direct and practical actions.

**Keywords:** Risk-based maintenance. FEI. FMEA. Maintenance planning. Wheat milling.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação de manutenção . . . . .	16
Figura 2 – Classificação por ação de manutenção . . . . .	17
Figura 3 – Estrutura RBM proposta por Khan e Haddara . . . . .	20
Figura 4 – Estratégia de manutenção baseada no risco proposta por Arunraj e Maiti . . . . .	22
Figura 5 – Estratégia de manutenção baseada no risco proposta por Kiran, Kumar, Sree- jith e Muralidharan . . . . .	23
Figura 6 – Proposta de aplicação da RBM . . . . .	24
Figura 7 – Processo de cálculo do FEI e outros valores . . . . .	27
Figura 8 – Formulário para cálculo do FEI . . . . .	29
Figura 9 – Formulário para cálculo dos fatores de crédito de perdas . . . . .	30
Figura 10 – Fluxo de definição de equipamento crítico . . . . .	31
Figura 11 – Formulário FMEA . . . . .	33
Figura 12 – Argumentos necessários para avaliação por meio da matriz de risco . . . . .	35
Figura 13 – Visão Geral do Processo . . . . .	39
Figura 14 – Localização do equipamento crítico . . . . .	45
Figura 15 – Desenho esquemático do elevador de canecas . . . . .	46
Figura 16 – Análise FMEA para elevador de canecas . . . . .	47
Figura 17 – Análise FMEA para elevador de canecas: Risco não aceitável . . . . .	48
Figura 18 – Matriz de consequência . . . . .	50
Figura 19 – Matriz de risco . . . . .	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições de operação . . . . .	26
Tabela 2 – Taxonomia dos níveis hierárquicos . . . . .	26
Tabela 3 – Grau de perigo FEI . . . . .	28
Tabela 4 – Critério de pontuação para severidade . . . . .	33
Tabela 5 – Critério de pontuação para ocorrência . . . . .	34
Tabela 6 – Critério de pontuação para detecção . . . . .	34
Tabela 7 – Critério de priorização do risco para os modos de falhas . . . . .	34
Tabela 8 – Mapeamento dos níveis hierárquicos . . . . .	41
Tabela 9 – Taxonomia das subdivisões do sistema de estudo . . . . .	42
Tabela 10 – Características do material . . . . .	42
Tabela 11 – Resumo dos resultados de análise do perigo FEI por área . . . . .	43
Tabela 12 – Seleção dos equipamentos críticos . . . . .	44
Tabela 13 – Definição das medidas de controle por potencial de falha . . . . .	49
Tabela 14 – Determinação do potencial de falha para cada medida de controle . . . . .	49
Tabela 15 – Níveis de consequência referentes a segurança e meio ambiente . . . . .	49
Tabela 16 – Planejamento das atividades de rotina para o elevador de canecas . . . . .	51
Tabela 17 – Planejamento de ação de manutenção baseado no desempenho . . . . .	51
Tabela 18 – Tipo de ação de manutenção por modo de falha para o elevador de canecas . . . . .	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APR	Análise Preliminar de Risco
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
CM	<i>Corrective Maintenance</i>
CMMS	<i>Computerized Maintenance Management System</i>
CSB	<i>U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board</i>
FEI	<i>Fire and Explosion Index</i>
FMEA	<i>Failure Modes and Effects Analyses</i>
JIT	<i>Just-in-Time</i>
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
MF	<i>Material Factor</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NBR	Norma Brasileira
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
PM	<i>Preventive Maintenance</i>
RBI	<i>Risk Based Inspection</i>
RBM	<i>Risk Based Maintenance</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

F1	Fator de perigo geral do processo
F2	Fator de perigo especial do processo
F3	Fator de perigo da unidade de processo
C1	Fator de crédito do controle do processo
C2	Fator de crédito por isolamento do material
C2	Fator de crédito por proteção contra incêndio
St	Classe de perigo para poeira
Kst	Taxa de aumento de pressão
bar	Medida de pressão
s	Segundos
m	Metros

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA . . . . .	13
1.2	OBJETIVOS . . . . .	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> . . . . .	<b>15</b>
2.1	MANUTENÇÃO . . . . .	15
2.1.1	Tipo de Manutenção . . . . .	16
2.2	GESTÃO DE MANUTENÇÃO . . . . .	17
2.2.1	Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC . . . . .	18
2.2.2	Manutenção Produtiva Total - TPM . . . . .	19
2.3	MANUTENÇÃO BASEADA NO RISCO – RBM . . . . .	19
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> . . . . .	<b>24</b>
3.1	DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO . . . . .	25
3.1.1	Característica da Empresa . . . . .	25
3.1.2	Levantamento de Dados . . . . .	26
3.2	ANÁLISE DE RISCO . . . . .	27
3.2.1	<i>Fire &amp; Explosion Index</i> - FEI . . . . .	27
3.2.2	Identificação dos Equipamentos Críticos . . . . .	28
3.2.3	Análise de Modos de Falha e seus Efeitos – FMEA . . . . .	32
3.3	AVALIAÇÃO DO RISCO . . . . .	34
3.4	PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO . . . . .	36
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> . . . . .	<b>38</b>
4.1	INDÚSTRIA DE MOAGEM DE TRIGO . . . . .	38
4.1.1	Descrição do Processo . . . . .	38
4.1.2	Divisão de Subsistemas . . . . .	41
4.2	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA - MÉTODO FEI . . . . .	41
4.3	SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS CRÍTICOS . . . . .	44
4.4	IDENTIFICAÇÃO DO PERIGO - MÉTODO FMEA . . . . .	46
4.5	POTENCIALIDADE DA FALHA E DA CONSEQUÊNCIA . . . . .	47
4.6	DESENVOLVIMENTO DO PLANO DE MANUTENÇÃO BASEADO NO RISCO . . . . .	50
4.7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS . . . . .	52
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>54</b>
	<b>APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS CRÍTICOS</b> . . . . .	<b>57</b>
	<b>APÊNDICE B – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO FEI</b> . . . . .	<b>62</b>

<b>APÊNDICE C – FORMULÁRIO FMEA . . . . .</b>	<b>66</b>
---	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia levou a sociedade uma dependência aos objetos de engenharia. Isto ocorre devido a busca por um bem-estar que está diretamente ligado a melhores meios de produção, maior disponibilidade energética, meios de transporte mais acessíveis, disponibilidade de alimentos, entre outros. Essa demanda social está traduzida em indústrias equipadas tecnologicamente para suprir as necessidades do mercado e que se desafia ao gerir um sistema cada vez mais complexo. Manter a indústria em funcionamento demanda uma gestão de manutenção que atenda as exigências dos acionistas da empresa, através de redução de custo e aumento de produtividade, e da sociedade, entregando um produto com qualidade e preço justo. Soma-se a atenção ao risco social e ambiental que a indústria oferece e que tem fortes ligações com o setor manutenção, pois atua diretamente em seus componentes. Estes fatores levaram a gestão da manutenção voltar-se à consequência da falha.

Historicamente a atuação da manutenção passou por uma evolução junto com o processo de industrialização e teve objetivos diferentes nessa trajetória. A primeira geração, marcada pelo período de mecanização da indústria ao fim da Segunda Guerra Mundial, é designada como sendo atividade reativa devido a uma quebra, ou aparente defeito, com o objetivo de restaurar o item em condições de funcionamento. A segunda geração se desenvolveu no período pós-guerra com o crescimento da industrialização e a dependência da sociedade para com os produtos e processos industriais, buscou-se o aumento da disponibilidade do equipamento por meio da manutenção preventiva e preditiva. A terceira geração trata-se do que chamamos de manutenção produtiva e confiabilidade e se desenvolveu devido a incapacidade das técnicas aplicadas na segunda geração, frente aos avanços na automação. É a geração onde o sistema *Just-in-time* se universalizou e pressionou ainda mais a exigência de ter equipamentos disponíveis a produção, o consumidor passou a exigir produtos com melhor qualidade, e a sociedade se conscientizou quanto a importância ambiental e de segurança dos trabalhadores. (SIQUEIRA, 2005).

As consequências geradas por uma falha são diversas, mas no que tange o ambiente industrial o prejuízo econômico devido uma parada na produção é de grande impacto e de certa forma foi o responsável pelos avanços na manutenção. Ao longo da história a necessidade de manter a funcionalidade de um equipamento passou a ser cada vez mais requerida. Com o aumento da dependência social pelos produtos e processos industriais, a manutenção passa a ser elo fundamental para uma indústria produtiva, eficiente e lucrativa. A cobrança passa a ser pela disponibilidade dos equipamentos a baixo custo. E atrelado a isso vieram também as questões envolvendo segurança, meio ambiente e qualidade.

Para Hale et al. (1998) o objetivo principal da manutenção é evitar deterioração significativa ou desvio no funcionamento da planta, que pode ameaçar não só a produção, mas também segurança, e para devolver uma planta ao funcionamento completo após a avaria ou a perturbação.

No entanto, ao mesmo tempo em que a função manutenção busca assegurar a segurança, muitas tarefas de manutenção expõem perigos potenciais a segurança (BEN-DAYA et al., 2009).

A busca por produtividade e redução de custo provoca um anseio por uma manutenção enxuta, que tenha custos reduzidos e ainda assim garanta disponibilidade dos equipamentos. Com esse objetivo, grandes empresas passeiam entre os conceitos de Manutenção Total da Produção e Manutenção Centrada em Confiabilidade, terceira geração da manutenção. Essas metodologias estão sendo implementadas com a proposta de melhoria na qualidade e no resultado entregue pela manutenção, mas ainda é notório que a preocupação acerca da consequência das falhas vem sendo negligenciada. A busca por produtividade sem um olhar cuidadoso com os riscos envolvidos prejudica um objetivo importante na manutenção, segurança.

A cerca desse tema, vem sendo discutido um olhar de manutenção voltado aos riscos. Direcionando esforços justamente para onde a consequência da falha seja inaceitável, evitando que grandes catástrofes ocorram. A Manutenção Baseada do Risco vem sendo discutida como a quarta geração da manutenção e está voltada para o gerenciamento da manutenção e a tomada de decisões baseada na potencialidade e consequência da falha.

O risco é uma variável a ser considerada nos níveis estratégicos da organização de forma a evitar grandes perdas patrimoniais e escândalos envolvendo tragédias sociais e ambientais. Neste contexto, encontra-se as indústrias de processamento de grãos que tem alto potencial de risco envolvendo explosão em poeiras. E que no Brasil, não existem normas que tratem de forma específica este tipo de perigo, deixando a responsabilidade quanto a segurança do processo para as empresas.

Dito isto, este trabalho tem a finalidade identificar os perigos de uma indústria de processamento de grãos e aplicar a metodologia de manutenção baseada no risco a fim de elaborar um planejamento de manutenção baseado no risco para um equipamento crítico.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A história da manutenção retrata a crescente busca para redução de paradas e disponibilidade de equipamentos, gerando ações direcionadas nas frequências de falhas. Desta forma, gerou um distanciamento para com o gerenciamento das paradas pouco prováveis, mas com consequências desastrosas. Associado a isto, encontra-se um segmento industrial cujo de explosão em poeira ainda é pouco discutido, gerando um senso de que é improvável que um desastre venha a acontecer.

A CSB (*Chemical Safety and Hazard Investigation Board*), conduziu um estudo em 2006 que identificou mais de 280 explosões de pó entre os anos de 1980 e 2005, causando 119 mortes e 718 feridos. Entre 2006 e 2017, após os estudo conduzido pela CSB, houveram ainda 111 incidentes com poeira que resultou em 66 fatalidades e 337 feridos. (CSB, 2016). Ainda segundo o CSB, estas investigações apontaram que 24% dos incidentes em poeira envolve materiais

provenientes da industria de alimentos. Para Lees (2005) as indústrias historicamente afetadas por explosão em poeira foram moagem de farinha, armazenamento de grãos e mineração de carvão. Joseph (2007) analisa os acidentes passados e conclui em seu trabalho que existe uma falta generalizada de consciência dos risco envolvendo poeira combustível na indústria e que não existe um padrão regulatório em nível nacional que exija que a indústria aborde esses perigos.

Sendo assim, este trabalho busca trazer uma abordagem a respeito do risco de explosão em poeira, através de uma análise de risco associado a estratégia de manutenção. Tomando como objeto de estudo o processo produtivo de um indústria de moagem de farinha de trigo.

## 1.2 OBJETIVOS

### Geral

Propor uma metodologia para a manutenção baseada no risco, tendo como objeto de estudo a indústria de moagem de trigo.

### Específicos

- Entender o sistema de estudo e as condições de contorno;
- Identificar os perigos relacionados a explosão por poeira em suspensão;
- Selecionar os equipamentos críticos;
- Identificar os perigos locais dos equipamentos críticos;
- Desenvolver estrutura para avaliação do risco pelo desempenho;
- Propor um planejamento das atividade de manutenção baseado no risco.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir serão abordados temas importantes do ponto de vista teórico para a elaboração e execução deste trabalho, dentre eles estão a revisão bibliográfica acerca de manutenção, gestão de manutenção e um aprofundamento na manutenção baseada no risco, metodologia central deste projeto.

### 2.1 MANUTENÇÃO

O objetivo primário da manutenção é manter o bom funcionamento do equipamento por meio de ações usadas para controlar ou prevenir falhas e restabelecer o seu estado operacional sempre que o equipamento entrar em falha. As decisões de manutenção estão relacionadas a escolha dos itens que devem ser submetidos a manutenção, que tipo de manutenção deve ser realizado e quando devem ser realizadas as ações de manutenção. (FUENTES, 2006)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (1994), define a manutenção com sendo a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar em equipamento em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

Dekker (1996 apud BEN-DAYA et al., 2009, p. 3), define quatro objetivos que a manutenção busca alcançar: garantir o funcionamento do sistema (disponibilidade, eficiência e qualidade do produto), garantir a vida do sistema ou planta, garantir o bem estar humano, e garantir a segurança.

Ben-Daya et al. comenta que a manutenção tem que proporcionar a um sistema de produção confiabilidade, disponibilidade, eficiência e capacidade de produzir com qualidade; manter o sistema em condições de operação, reduzindo a chance deterioração; e por garantir o bem estar humano ela deve assegurar boas condições de aparência dos equipamentos. Quanto ao último tópico, é um objetivo importante da manutenção garantir a segurança dos equipamentos de produção e ativos em geral da empresa.

Hale et al. (1998) enfatiza que o objetivo principal da manutenção é evitar deterioração significativa ou desvio no funcionamento da planta, que pode ameaçar não só a produção, mas também segurança, e para devolver uma planta ao funcionamento completo após a avaria ou a perturbação. No entanto, ao mesmo tempo em que a função manutenção busca assegurar a segurança, muitas tarefas de manutenção expõem perigos potenciais a segurança.

Nota-se que a segurança está estreitamente ligada a manutenção, contudo, a esta ligação vai além dos perigos que envolvem a atividade de manutenção. Se a manutenção não ocorrer em tempo hábil, e de forma correta, o sistema pode falhar de forma catastrófica, causando mortes,

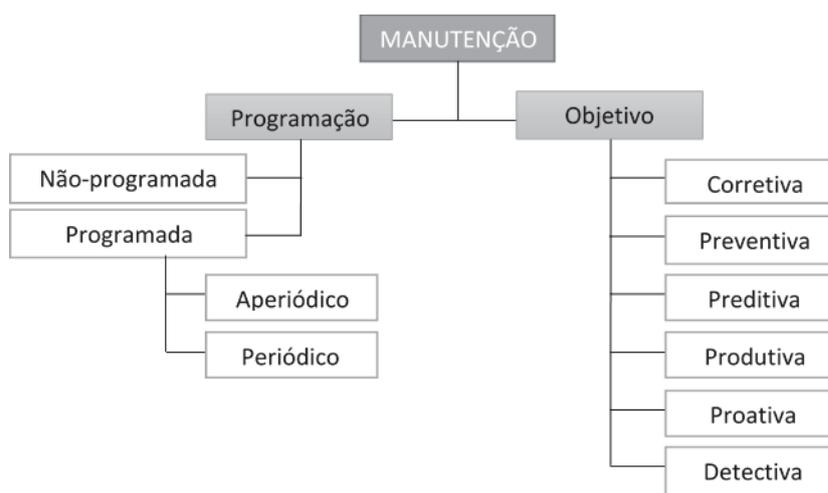
ferimentos, danos ao patrimônio e danos ambientais. A interação entre práticas de manutenção e o desfecho de grandes acidentes é revisado em (KHAN; HADDARA, 2003).

### 2.1.1 Tipo de Manutenção

Não existe consenso entre os autores sobre a classificação dos tipos de manutenção, mas tradicionalmente as atividades de manutenção têm sido classificadas quanto a forma de programação e o objetivo das tarefas executadas(SIQUEIRA, 2005).

Tratando de programação, pode ser de dois tipos: programada, atividades executadas obedecendo a critérios de tempo e condições pré-definidas, e não-programada, executada em função apenas da necessidade do momento. O tipo de manutenção Programada ainda pode se dividir em periódico, com intervalos e tempo pré-definidos, e aperiódicos, intervalos variáveis ou por oportunidades. (Figura 1)

Figura 1 – Classificação de manutenção



Fonte – Siqueira (2005)

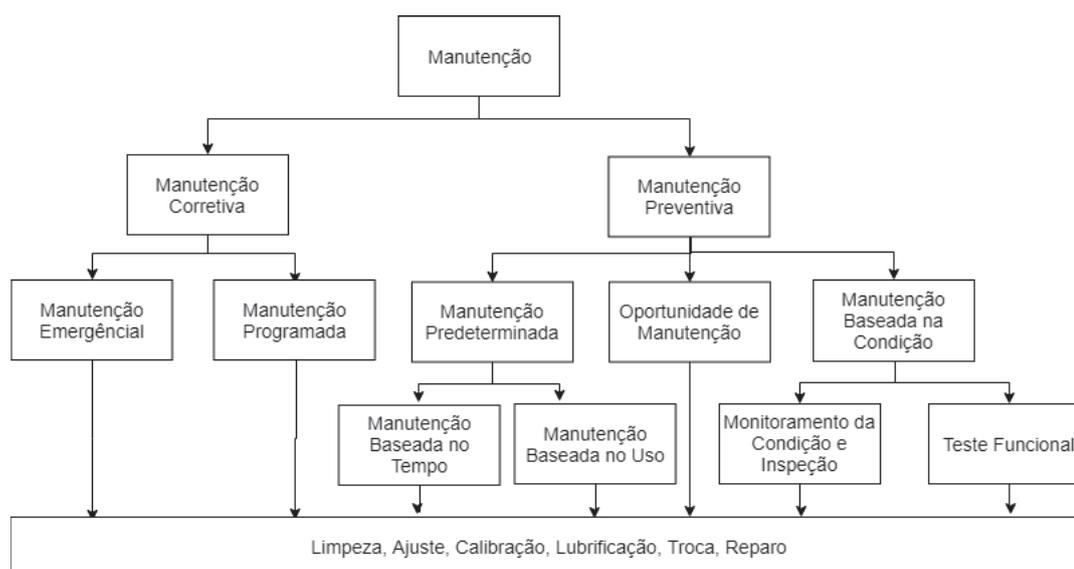
A classificação quanto ao objetivo, diz respeito a ação tomada mediante a falha. De acordo com SIQUEIRA, são seis as classificações normalmente utilizadas:

1. Manutenção Corretiva ou Reativa: corrigir falhas que já aconteceram
2. Manutenção Preventiva: prevenir e evitar as consequências da falha
3. Manutenção Preditiva: buscar previsão ou antecipação da falha, por meio de parâmetros quantitativos que indiquem a evolução de uma falha.
4. Manutenção Detectiva: identificar falhas que já ocorreram, mas que não foram percebidas
5. Manutenção Produtiva: garantir a melhor utilização e maior produtividade

6. Manutenção Proativa: otimizar processo e o projeto de novos equipamentos, em uma atitude proativa de melhoria contínua.

Outra forma de classificação da manutenção leva em consideração os tipos de ação de manutenção, Figura 2. Que segundo Pintelon e Parodi-Herz (2008 apud MURTHY, 2016, p. 3), ação de manutenção é a mais básica intervenção de manutenção, tarefa elementar atribuída ao técnico.

Figura 2 – Classificação por ação de manutenção



Fonte – Murthy (2016)

Neste cenário, ações de Manutenção Preventiva (PM) são ações tomadas de acordo com critérios predefinidos de tempo, uso, ou condição a fim de reduzir a probabilidade de falha ou a degradação funcional de um item.

Enquanto que, ações de Manutenção Corretiva (CM) são ações tomadas após o reconhecimento da falha a fim de restaurar o funcionamento do item a um estado operacional que realize a função proposta.

## 2.2 GESTÃO DE MANUTENÇÃO

Diversas abordagens de gestão de manutenção vêm sendo propostas ao longo da história, com graus de sucesso e insucesso nas suas aplicações. As três concepções de manutenção mais publicadas e utilizadas nas empresas, segundo Fuentes (2006), são a Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC, Manutenção Produtiva Total - TPM (do inglês *Total Productive Maintenance*) e Manutenção Baseada no Risco - RMB (do inglês *Risk Based Maintenance*), metodologia central deste trabalho e que será abordada no tópico 2.3.

### 2.2.1 Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC

Com o avanço da revolução industrial iniciou a problemática de como manter o equipamento funcionando, as demandas de produção aumentavam e o custo de parar um equipamento crescia. Desta forma, a correção do problema de um equipamento passou a ser cobrado em tempo cada vez menores. Isto fez com que fossem questionados a confiabilidade de ter o equipamento funcionando em determinado período de tempo, dando origem a uma nova metodologia denominada Manutenção Centrada na Confiabilidade - (MCC), do inglês *Reliability-Centered Maintenance*-(RCM). Esta metodologia faz parte da terceira geração da manutenção e foi inicialmente implementada pelas indústrias aeronáuticas e nucleares, desde então tem ganhado aceitabilidade em outros setores industriais.

De acordo com Rausand (1998 apud FUENTES, 2006, p. 3), o principal objetivo da MCC é a redução de custo de manutenção, com foco nas funções mais importantes do sistema e evitando ou excluindo ações de manutenção que não são totalmente necessárias.

A norma SAE JA1011 determina que a manutenção deve garantir que os itens continuem a desempenhar suas funções planejadas e cabe a MCC determinar os requisitos de manutenção para modos de falhas que possam causar falhas funcionais de quaisquer itens físicos em seu ambiente operacional. (SIQUEIRA, 2005)

Para Murthy (2016), o núcleo da filosofia RCC é que a manutenção deve ser realizada após avaliação das consequências de falhas (segurança, economia, operacional e ambiental) no nível dos componentes. Desta forma, uma estratégia efetiva de manutenção concentra-se em evitar ou reduzir a consequência da falha, sendo necessário o estudo dos modos de falha, próprios dos equipamentos.

A metodologia MCC adota uma sequência estruturada, composta de sete etapas. Siqueira enumera da seguinte forma:

1. Seleção do Sistema e Coleta de Dados;
2. Análise de Modos de Falha e Efeitos - FMEA
3. Seleção de Funções Significantes;
4. Seleção de Atividades Aplicáveis;
5. Avaliação da Efetividade das Atividades;
6. Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
7. Definição da Periodicidade das Atividades.

### 2.2.2 Manutenção Produtiva Total - TPM

O aumento de produtividade impulsionada pela metodologia Japonesa de produção resultou em uma busca por práticas e procedimentos de manutenção que atendessem aos critérios de eficiência e eficácia. TPM é uma metodologia de origem japonesa desenvolvida a partir dos conceitos de *Lean manufacturing* e envolve participação total de todos os níveis da organização e incorpora os princípios de produção *just-in-time* (JIT) e a filosofia TQM - *Total Quality Management*.

De acordo com Ben-Daya et al. (2009), TPM é uma resposta japonesa ao método americano de manutenção produtiva introduzido na década de 50 pela General Electric Cooperation. Segundo Nakajima (1988), vice-presidente da *Japan Institute of Plant Maintenance* e comumente aceito como pai da metodologia, TPM é uma combinação da manutenção preventiva Americana e os conceitos japoneses de gerenciamento total da qualidade - TQM.

O núcleo da TPM está na integração entre produção, manutenção e qualidade. E é entendido com uma estratégia de manutenção para melhoria da produtividade do equipamento. Nakajima (1988) sugere que equipamentos devem operar com 100% de capacidade e 100% do tempo. E para isto desenvolveu os oito pilares que sustentam até hoje as bases da TPM: manutenção preventiva; melhorias individuais dos equipamentos; projetos de manutenção preventiva/custo do ciclo de vida; educação e treinamento de novas habilidades; manutenção da qualidade; controle administrativo; cuidado ambiental; segurança e higiene; e manutenção autônoma.

### 2.3 MANUTENÇÃO BASEADA NO RISCO – RBM

Visto a relação entre manutenção e risco, a manutenção baseada no risco é centrada na busca da redução do risco global do equipamento dentro do setor produtivo. Isto ocorre através de um aumento de esforços onde existe alto ou médio risco, cuja consequências são inaceitáveis, e menor esforços onde existe um baixo risco, eliminando tarefas desnecessárias.

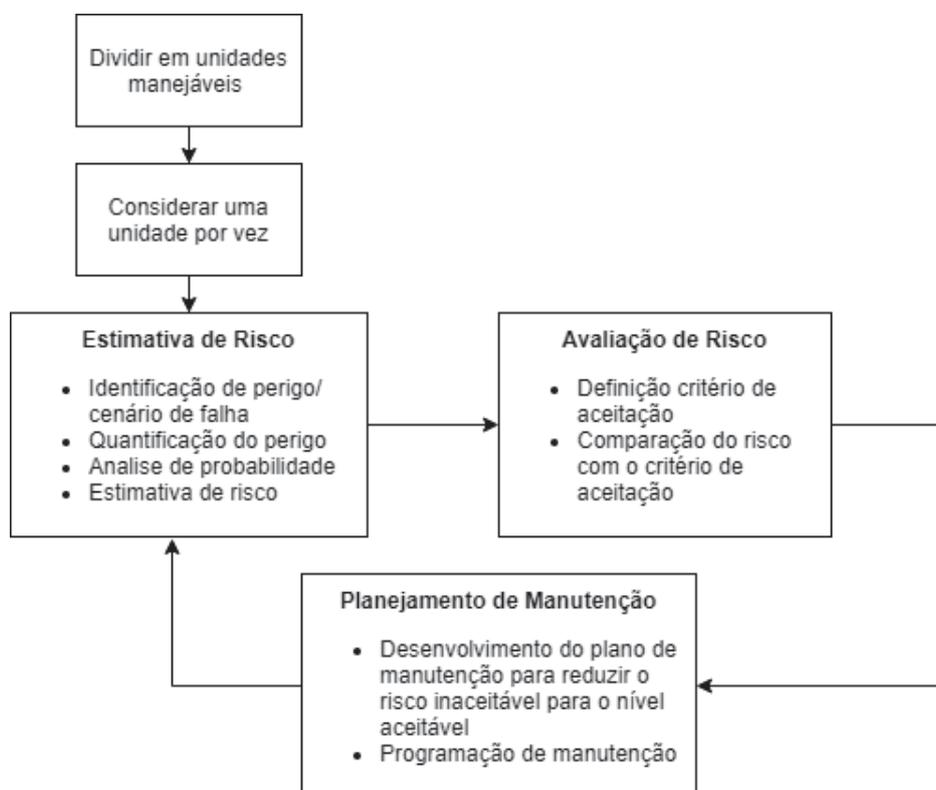
A primeira estratégia de manutenção ligada ao risco foi proposta em 1990, Chen e Toyoda (1990 apud KHAN; HADDARA, 2003, p. 3) propôs uma programação da manutenção baseada na equalização incremental risco. Até então, risco e manutenção eram tratados separadamente como atividades independentes (RAOUF, 2004). Em 1991 American Society of Mechanical engineers, ASME (1991), desenvolve a estratégia de inspeção e manutenção baseada em riscos que foi usada como base para RBI - *Risk-Based Inspection*, API(1995). Khan e Haddara (2003) faz uma revisão dos trabalhos desenvolvidos na abordagem baseada no risco dos anos 90 até 2003, indicando a nova tendência para o uso de risco como critério de decisão no planejamento de atividades de manutenção.

Nos anos 2000, RBM ganhou popularidade e atenção dos pesquisadores (ARUNRAJ; MAITI, 2007) (HU; CHENG; LI; TANG, 2009), e diferentes aplicações foram sendo publicadas

(KHAN; HADDARA, 2004a), (KHAN; HADDARA, 2004b), (KRISHNASAMY; KHAN; HADDARA, 2005), (HU; CHENG; LI; TANG, 2009). Segundo Hu, Cheng, Li e Tang (2009), o grupo de pesquisa de Khan e Haddara tem especial participação no desenvolvimento da RBM.

De acordo com Ben-Daya et al. (2009), RBM é uma abordagem de manutenção que integra o risco no planejamento de manutenção através da identificação e avaliação das consequências dos riscos de manutenção. A partir de uma análise dos possíveis modos de falha, determina-se uma estimativa realista para o nível de risco associado a cada modo de falha, e projeta-se uma estratégia de manutenção que minimize a ocorrência de falhas de risco elevado (KHAN; HADDARA, 2004a). Khan e Haddara (2003) afirma que o planejamento de manutenção baseada no risco proporciona uma manutenção econômica, que reduz a probabilidade de falha e suas consequências.

Figura 3 – Estrutura RBM proposta por Khan e Haddara



Fonte – Khan e Haddara (2003)

O objetivo geral do processo de manutenção é fazer uso do conhecimento de falhas e acidentes para alcançar segurança a baixo custo dentro do possível. Para isto, o conceito de manutenção baseada no risco foi desenvolvido para inspecionar os componentes de alto risco e grande frequência e mante-los dentro de um critério de risco tolerável (ARUNRAJ; MAITI, 2007).

A metodologia de manutenção baseada no risco proposta por Khan e Haddara (2003), é dividida em três principais módulos, como mostra a Figura 3.

1. Determinação do risco, que consiste na identificação e estimativa do risco. Este módulo aborda a descrição do cenário de falhas, avaliação das consequências das falhas, análise das probabilidades para ocorrência das falhas e estimativas do risco.
2. Avaliação do risco, que consiste no módulo de análise da aversão e aceitação de risco. Um critério de aceitação do risco de cada sistema deve ser definido conforme a natureza e tipo; e comparar o risco estimado contra o nível definido como aceitável.
3. Planejamento de manutenção considerando fatores de risco. Neste módulo deve ser estimado intervalos para as manutenções, assim como os tipos de manutenções a serem praticados.

Arunraj e Maiti (2007) revisa as técnicas e aplicações do RBM e conclui que não existe uma forma única de desenvolver uma análise de risco e uma manutenção baseada no risco. Mas que deve existir o uso de técnicas e metodologias que conduzam a uma investigação cuidadosa durante a fase de análise de risco, gerando resultados detalhados e estruturados que são necessários para uma correta decisão baseada no risco.

Arunraj e Maiti propõe uma estrutura para a RBM com apenas duas fases principais: Avaliação de risco e Planejamento de manutenção baseado no risco. E uma metodologia dividida em seis módulos, conforme mostrado na Figura 4.

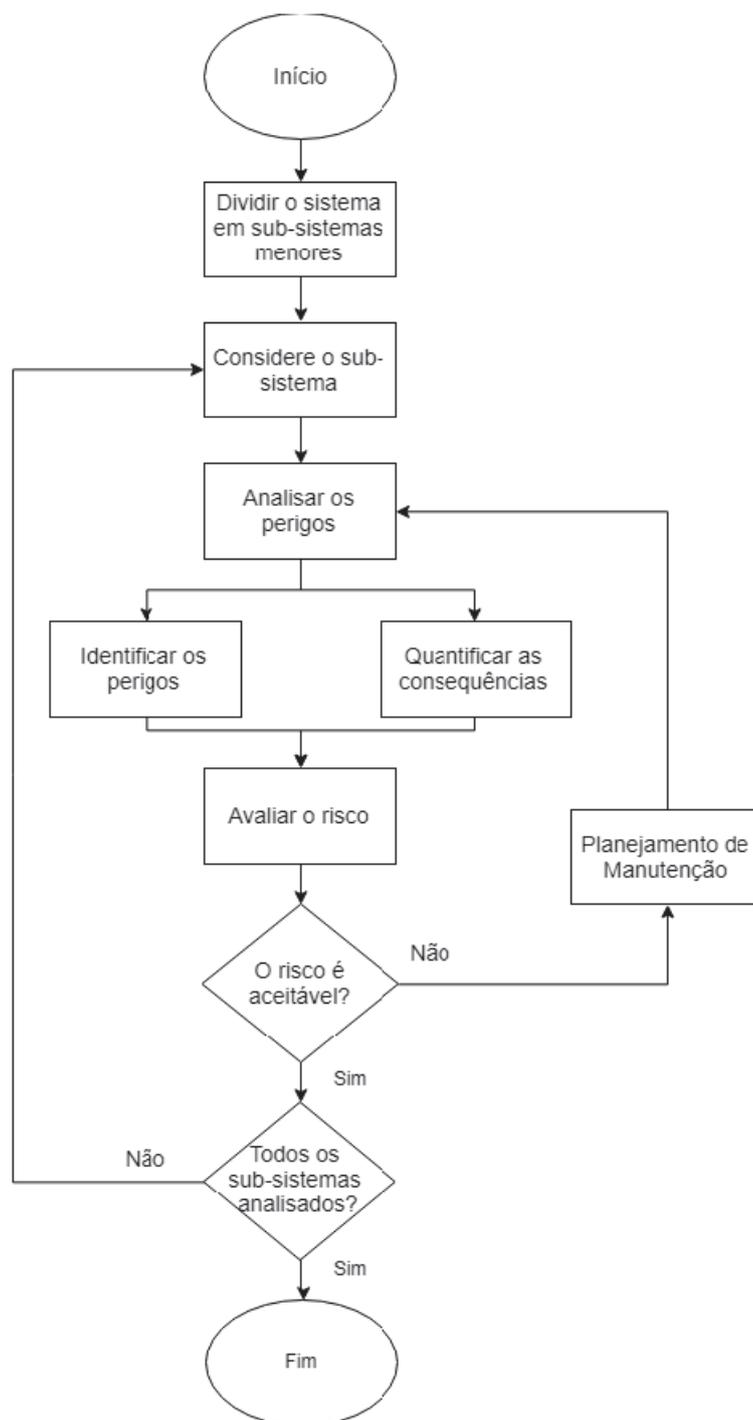
O modelo proposto por Kiran, Kumar, Sreejith e Muralidharan (2016), contém de diferencial a implementação de um método chamado de Número Prioritário de Risco – NPR, advindo do FMEA, para identificação dos componentes de risco, a Figura 5 ilustra a metodologia proposta. RPN não é uma medida de risco e sim a medida de sua prioridade. O número prioritário do risco é calculado de acordo com a Equação 1.

$$\text{NRP} = (\text{severidade}) \times (\text{detecção}) \times (\text{frequência}) \quad (1)$$

De maneira única, avaliação de risco é a fase mais importante pois será base para as decisões de manutenção. Ela envolve a análise de perigos, análise de probabilidade, análise das consequências, estimativa do risco e critério de aceitação de risco. A avaliação do risco pode ser quantitativa ou qualitativa, contudo uma avaliação quantitativa só é apropriada quando é razoável, em termos do custo de fazer versus valor agregado a resolução do problema, e prático, em termo informações disponíveis. (CARTER; HIRST; MADDISON; PORTER, 2003),(ARUNRAJ; MAITI, 2007).

Arunraj e Maiti (2007) lista várias metodologias para análise de risco, classificadas em deterministas e probabilísticas, quantitativas e qualitativas. Entre estes métodos estão o HAZOP - Análise de perigos e problemas operacionais, FMEA, APR - Análise preliminar de risco, *whatif?*, FEI - Índice de incêndio e explosão, árvore de eventos, árvore de falhas.

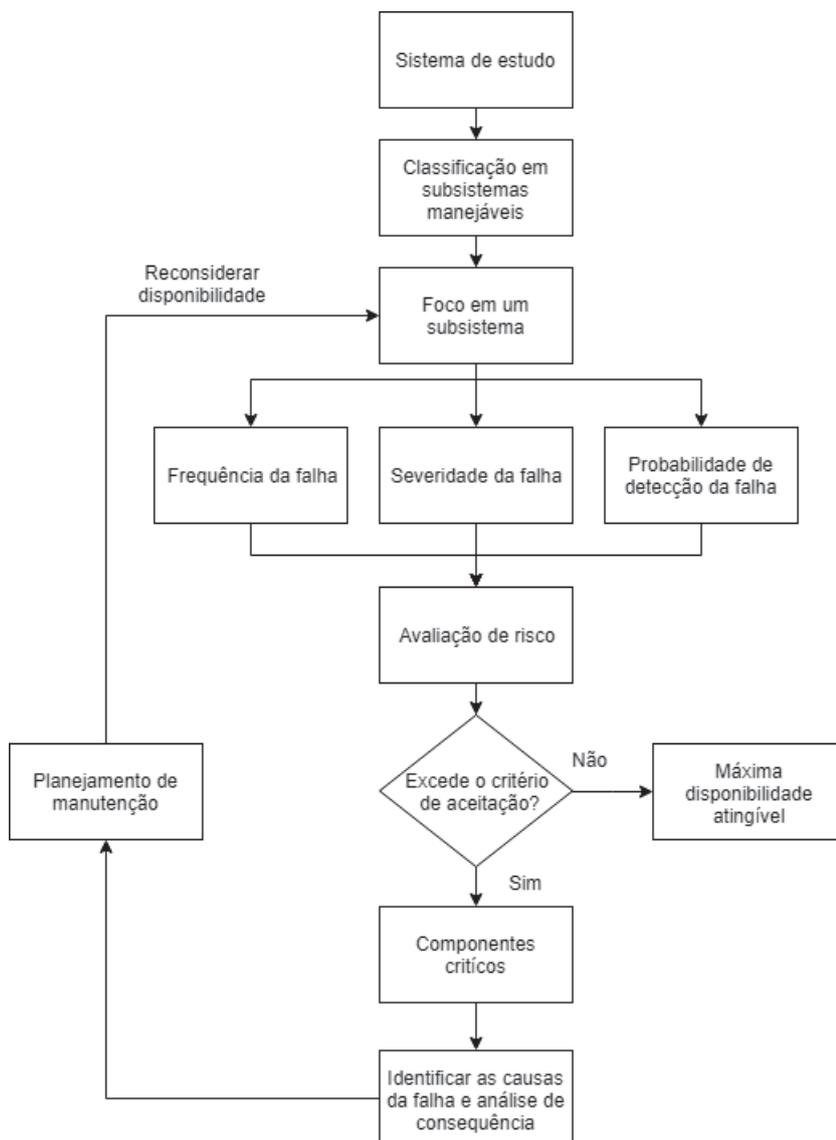
Figura 4 – Estratégia de manutenção baseada no risco proposta por Arunraj e Maiti



Fonte – Arunraj e Maiti (2007)

A análise de consequência envolve avaliação das consequências prováveis se um cenário de falha vier a ocorrer. Segundo Khan e Haddara (2003), consequências são quantificadas em termos de raio de dano, dano a propriedade, e efeitos tóxicos. A partir do cálculo desses danos é realizado a estimativa de consequências e termos de perdas a saúde humanas, perdas econômicas, perdas ao meio ambiente e perdas a performance do sistema.

Figura 5 – Estratégia de manutenção baseada no risco proposta por Kiran, Kumar, Sreejith e Muralidharan



Fonte – Kiran, Kumar, Sreejith e Muralidharan (2016)

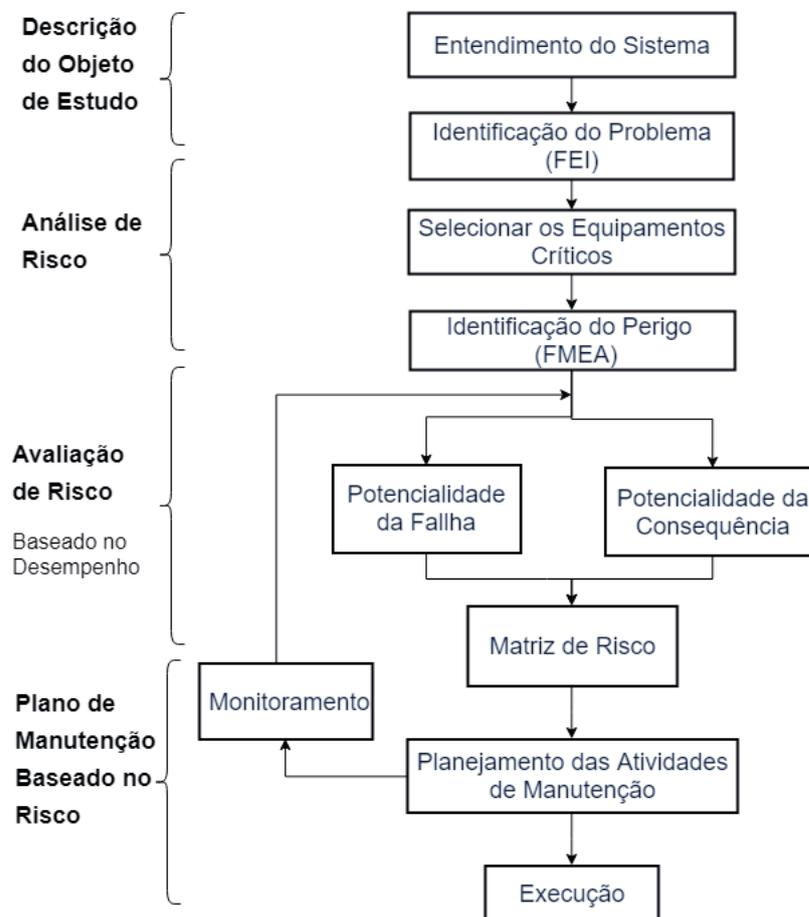
Os subsistemas com riscos inaceitáveis são identificados a partir da avaliação de risco. O planejamento equipamento e planos de manutenção adequados devem ser executados para reduzir a probabilidade de falha do equipamento. Com base no critério de risco, e na consequência da falha é realizado a priorização das atividades.(HU; CHENG; LI; TANG, 2009)

Visto a relação entre manutenção e risco, a manutenção baseada no risco é centrada na busca da redução do risco global do equipamento dentro do setor produtivo. Isto ocorre através de um aumento de esforços onde existe um alto ou médio riscos, cuja consequências são inaceitáveis, e menor esforços onde existe um baixo risco, eliminando tarefas desnecessárias.

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho se desenvolveu por meio de uma pesquisa descritiva, a partir de estudo de caso. Esta metodologia de pesquisa se aplica ao objetivo deste trabalho no que tange evidenciar os conceitos teóricos descritos na literatura e os resultados práticos obtidos. As etapas que conduzidas para aplicação da metodologia de manutenção baseada no risco seguem o fluxograma representado na Figura 6.

Figura 6 – Proposta de aplicação da RBM



Fonte – A autora, (2018)

Para o desenvolvimento de uma estratégia de manutenção é primordial o conhecimento do sistema ao qual a estratégia será aplicada. Desta forma, a primeira etapa consiste no entendimento da indústria e seu processo produtivo a fim de conhecer as condições de contorno. Para a identificação do problema é utilizado o método de análise de perigo FEI - *Fire and Explosion Index*.

A etapa de avaliação do risco, consiste em todas as ferramentas utilizadas para identificação do perigo e análise da consequência que levam a uma critério de decisão da aceitabilidade

do risco. Neste contexto, uma seleção da condição de contorno foi feita através de uma análise de criticidade do equipamento e após o Análise de Modo de Falha e seus Efeitos - FMEA foi utilizado para o entendimento dos modos de falhas que o equipamento crítico está sujeito.

A matriz de risco comunica a potencialidade da falha com a potencialidade da consequência permitindo uma tomada de decisão baseada no grau de prioridade. Esta é uma avaliação baseada no desempenho e depende do monitoramento ativo dos equipamentos ou sistemas críticos, criando um *loop* entre o planejamento das atividades de manutenção e a avaliação do risco. O planejamento das atividades de manutenção, por sua vez, ocorrerá com base no grau de risco do equipamento. Direcionando maiores esforços onde houver um grau de risco mais elevado.

No final, a metodologia é uma ferramenta de tomada de decisão onde o critério máximo é o risco. Todos os equipamentos são mapeados e seguem passando por um tipo de funil de critérios, restando aqueles cuja criticidade é alta e existe um risco associado é alto. O objetivo é mitigar o risco de forma a mantê-lo dentro de um nível de aceitabilidade através de práticas de manutenção adequadas.

### 3.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Para o desenvolvimento de uma implementação de qualquer metodologia de manutenção é necessário que o sistema esteja muito bem definido. A compreensão detalhada acerca do processo ao qual estará sujeito uma estratégia de manutenção é fundamental para que estejam imputadas todas as variáveis do processo, seja de ordem técnica (mecanismos do processo, estrutura física, automação, etc.) ou do ponto de vista da análise de risco.

As seguintes informações foram levantadas na descrição detalhada do sistema:

1. Descrição do processo produtivo;
2. Matéria-Prima utilizada;
3. Quais os produtos e subprodutos;
4. Capacidade de produção nominal;
5. Localização e condições do contorno;
6. Horários de operação;
7. Quantidade de funcionários;

#### 3.1.1 Característica da Empresa

O moinho de trigo, objeto de estudo desse trabalho, está localizado no Complexo Portuário de Suape, Ipojuca-PE, localização estratégica para o recebimento de sua principal matéria-

prima, o trigo. A unidade dispõe de toda a infraestrutura fabril, de serviços e utilidades, para a fabricação de seus produtos, com capacidade de processamento de 1950 toneladas de trigo por dia e envase de até 2000 ton, entre farinha e misturas, por dia. A unidade adicionalmente cedia depósito com capacidade de 1500 toneladas de produto acabado que constitui o centro de distribuição para atendimento da região Norte e Nordeste. Seus produtos principais são as farinhas e misturas, para panificação e bolos, e tem como produto secundário o farelo de trigo.

Para dar suporte à essa estrutura, a planta se divide nas seguintes áreas internas: Gente e Gestão; Controladoria/Financeiro; Segurança/Meio Ambiente; Logística; Moagem; Envase; Qualidade; Manutenção. O setor produtivo, porém, é composto apenas pela Moagem e o Envase, tendo os setores de apoio, Manutenção e Gestão da Qualidade.

A planta tem 185 funcionários próprios operando de segunda a sábado, 24h por dia, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Condições de operação

	<b>Turno ADM</b>	<b>Turno 1</b>	<b>Turno 2</b>	<b>Turno 3</b>
<b>Horário</b>	07:00 - 16:45	07:00 - 15:15	15:00 - 23:15	23:00 - 07:15
<b>Dias</b>	Seg- Sex	Seg-Sábado	Seg-Sábado	Seg-Sábado
<b>Quant. Funcionário</b>	35	30	30	30

Fonte – A autora, (2018)

### 3.1.2 Levantamento de Dados

A fim de ter um entendimento mais técnico e detalhado, o sistema foi subdividido em núcleos menores que compreendam funções em comum e características semelhantes. Essa subdivisão foi realizada em níveis hierárquicos devido a complexidade e do tamanho do sistema analisado. Tratando-se de um plano estratégico de manutenção, aplicado a uma indústria, esta subdivisão tem objetivo de agrupar com propriedade um conjunto que desempenhe funções semelhantes. Com este objetivo, foi utilizado a taxonomia de acordo com a Tabela 2. Na composição dos códigos, X é utilizado para letras e N para números.

Tabela 2 – Taxonomia dos níveis hierárquicos

<b>XXX</b>	<b>NNX</b>	<b>NNX</b>	<b>NNN</b>	<b>XXXXXXXXXX</b>
Planta	Área	Processo	Classe	Localização Funcional
Unidade de Negócio	Divisão das principais áreas da planta	Diferentes etapas que, juntas, formam um processo com uma função em comum.	Representa as diferentes tipos de tecnologia (equipamentos)	Representa diferentes sub classes de um tipo específico de tecnologia, com localização única.

Fonte – A autora, (2018)

Para este trabalho, foi realizado um levantamento da base de dados dos ativos da empresa cadastrados no sistema de gestão da manutenção, CMMS - *Computerized Maintenance Management System*.

### 3.2 ANÁLISE DE RISCO

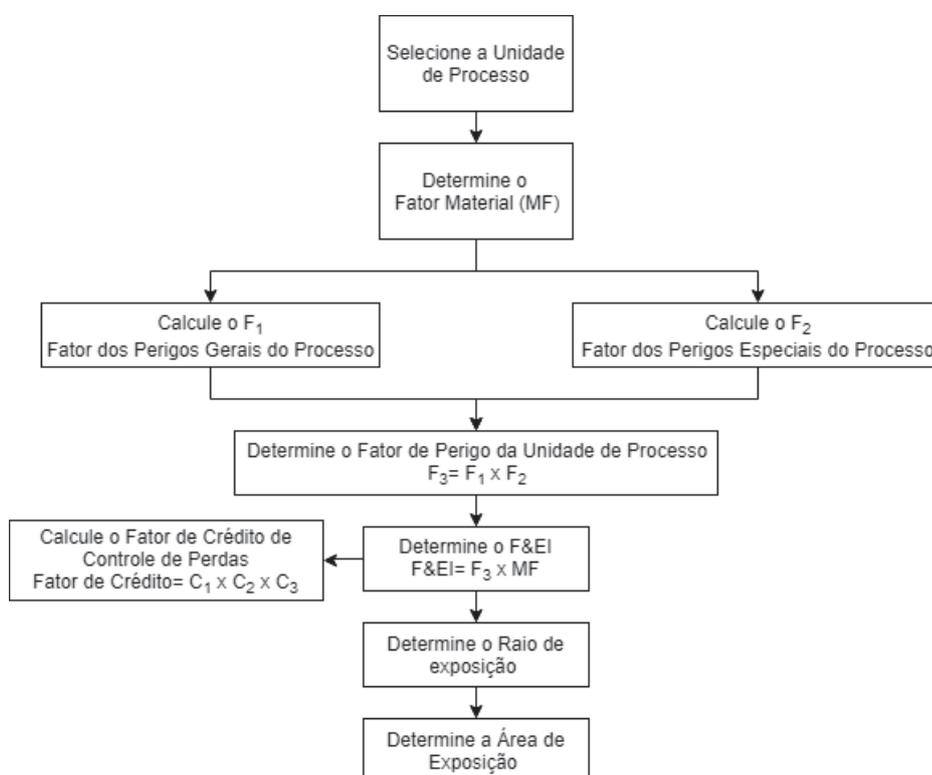
Neste trabalho foram utilizados dois diferentes métodos de análise de risco, o *Fire & Explosion Index* e a Análise de Modos de Falha e seus Efeitos. Esta seção irá abordar com mais detalhes cada um deles.

#### 3.2.1 *Fire & Explosion Index* - FEI

Devido ao potencial de risco de explosão por suspensão de poeira, ao qual o objeto de estudo está inserido, foi realizada uma análise acerca do perigo por meio do *Fire & Explosion Index*, um método determinístico, quantitativo para análise de risco, conforme (ARUNRAJ; MAITI, 2007).

O sistema de análise de risco a cerca de incêndio e explosão foi desenvolvido pela *American Institute of Chemical Engineers* em 1964, dando origem ao *Fire & Explosion Index*, e vem sendo usado largamente. Este é o principal índice de perigo reconhecido pela indústria química e trata-se de um passo a passo com o objetivo de avaliar o potencial real de fogo, explosão e reatividade de um processo, equipamento e seus componentes.(DOW'S... , 1994)

Figura 7 – Processo de cálculo do FEI e outros valores



Fonte – Adaptado de Dow's... (1994)

O procedimento de cálculo do índice segue a sequência do fluxograma apresentado na Figura 7.

MF - Fator Material (*Material Factor*): é a medida da taxa intrínseca de liberação potencial de energia a partir de um incêndio ou explosão produzida por combustão ou reação química.

Os fatores de penalidades Perigos Gerais do Processo (F1) e Perigos Especiais do Processo (F2) são valores numéricos composto pela determinação dos perigos do processo listados no formulário para cálculo do FEI, ver Figura 8. Cada item contribui no desenvolvimento ou escalação de um incidente que pode causar incêndio ou explosão. Esses valores são estimados através das recomendações que fazem parte do guia disponibilizado pelo (DOW'S... , 1994). O fator F1 é a soma de todas as penalidades dos perigos gerais do processo, e F2 é a soma de todas as penalidades dos perigos especiais do processo. O Fator de Perigo da Unidade de Processo (F3) é o produto dos fatores de perigos gerais e especiais do processo. O FEI é o produto do Fator Material e o Fator de Perigo da Unidade de Processo, e o raio de exposição é o fator FEI multiplicado pela constante 0.256 (raio em metros).

$$F3 = F1 \times F2 \quad (1)$$

$$FEI = F3 \times MF \quad (2)$$

$$Raio(m) = FEI \times 0.256 \quad (3)$$

Foi calculado os fatores de crédito de controle de perdas C1, C2, C3, conforme formulário de cálculo da Figura 9.

Com o objetivo de identificação dos perigos, foi utilizado o Fator FEI para cada subsistema da planta a fim de quantificar as consequências em casos que envolvam risco potencial de causar incêndio ou explosão. O critério de avaliação seguiu o grau de perigo do FEI, ver Tabela 3. Devido as limitações do escopo deste trabalho, foi condicionada a escolha de apenas uma área, aquela mais crítica, para o seguimento das etapas seguintes.

Tabela 3 – Grau de perigo FEI

Dow F&E	Grau de Perigo
01 - 60	Baixo
61 - 96	Moderado
97 - 127	Intermediário
128 - 158	Alto
Maior do que 159	Grave

Fonte – Dow's... (1994)

### 3.2.2 Identificação dos Equipamentos Críticos

Um subsistema é formado por um conjunto de equipamentos interligados que tem um objetivo em comum, ou exercem uma função em comum, mas que operam de forma diferente.

Figura 8 – Fomulário para cálculo do FEI

Determinação do FIRE & EXPLOSION INDEX			
<b>Material</b>			
<b>(Kst= 112 bar.m/s)</b>			
<b>NR</b>			
<b>Fator do Material =</b>			

Perigo Gerais do Processo	Intervalo do Fator de Penalidades	Penalidade Utilizada	Critério
Fator de Base	1,00		
A. Reações Exotérmicas	0,30 a 1,25		
B. Reações Endotérmicas.	0,20 a 0,40		
C. Manuseio e Transferência de Material	0,25 a 1,05		
D. Unidades de Processamento Confinadas ou Internas.	0,25 a 0,90		
E. Acesso	0,20 a 0,35		
F. Drenagem e Controle de Vazamento m <sup>3</sup>	0,25 a 0,50		
<b>Fator de Perigos Gerais do Processo (F1)</b>		<b>0</b>	

Perigo Especiais do Processo	Intervalo do Fator de Penalidades	Penalidade Utilizada	Critério
Fator de Base	1,00		
A. Materiais Tóxicos	0,20 a 0,80		
B. Pressão Subatmosférica (<500mmHg)	0,50		
C. Operação Próxima ou Dentro dos Limites de Flamabilidade	0,50 a 0,80		
D. Explosão de Poeira	0,25 a 2,00		
E. Pressão			
F. Temperatura Baixa	0,20 a 0,30		
G. Quantidade de Material Flamável/Instável			
H. Corrosão e Erosão	0,10 a 0,75		
I. Vazamento – Juntas e Vedações	0,10 a 1,50		
J. Utilização de Equipamento com Chama			
K. Sistema de Troca de Calor com Óleo Quente	0,15 a 1,15		
L. Equipamento Rotativo	0,5		
<b>Fator de Especiais do Processo (F2)</b>		<b>0</b>	

<b>Fator de Perigo da Unidade de Processo (F1 x F2 = F3)</b>	<b>0</b>
<b>Fire and Explosion Index (F3 x MF=F&amp;EI)</b>	<b>0.0</b>

Fonte – Dow's... (1994)

Figura 9 – Formulário para cálculo dos fatores de crédito de perdas

Crédito de Controle de Perdas			
Fator de Crédito do Controle do Processo (C1)	Intervalo do Fator de Crédito	Fator de Crédito	Critério
a. Energia de Emergência	0,98		
b. Resfriamento	0,97 a 0,99		
c. Controle de Explosão	0,84 a 0,98		
d. Parada de Emergência	0,96 a 0,99		
e. Controle por Computador	0,93 a 0,99		
f. Gás Inerte	0,94 a 0,96		
g. Instruções/Procedimento de Emergências	0,91 a 0,99		
h. Avaliação dos Produtos Químicos Reativos	0,91 a 0,98		
i. Avaliação de Outros perigos do Processo	0,91 a 0,98		
<b>Valor de C1 (Produto de todos os fatores utilizados)</b>		<b>0.00</b>	

Fator de Crédito de Isolamento do Material (C2)	Intervalo do Fator de Crédito	Fator de Crédito	Critério
a. Válvula Controlada Remotamente	0,96 a 0,98		
b. Alívio/Purga	0,96 a 0,98		
c. Drenagem	0,91 a 0,97		
d. Intertravamento	0,98		
<b>Valor de C2 (Produto de todos os fatores utilizados)</b>		<b>0</b>	

Fator de Crédito da Proteção Contra Incêndio (C3)	Intervalo do Fator de Crédito	Fator de Crédito	Critério
a. Detecção de Vazamento	0,94 a 0,98		
b. Aço Estrutural	0,95 a 0,98		
c. Abastecimento de Água para Incêndio	0,94 a 0,97		
d. Sistemas Especiais	0,91		
e. Sistema de Aspersão de Água	0,74 a 0,97		
f. Cortina de Água	0,97 a 0,98		
g. Espuma	0,92 a 0,97		
h. Extintores/Monitores Portáteis	0,93 a 0,98		
i. Proteção de Cabos	0,94 a 0,98	1	
<b>Valor de C3 (Produto de todos os fatores utilizados)</b>		<b>0</b>	

Fonte – Dow's... (1994)

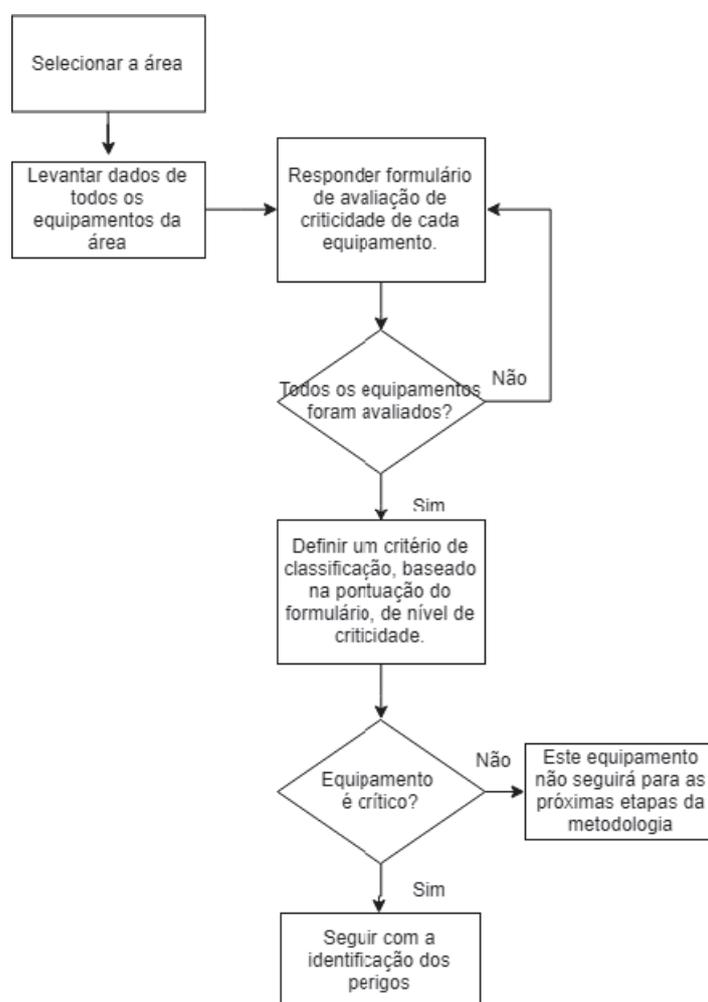
Dito isto, é de extrema importância compreender o comportamento deste equipamento durante uma falha.

Se entende por crítico falhas que produzem condições perigosas ou inseguras para quem tem contato através de uso ou manutenção, depende do seu funcionamento, ou que podem causar

grandes danos materiais ou ambientais. E não-crítico aqueles que não provocam estes efeitos. (SIQUEIRA, 2005).

O grau de criticidade é uma forma de abordar qual impacto sua falha causará nos âmbitos de meio ambiente, segurança, qualidade, manutenção e produção. E assegurar que o foco da manutenção seja precisamente planejado para prover o máximo rendimento do orçamento, de recursos e do esforço na manutenção. O fluxo de seleção dos equipamentos críticos segue a sequência descrita na Figura 10.

Figura 10 – Fluxo de definição de equipamento crítico



Fonte – A autora, (2018)

No que tange o escopo deste trabalho, todos os equipamentos da área selecionada foram avaliados por meio de um formulário estruturado, ver Apêndice A, contendo perguntas que tem objetivo de qualificar o nível de criticidade de cada área. As perguntas tem um peso a ser definido inicialmente como critério da unidade a respeito dos índices. Ao finalizar as respostas, o resultado para um equipamento avaliado é uma pontuação associada a cada índice considerado. e um critério de seleção dos equipamentos críticos foi definido.

### 3.2.3 Análise de Modos de Falha e seus Efeitos – FMEA

A Análise de Modo de Falha e seus Efeitos é tradução do inglês *Failure Modes and Effects Analysis* – FMEA adotada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas na norma ABNT (1994) e que mantém o uso da sigla originária do inglês FMEA, é uma ferramenta sistemática e lógica acerca dos tipos de falhas que um sistema pode ser acometido e quais as consequências desta falha. É também uma das ferramentas essenciais da manutenção baseada na confiabilidade e neste trabalho será utilizada na identificação dos perigos e quantificação das consequências.

Este método foi originalmente desenvolvido na década de 1960 pela agência norte-americana NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) durante a missão Apollo (Puentes et al., 2002). Em 1975, após aplicação no setor espacial, foi utilizada na tecnologia nuclear (Clarke, 2005) e Gilchrist (1993) relata que foi a partir de 1977 que a FMEA passou a ser largamente utilizada na indústria automobilística com a Ford Motors Company. É hoje um método largamente empregado em diversas áreas.

O FMEA foi introduzido na manutenção através MCC e tem como propósito avaliar, documentar e priorizar o impacto potencial de cada falha funcional, com objetivo de prevenir ou corrigir a falha. (SIQUEIRA, 2005). Neste trabalho, o FMEA será utilizado na análise de risco, método determinístico conforme (ARUNRAJ; MAITI, 2007).

Os itens básicos para o estudo de FMEA envolve a identificação sistemáticas dos seguintes itens (SIQUEIRA, 2005):

1. Função: objetivo, nível desejado de performance;
2. Falha Funcional: incapacidade de um item de desempenhar uma função específica dentro de limites desejados de performance;
3. Modo de Falha: um evento, ou condição física, que causa uma falha; maneira pela qual a falha pode ocorrer;
4. Causa da Falha: motivo pelo qual a falha ocorre;
5. Efeito da Falha: impacto resultante na função principal.

O detalhamento exigido por esta ferramenta permite extrair quais são os elementos críticos do equipamento e também uma análise secundária de potencialidade de risco, por meio do RPN(Equação 1).

Outros dados podem ser adicionados a esta lista de forma a enriquecer a análise. O formulário adotado para utilização deste trabalho é ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Formulário FMEA

Análise de Modos de Falha e seus Efeitos								
Equipamento		Unidade		Responsável:				
Função		Área		Data:		Versão:		
		Classe de Equipamento		Observação				
Falha Funcional	Modo de Falha	Efeito Local	Efeito Final	Causa	Índices de Priorização do Risco - NPR			
					Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR

Fonte – A autora, (2018)

Os índices para definição de criticidade tiveram como base a definição do RPN, e os critérios de pontuação da Severidade, Ocorrência e Detecção segue as definições das Tabelas 4, 5 e 6, respectivamente.

Tabela 4 – Critério de pontuação para severidade

Severidade		
1	Baixa	Provoca uma perda de produção inferior a 50% do lote ou causa de dano leve ao operador sem a necessidade de afastamento, segundo laudo médico. Máquina não sofre danos.
2	Moderada	Perda do lote superior a 100% do lote ou causa de dano moderado ao operador, provocando seu afastamento, mas sem o risco de sequelas ou danos permanentes. Máquina sofre danos facilmente reparáveis
3	Alta	Dano ao trabalhador de modo que deva haver rearranjo de posição para que ele siga trabalhando, portanto configurando danos e sequelas permanentes. Qualquer parada de produção que represente uma perda de produção equivalente a mais de 150% do lote atual. Máquina sofre danos que necessitam de reparo complexo.

Fonte – A autora, (2018)

Após realizar a FMEA, o RPN foi utilizado para a seleção dos modos de falhas mais críticos. O critério de priorização foi determinado conforme a Tabela 7. Onde as categorias A e B excedem a aceitabilidade ao risco.

A aplicação do FMEA exige um aprofundamento no conhecimento técnico a cerca dos modos de falhas do equipamento. Devido tais exigências, o desenvolvimento da FMEA foi realizado junto da equipe de manutenção, onde foi realizado um revisão do FMEA já existente para o equipamento. Foi discutido cada tópico existente, reformulado alguns itens para se adequar ao modelo proposto, e adicionado novos modos de falhas que não haviam sido contemplados anteriormente.

Tabela 5 – Critério de pontuação para ocorrência

<b>Ocorrência</b>		
<b>1</b>	<b>Baixa</b>	Probabilidade de ocorrência do risco ou do dano baixa. Os controles existentes são suficientes para garantir a segurança do trabalhador e da máquina. É necessária uma grande sucessão de eventos anormais para que o risco se materialize causando o dano
<b>2</b>	<b>Moderada</b>	Probabilidade de ocorrência do risco ou do dano moderada. Os controles existentes não são suficientes para garantir a segurança. Embora existam controles, estes muitas vezes dependem da ação direta do trabalhador para serem efetivos.
<b>3</b>	<b>Alta</b>	Probabilidade de ocorrência do risco ou do dano alta. Não existem controles efetivos para controlar o risco. A prevenção do dano esta diretamente ligada à ação do trabalhador e mesmo assim não é possível garantir que o dano não ocorrerá.

Fonte – A autora, (2018)

Tabela 6 – Critério de pontuação para detecção

<b>Detecção</b>		
<b>1</b>	<b>Alta</b>	A possibilidade de detectar o risco e detectar a possibilidade de dano é alta. Os controles existentes são à prova de erros e suficientes para garantir a segurança do trabalhador. Os controles irão facilmente detectar e evitar o dano
<b>2</b>	<b>Moderada</b>	A possibilidade de detectar o risco e detectar a possibilidade de dano é moderada. Os controles existentes não são suficientes para garantir totalmente a segurança.
<b>3</b>	<b>Baixa</b>	A possibilidade de detectar o risco e detectar a possibilidade de dano é baixa. Não existem controles efetivos para controlar o risco. A prevenção do dano esta diretamente ligada à ação do trabalhador e mesmo assim não é possível garantir que o dano não ocorrerá ou então não é realizado.

Fonte – A autora, (2018)

Tabela 7 – Critério de priorização do risco para os modos de falhas

<b>Categoria</b>	<b>NPR</b>	<b>Descrição</b>
<b>A</b>	27 - 18	Não Aceitável ou catastrófica
<b>B</b>	12 - 8	Não desejável ou Crítica
<b>C</b>	6 - 4	Aceitável sob controle
<b>D</b>	3 - 1	Aceitável como é ou Despresível

Fonte – A autora, (2018)

### 3.3 AVALIAÇÃO DO RISCO

O propósito da avaliação de risco é a tomada de decisão quanto a aceitabilidade do risco. Neste caso, é necessário estabelecer um critério que defina qual o risco aceitável dentro de um

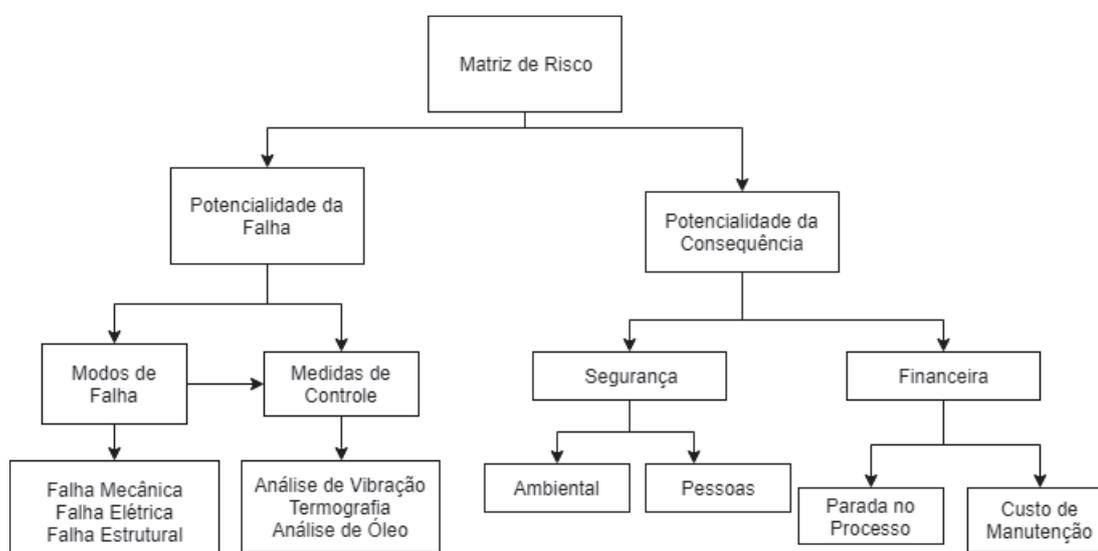
determinado período (HU; CHENG; LI; TANG, 2009).

O desenvolvimento deste trabalho propôs um mecanismo de tomada de decisão, semi-quantitativo, baseado no desempenho, por meio da elaboração de uma matriz de risco, utilizando no eixo horizontal o potencial de consequência e no eixo vertical o potencial de falha.

A denominação matriz de risco vem sido utilizada na metodologia de Manutenção Baseada no Risco como sendo Probabilidade Vs Consequência ou também Frequência Vs Consequência. Neste trabalho, entende-se por matriz de risco a correlação entre potencialidade de falha e potencialidade da consequência.

A potencialidade da falha foi definido de acordo com o mecanismo de falha, seja mecânica, elétrica ou estrutural, e a medida de controle para cada modo de falha. Enquanto que a potencialidade da consequência foi definida como sendo as relações entre segurança, ambiental e pessoal, e financeira, custo de manutenção e parada de processo, Figura 12.

Figura 12 – Argumentos necessários para avaliação por meio da matriz de risco



Fonte – A autora, (2018)

O critério de desempenho pode ser definido de forma reativa, de acordo com histórico de falhas, ou de forma proativa, com o monitoramento ativo das falhas. Para os sistemas críticos identificados pelo método RPN (Tabela 7) deve ser considerado um critério de desempenho proativo a partir da definição de um mecanismo de controle capaz de monitorar o desenvolvimento da falha. No desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado como medidas de controle as técnicas preditivas de análise de análise de vibração, termografia e análise de óleo.

A determinação da potencialidade da falha está relacionada a medida de desempenho do equipamento. Neste caso, cada medida de controle necessita que seja definido um valor referência correlacionado ao seu potencial de falha, que deverá ser acompanhado gerando *input* para a avaliação de risco. A definição destes parâmetros foi realizada junto com a equipe de manutenção que já tinham mapeado os pontos de medição e os valores referenciais. Na prática,

são parâmetros que necessitam de especialistas da área que avaliem a condição nominal do equipamentos e estabeleçam os parâmetros de anormalidades.

De maneira geral, a matriz de risco foi utilizada como ferramenta na tomada de decisão onde o critério de desempenho esteja muito bem definidos. Ou seja, inicialmente a matriz de risco resultará em um grau de risco, que passará para o planejamento das atividades de manutenção. O planejamento das atividades de manutenção terá objetivo de diminuir o risco para um nível aceitável, e assim fornecerá um *feedback* quanto a potencialidade da falha, alimentando o *loop* entre avaliação de risco e planejamento de manutenção.

### 3.4 PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO

O planejamento das atividades de manutenção, ou simplesmente planejamento de manutenção, será entendido como a definição do tipo de manutenção a ser aplicada, seguido da periodicidade e do responsável pela execução (ou profissional requerido). De forma geral, um plano de manutenção deve responder as seguintes perguntas:

1. O que deve ser feito?
2. Onde deve ser feito?
3. Quando deve ser feito?
4. Quem deve fazer?

Como visto anteriormente, o planejamento de manutenção atua na mitigação do risco. Para entender como mitigar o risco, se faz uso do conceito do NPR desenvolvido na seção 2.3, pois é ele que define a aceitabilidade do risco. Fazendo o desdobramento desse item, se um componente tiver excedido o grau de aceitabilidade, algum fator precisa ser alterado para que ele entre dentro de um range aceitável. Algumas perguntas precisam ser respondidas, tais como:

1. Existe alguma prática de manutenção que possa diminuir a severidade dessa falha?
2. Existe alguma prática de manutenção que possa diminuir a ocorrência dessa falha?
3. Existe alguma prática de manutenção que possa aumentar o grau de detecção?

Dentre os três itens, o grau de detecção é o índice que há mais possibilidades de melhorias, visto que independe de intervenção, embora possa existir através de uma intervenção. Aumentar o grau de detecção sem intervenção é possível através de práticas de manutenção preditivas e definição de medidas de controle. A partir do momento que se é introduzida uma medida de controle para um potencial de falha, aumenta o índice de detecção que é inversamente proporcional ao NPR.

O planejamento das atividades de manutenção através de uma estratégia RBM é estreitamente relacionada com as medidas de controle definidas na etapa de potencialidade da falha. É de carácter decisório apontar qual o tipo de manutenção deverá ser realizado a fim de monitorar a potencialidade de falha dos itens considerados críticos. Desta forma, a definição da atividade de manutenção é realizada durante a definição da medida de controle. O planejamento de manutenção deve responder, além do tipo de manutenção, qual a periodicidade e o responsável pela execução.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo é relatado um estudo de caso realizado em uma indústria de moagem de trigo, onde foi proposto a implementação da metodologia descrita neste trabalho. Os resultados são vistos como a aplicação do método até a definição de um plano de manutenção baseado no risco. Em cada etapa é realizado comentários a respeito do que foi extraído como resultado do método. Ao final são feitas algumas sugestões para trabalhos futuros.

### 4.1 INDÚSTRIA DE MOAGEM DE TRIGO

A moagem de trigo é um dos processos de extração mais antigos, praticados pela humanidade (CAMPBELL; WEBB; OWENS; SCANLON, 2012). Vários manuscritos que descrevem a história da civilização humana tratam do desenvolvimento da moagem, da trituração de grãos de trigo por pedras até a moderna tecnologia de moagem por rolos (POSNER, 1988).

A indústria de moagem trabalha o trigo desde o recebimento da matéria prima, armazenamento e condicionamento, passando pelas etapas de limpeza, moagem e envase, Figura 13. E sua principal função é a transformação do trigo em seus três produtos base: farinha, farelo e germen.

#### 4.1.1 Descrição do Processo

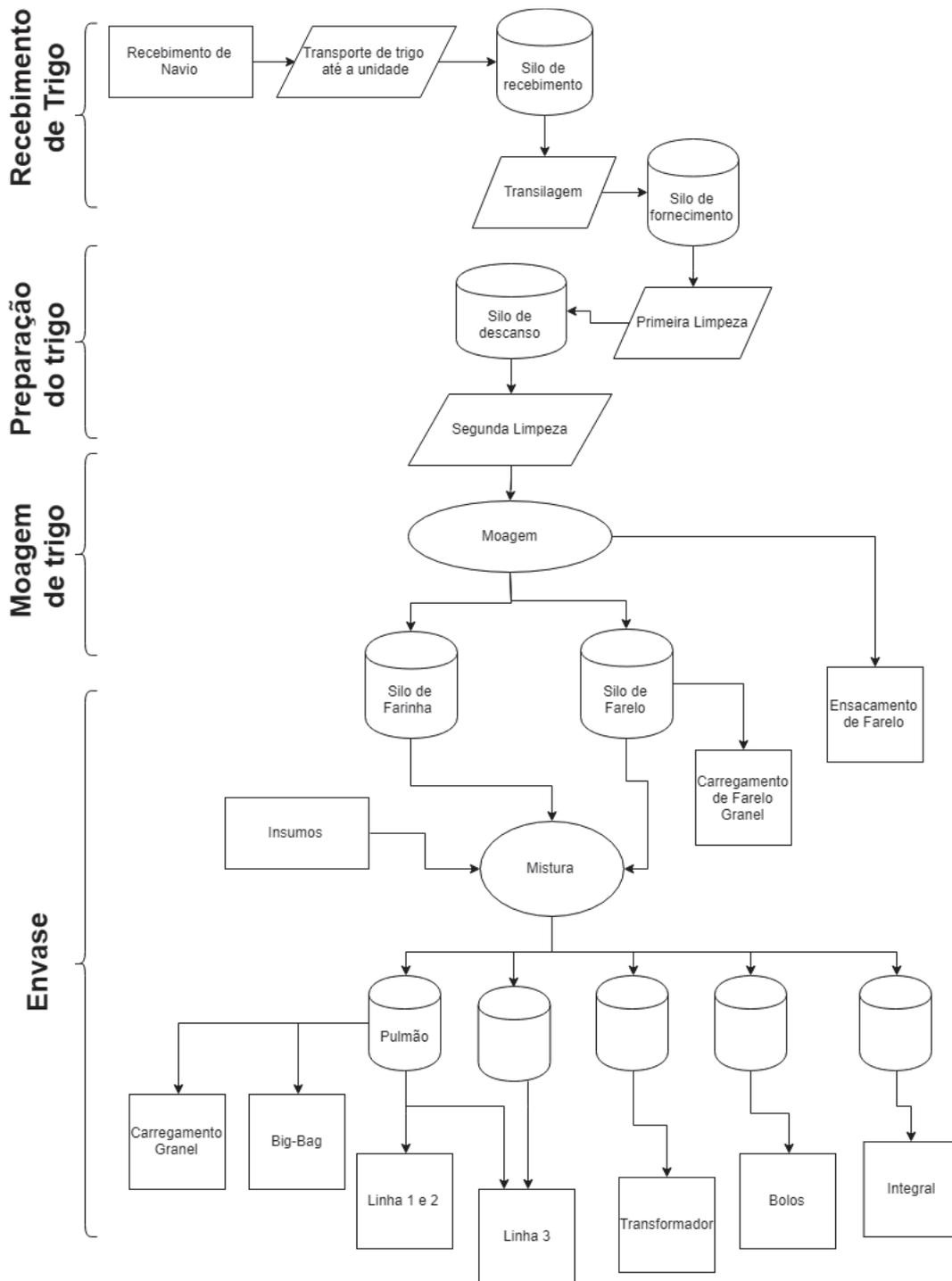
O processo produtivo inicia com o recebimento da matéria-prima via portuária. O trigo chega em navios, com frequência mensal, e é transportado até os silos de armazenagem de trigo que tem capacidade de até 54210 toneladas. O processo de recebimento consiste em realizar o transporte em massa de grãos com capacidade nominal de 800 ton/h, do navio até os silos, através da utilização de equipamentos de transporte, tais como: esteiras transportadoras e elevador de canecas. Outra característica do processo de recebimento é realizar a pré-limpeza, que consiste na retirada de impurezas grosseiras.

Para a armazenagem de grãos, a planta possui 09(nove) silos de concreto com capacidade total de 5200 ton. Os espaços entre os silos, chamados de entre célula, também são utilizados na armazenagem de trigo. No total existem 16 entre células com capacidade de 300 ton cada. O processo de movimentação do trigo de um silo para uma entre célula é chamada de transilagem e tem como objetivo promover a circulação de ar ao trigo, que pode ficar armazenado por meses, é um extensor da capacidade de armazenamento de grãos e passa a ser um silo de abastecimento para a etapa seguinte do processo.

A etapa seguinte consiste na preparação do trigo, onde ocorre limpeza e umidificação. A matéria-prima chega com umidade média de 12% sendo necessário para o processo de moagem uma umidade de 16%. Para isso é realizada a vazão do trigo das entre células passando por uma bateria de equipamentos responsáveis pela limpeza do trigo finalizando com a umidificação e

despejo nos silos de descanso, onde devem ficar em média por 24h. Esse processo é chamado de primeira limpeza de trigo, tem por objetivo retirar o máximo possível de impurezas, realizar um tratamento superficial do grão de forma a facilitar a absorção de água durante o tempo de descanso. Existem 03 linhas de limpezas de trigo independentes umas das outras, cada uma com capacidade de 32 ton por hora e 18 silos de descanso de trigo com capacidade de 145 ton cada.

Figura 13 – Visão Geral do Processo



Fonte – A autora, (2018)

O processo de descanso serve basicamente para se dar tempo à água para a mesma penetrar até o interior do grão de trigo. Após decorrido o tempo de descanso, o trigo estará pronto para a segunda limpeza, que visa extrair a película protetora da superfície do grão que rompeu após a absorção de e retirar alguma palha que tenha ficado na massa de grãos. Finalizando esta etapa, o trigo está pronto para passar pelo processo de moagem.

A etapa de moagem é o processo mais importante da indústria moageira, pois ocorre a transformação da matéria-prima em produto de valor agregado, e tem como objetivo a ruptura do grão para extração de farinha e farelo (a produção do gérmen de trigo não é comercializado pela empresa em estudo, sua produção é direcionada para o farelo). O processo de moagem consiste em 2 fases: moagem e classificação. A moagem é a fase do processo onde o produto sofre o atrito entre os rolos de cilindro. A classificação é a fase do processo em que o produto moído é peneirado e classificado em farinhas, sêmolas médias, sêmolas grossas, farelo fino e farelo grosso. Cada produto extraído da classificação segue para um destino diferente, este pode ser direcionado para um banco de cilindro onde deverá ser trabalhado na redução de sua granulometria, ou caso seja produto acabado, seguirá para um silo, que pode ser de farelo ou de farinha. A unidade é composta por três diagramas de moagem idênticos, cada qual para uma linha de limpeza, com capacidade de processamento por diagrama de 27 ton/h.

O processo de ensilagem de farinhas consiste, de acordo com o novo conceito do moinho, em armazenar farinhas em silo para misturar na saída. A farinha resultado do processo de moagem é chamada de farinha base, os silos de farinha tendem a armazenar farinhas base com diferentes características de cor, cinza, mescla de trigo, e diferentes parâmetros reológicos, que servirão para composição do produto acabado após passar pelo processo de envase. O processo de envase é responsável por receber a farinha base do processo de moagem e entregar uma variedade de produto para atender as demandas comerciais da empresa. Nesta etapa é realizada misturas, que podem ser farinha-farinha, farinha-insumo, farinha-farelo, e o ensacamento dos produtos. O envase é dividido nas seguintes linhas de produção:

- Linha 1 e 2 - sacaria 50 kg
- Linha 3 - sacaria 25 kg
- Integral - Sacaria de 10 kg
- Bolos: Sacaria de 5 kg
- Transformador: Sacaria de 5 kg
- Big- Bag : 1000 a 2000 kg
- Granel: envase em caminhão tanque
- Farelo consumo humano: sacaria de 30 kg e 40 kg

- Farelo consumo animal: sacaria de 40 kg
- Farelo granel: envase em caminhão

#### 4.1.2 Divisão de Subsistemas

Conforme descrito na metodologia, se faz necessário a divisão de todo o sistema em núcleos menores a fim de descreverem funções e características semelhantes. Diante do processo apresentado, ver Figura 13, é possível identificar quatro subsistemas: recebimento de trigo, preparação do trigo, moagem do trigo e envase.

Observou-se que a planta já utiliza uma taxonomia de subdivisões em níveis hierárquicos, esta foi apenas revisada nos níveis de área e processo para atenderem os critérios propostos neste trabalho, Tabela 9. O nível de classe manteve-se o mesmo já utilizado na unidade. Quanto a localização funcional, a unidade já faz uso dessa taxonomia e tem 98% dos seus ativos catalogados e cadastrados no CMMS. A Tabela 8 indica a quantidade de ativos segundo a classificação hierárquica.

Tabela 8 – Mapeamento dos níveis hierárquicos

Subdivisão	Quantidade
Planta	1
Areas	4
Processos	18
Classes	52
Localização Funcional	1410

Fonte – A autora, (2018)

## 4.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA - MÉTODO FEI

Tendo realizado a identificação do objeto de estudo e subdividido o sistema em unidades manejáveis, chegamos a quatro áreas que compõem unidades de processamento distintas, recebimento de trigo, preparação do trigo, moagem e envase. A próxima etapa busca identificar os perigo existentes em cada uma dessas áreas e trará como resultado o índice de potencialidade de incêndio e explosão, FEI, o raio de exposição, a área de exposição e fator de dano.

Existem basicamente dois tipos de matérias em processamento que possuem potencial de explosão por poeira, são eles:

1. Poeira de trigo: encontrada durante todo o processo de transporte de trigo e etapas da limpeza.
2. Farinha de trigo: encontrada nas etapas de moagem e envase.

Como nenhum dos dois tipos de material possuem o Fator Material (MF) definidos nas tabelas fornecida pelo *Dow's Fire Explosion Index Hazard Classicat*, este foi definido utilizando

Tabela 9 – Taxonomia das subdivisões do sistema de estudo

PLANTA		ÁREA		PROCESSO	
COD.	Descrição	COD.	Descrição	COD.	Descrição
IPO	MOINHO IPOJUCA	40A	RECEPÇÃO DE TRIGO	000A	recepcao de navio
				001A	transporte porto - unidade
				002A	pre-limpeza
				003A	armazenagem trigo sujo
				004A	transilagem
		50A	PREPARAÇÃO DO TRIGO	006A	primeira limpeza de trigo
				007A	umidificacao do trigo
				008A	armazenagem trigo lavado
				009A	segunda limpeza de trigo
		32A	MOAGEM DE TRIGO	062A	moinho
				060A	classificação
		23A	ENVASE	124A	pré - mistura
				063A	envase industrial de farinha
				063B	envase domestico de farinha
				063C	envase panificação
				063D	envase pré mistura
				063E	envas especial / bolo
				063F	envase farelo

Fonte – A autora, (2018)

as recomendações para a determinação do fator Nr. A Tabela 10 mostra as características de cada material e o valor do MF para cada área. A poeira de trigo possui Kst superior a farinha de trigo, contudo os dois se enquadram na classificação de perigo St-1, o nível mais baixo da categoria. O diferencial está no fator Nr, que segue um critério qualitativo onde leva-se em consideração o potencial de instabilidade do material no ambiente de processo, que devido as condições distintas de cada ambiente de processamento se obteve um Nr maior para as áreas onde o material trabalhado é a poeira de trigo. Desta forma, o MF é superior para a poeira de trigo.

Tabela 10 – Características do material

Área	Material	Tamanho da partícula ( $\mu m$ )	Taxa de aumento de pressão de explosão Kst (bar.m/s)	Classe de Perigo para Poeira	Nr	MF
Recepção de Trigo	Poeira de Trigo	80	112	St-1	3	29
Preparação de Trigo						
Moagem de trigo	Farinha de Trigo	56	87	St-1	2	24
Envase						

Fonte – Adaptado de Lees (2005) e NFPA (2016)

A etapas seguintes foram realizadas individualmente para cada área conforme descrito na metodologia, e o resultado é mostrado na Tabela 11. (Base de cálculo no Apêndice B).

A primeira área a ser analisada foi a recepção de trigo. Esta área é composta por todo

o processo de recebimento do navio até o armazenamento do trigo nos silos e é marcada pelo transporte de grãos através de equipamentos como esteiras transportadoras e elevadores de canecas. A poeira de trigo nessa etapa é muito acentuada devido o trigo não ter passado por nenhuma etapa de limpeza. Esta é a etapa de menor fator de risco da unidade de processo devido ser a área que possui menos processos, grande parte dos transporte é realizado em espaço aberto, com boa ventilação, reduzindo o potencial de confinamento necessário para um cenário propício a explosão. O fator de correção, contudo, é o menor devido as medidas de controle a incêndio não contemplar toda a extensão dessa área.

Tabela 11 – Resumo dos resultado de análise do perigo FEI por área

<b>Resultado FEI</b>	<b>Recepção de Trigo</b>	<b>Preparação de Trigo</b>	<b>Moagem de trigo</b>	<b>Envase</b>
Fator do Material	29.00	29.00	24.00	24.00
Fator de Risco da Unidade de Processo	6.34	7.47	8.82	7.41
<i>Fire and Explosion Index</i>	183.79	216.70	211.68	177.84
Crédito de Controle de Perdas	0.85	0.81	0.78	0.71
<i>Fire and Explosion Index (Corrigido)</i>	156.01	174.90	165.62	126.74
Raio de Exposição (m)	39.94	44.77	42.40	32.44
Área de Exposição (m <sup>2</sup> )	5011.24	6298.24	5647.37	3307.03
Fator de Dano	0.82	0.87	0.89	0.83

Fonte – A autora, (2018)

A etapa de preparação do trigo possui os mesmos componentes de transporte referentes ao recebimento, contudo todos os processos ao qual o trigo é submetidos são realizados em condições de confinamento e a natureza do processo de separação das impurezas do trigo ocasiona em uma maior concentração de poeira de trigo em suas etapas do processo. Além disto, possui um número maior de processos envolvendo equipamentos rotativos com potencial de ignição, que, entre outros fatores, o tornou a área cujo fator de risco é o maior. Na área de moagem, o material base é farinha de trigo que possui menor MF, contudo o tamanho de sua partícula é determinante no aumento do fator de perigo especial do processo (F2). Esta área possui muito transporte fluidizado, passa por diversos equipamentos rotativos como bombas sopradoras, possui coletores internos, como filtros, entre outros fatores que elevam o fator geral de perigo do processo (F3). Possui procedimentos bem estabelecidos e medidas de controle que determinaram em um fator de correção que em certa medida diminui o grau de perigo. O envase segue as características provenientes do material similares a área da moagem, contudo sua unidade de processo não possui coletores internos, os processos são menos rigorosos, visto que não tem nenhuma etapa de transformação. Isto resulta em um fator de perigo da unidade (F3) menor. Os sistemas de controles a incêndio atendem a extensão da área e possuem procedimentos estabelecidos, determinante para um fator de correção mais expressivo.

Quanto a classificação de perigo, todas as áreas são críticas, estando o envase no nível alto e as demais áreas estão no nível grave. Este resultado mostra que existe escassez de medidas de mitigação do perigo, especialmente aqueles referentes ao isolamento do material, fator C3 do crédito de controle de perdas, no qual para nenhuma das áreas foi pontuado. Infere-se a partir daí

a falta de percepção do risco de explosão intrínseco do material do processo presente em todo o sistema. O que leva a confirmar a afirmação que justifica este trabalho, a qual diz que o risco de explosão por poeira em suspensão é negligenciado.

A realização desse estudo de identificação do perigo de cada área permite que se tenha um entendimento das consequências das falhas associadas a cada fator geral ou especial do processo. Além de promover o conhecimento das medidas que permitam o controle das perdas. Este apanhado de fatores são ferramentas essenciais para o bom desenvolvimento da estratégia de manutenção baseada no risco.

### 4.3 SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS CRÍTICOS

Dentro de uma área considerada crítica, todos os equipamentos devem passar pela análise de criticidade. Devido as limitações deste trabalho, foram analisados apenas os equipamentos da área de preparação de trigo (maior índice FEI), ver Tabela 12.

As pontuações foram obtidas pelo preenchimento da planilha de criticidade para cada equipamento, Apêndice A, e a porcentagem é relativa ao valor máximo de um item (2000 pnts). Tem criticidade Classe 1, aquele equipamento cujo percentual (%) Total seja igual ou superior a 100%. Classe 2, (%) Total menor que 100% e maior que 50(%). Classe 3, (%) Total igual ou menor que 50%.

Tabela 12 – Seleção dos equipamentos críticos

Área-30A Equipamentos	Segurança		Meio Ambiente		Qualidade		Manutenção		Processo		Total		2*Criticidade
	Pont.	(%)	Pont.	(%)	Pont.	(%)	Pont.	(%)	Pont.	(%)	Pont.	(%)	
Transportador elevador	1,794	90%	125	6%	250	13%	811	41%	474	24%	3,455	173%	Classe 1
Transportador de rosca	1,524	76%	125	6%	200	10%	750	38%	654	33%	3,254	163%	Classe 1
Silo	1,650	83%	475	24%	200	10%	525	26%	300	15%	3,151	158%	Classe 1
Filtro	1,000	50%	975	49%	0	0%	525	26%	375	19%	2,876	144%	Classe 1
Canal de aspiração	800	40%	0	0%	0	0%	842	42%	450	23%	2,093	105%	Classe 1
Polidora	450	23%	475	24%	0	0%	550	28%	200	10%	1,676	84%	Classe 2
Bomba	75	4%	225	11%	600	30%	275	14%	175	9%	1,351	68%	Classe 2
Balanca de fluxo	75	4%	0	0%	0	0%	900	45%	375	19%	1,350	68%	Classe 2
Separador	75	4%	0	0%	0	0%	425	21%	750	38%	1,250	63%	Classe 2
Ventilador	450	23%	0	0%	200	10%	500	25%	75	4%	1,226	61%	Classe 2
Dosador ponderal	75	4%	0	0%	600	30%	275	14%	200	10%	1,150	58%	Classe 2
Valvula eclusa	150	8%	100	5%	0	0%	250	13%	525	26%	1,025	51%	Classe 2
Imã	75	4%	0	0%	200	10%	425	21%	300	15%	1,000	50%	Classe 3
Extrator	150	8%	225	11%	200	10%	275	14%	75	4%	925	46%	Classe 3
Atuador elétrico	250	13%	0	0%	0	0%	575	29%	75	4%	900	45%	Classe 3
Desinfestador	150	8%	0	0%	0	0%	525	26%	200	10%	875	44%	Classe 3
Saca pedra	225	11%	0	0%	0	0%	425	21%	0	0%	650	33%	Classe 3
Trieur	75	4%	0	0%	0	0%	500	25%	75	4%	650	33%	Classe 3

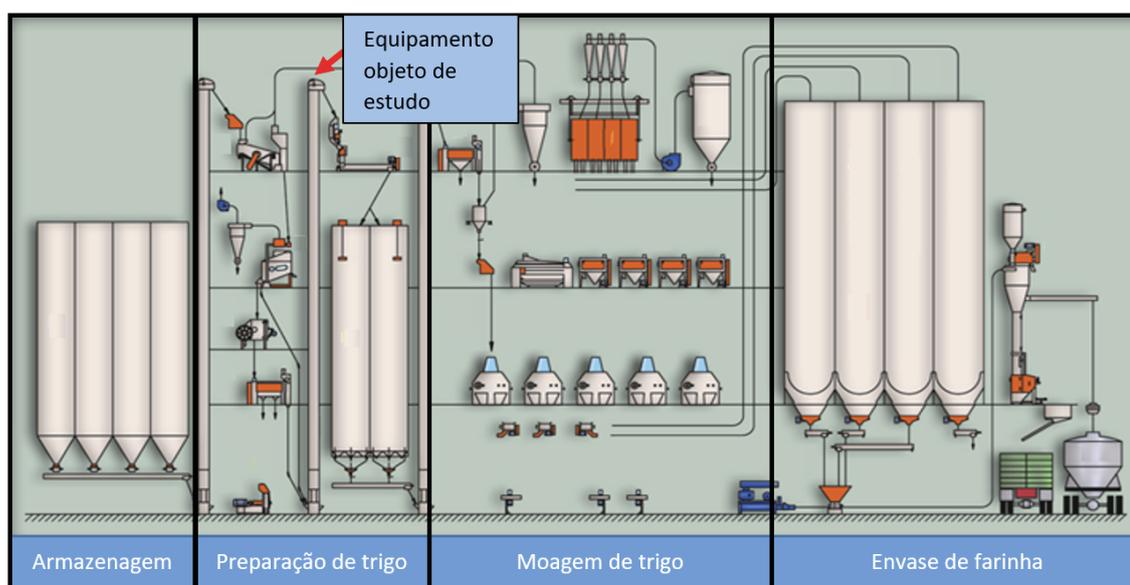
Fonte – A autora, (2018)

Os equipamentos considerados críticos nessa área são essencialmente por fatores de segurança. O critério de segurança foi o suficiente na determinação os transportadores elevadores e de rosca, silos e filtros. O canal de aspiração foi considerado crítico especialmente pela soma das contribuições de segurança e manutenção.

Os transportadores são ambientes confinados e expõe o trigo ao atrito com o metal, potencial risco de ignição, além disto, os componentes rotativos responsáveis pelo transporte geram aquecimento local. Os silos por sua vez, são ambientes confinados e predominantemente existe poeira em suspensão, todas as atividades nessa área envolvem riscos elevados. Os filtros são coletores de pó, também são ambientes confinados, com o adicionar de ter pressão superior a atmosférica. O canal de aspiração transporta as impurezas do trigo, neste caso também tem elevado índice de poeira em suspensão. Todos estes equipamentos devem passar uma identificação de perigo criteriosa.

Para todos os equipamentos com criticidade Classe 1, o método FMEA deverá ser aplicado. Dentro do escopo deste trabalho, no entanto, apenas um equipamento será analisado e este será àquele de maior nível de criticidade, que de acordo com a Tabela 12 é o elevador de canecas. A Figura 14 mostra a localização deste equipamento no processo.

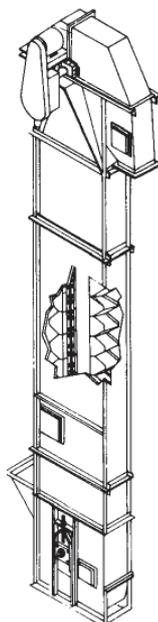
Figura 14 – Localização do equipamento crítico



Fonte – Adaptado de Layout... (2007)

O elevador de canecas é um equipamento utilizado para o transporte vertical de grãos a granel, considerado o meio mais econômico e eficaz para elevar grandes quantidades de produto em forma contínua a grandes alturas, com pouco ou nenhum dano ao produto. Possui estrutura de aço, seu interior é formado por um tambor interno que pode ser a corrente ou correia ao qual é fixado as canecas, recipientes em formato de caçambas, responsável pelo transporte do produto, Figura 15. O elevador de canecas existente na unidade de processo avaliada, área de preparação do trigo, transporta o trigo do térreo ao 11º andar, possui canecas em aço e sua estrutura é totalmente fechada.

Figura 15 – Desenho esquemático do elevador de canecas



Fonte – Elevador... (2014)

#### 4.4 IDENTIFICAÇÃO DO PERIGO - MÉTODO FMEA

Tendo selecionado o equipamento crítico, a identificação do perigo por meio do FMEA terá como objeto de estudo o elevador de canecas. Este tem função principal de mover material a granel de uma determinada altura 'X' a uma velocidade 'Y' dentro de uma faixa de temperatura de operação padrão 'Z', mantendo o material dentro de seus limites estruturais. As falhas funcionais deste equipamento foram três: não transportar o material; não transportar o material a uma determinada vazão 'Y'; elevação da temperatura acima da temperatura normal de processo. Foram levantados os modos de falhas possíveis para este equipamento, entre eles estão os modos de falhas referentes a correia de sustentação, rolamentos dos mancais, falha do redutor, falha no motor, falha no alimentador, canecas quebradas ou soltas, etc.

A Figura 16 mostra alguns dos modos de falhas abordados, mas não compreende a totalidade da análise. De modo geral é importante destacar o FMEA como um documento do equipamento e este deve conter as informações do equipamento, localização e identificação do mesmo, e quanto ao responsável pela execução e data de atualização.

Foi observado que para uma mesma falha funcional podem existir efeitos e modos de falhas distintos, tendo NPRs também distintos. Esta forma de avaliação permitiu investigar as relações de percepção da falha. A identificação do perigo resultante do F&EI promoveu uma ampla discussão quanto ao efeito da falha e tornou mais preciso a quantificação do índice de severidade do NPR. O modos de falhas encontrados foram de natureza mecânica, elétrica e também estrutural.

A partir do NPR foi possível identificar os modos de falhas que excedem o critério de

Figura 16 – Análise FMEA para elevador de canecas

Análise de Modos de Falha e seus Efeitos								
Equipamento	Elevador de Canecas		Unidade	IPO	Responsável:		Geyse Maia da Silva	
Função	Mover material a granel de uma determinada altura 'X' a uma velocidade 'Y' dentro de uma faixa de temperatura de operação padrão 'Z', mantendo o material dentro de seus limites estruturais.		Área	40A - Recepção de Trigo	Data:	28/09/2018	Versão	v0
			Classe de Equipamento	056 - Transportador	Obs.			
Falha Funcional	Modo de Falha	Efeito Local	Efeito Final	Causa	Sev.	Ocor.	Det.	NPR
Não transporta o material	Redutor, rolamentos desgastados ou danificados	Temperatura do redutor ultrapassa os parâmetros de desenho	Impacto no processo/fonte de ignição	Induzida – Rolamentos incorretos ou montados incorretamente	3	2	2	12
Não transporta o material	Redutor, rolamentos desgastados ou danificados	Temperatura do redutor ultrapassa os parâmetros de desenho	Impacto no processo	Desgaste – desgaste normal do rolamento	2	1	2	4
Não transporta o material	Redutor, engrenamento incorreto das engrenagens	Temperatura do redutor ultrapassa os parâmetros de desenho	Impacto no processo/fonte de ignição	Induzida – Montagem incorreta	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor estrutura, base comprometida	Motor se move sobre o suporte	Impacto no processo ou dano mecânico	Induzida – Dano mecânico devido a impacto	3	1	1	3
Não transporta o material	Motor estrutura, base comprometida	Motor se move sobre o suporte	Impacto no processo ou dano mecânico	Desgaste – Desgaste normal devido a fadiga do metal	3	1	1	3
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Superaquecimento dos rolamentos Direito ou Esquerdo	Rolamentos aquecendo e/ou emitindo ruído incomum	Risco de Explosão	Induzida - Lubrificação inadequada	3	2	3	18
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Superaquecimento dos rolamentos Direito ou Esquerdo	Rolamentos aquecendo e/ou emitindo ruído incomum	Risco de Explosão	Induzida - Instalação incorreta	3	1	3	9
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Superaquecimento dos rolamentos Direito ou Esquerdo	Rolamentos aquecendo e/ou emitindo ruído incomum	Risco de Explosão	Desgaste - Desgaste normal	3	3	3	27
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Eixo de contenção ou painel da moega quebrados ou soltos	Material espalhado fora do eixo de contenção	Sem efeito imediato	Desgaste - Desgaste normal	1	1	2	2
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Eixo de contenção ou painel da moega quebrados ou soltos	Material espalhado fora do eixo de contenção	Sem efeito imediato	Induzida - Dano por impacto externo	1	1	3	3
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Eixo de contenção ou painel da moega quebrados ou soltos	Material espalhado fora do eixo de contenção	Sem efeito imediato	Induzida - Dano grave causado pelo clima	1	2	2	4
Temperatura acima da temperatura normal de	Desalinhamento do tambor/cinta	Aquecimento e fricção na estrutura	Risco de Explosão	Induzida - Desalinhamento da	3	2	3	18

Fonte – A autora, (2018)

aceitabilidade do risco, conforme mostra a Figura 17. Estes tiveram em comum o potencial de ignição causado pela falha, podendo gerar consequências catastróficas por explosão em poeira devido ao ambiente propício. A avaliação de risco foi realizada a partir destes modos de falha.

#### 4.5 POTENCIALIDADE DA FALHA E DA CONSEQUÊNCIA

Após a realização da FMEA foi determinado a potencialidade de falha para cada modo de falha crítico, estabelecendo medidas de controle que permitem mensurar através de monitoramento, o estado de comprometimento do equipamento, ou, o potencial de ocorrer a falha. A Tabela 13 elenca as medidas de controle referentes a cada modo de falha crítico. A Tabela 14 aborda todas as medidas de controle atrelados ao seu potencial de falha, que variam entre A, B e C, e que representam respectivamente condição crítica, insatisfatória e anormal.

Para a potencialidade da consequência foi determinado quatro fatores que predominam no potencial impacto de uma falha ocorrer, são eles: segurança, meio ambiente, parada de

Figura 17 – Análise FMEA para elevador de canecas: Risco não aceitável

Falha Funcional	Modo de Falha	Efeito Local	Efeito Final	Causa	Índices de Priorização do Risco - NPR			
					Sev.	Ocor.	Det.	NPR
Não transporta o material	Redutor, eixo travado	Sem rotação no eixo	Impacto no processo	Induzida – Alinhamento inadequado do eixo	2	2	3	12
Não transporta o material	Redutor, eixo travado	Sem rotação no eixo	Impacto no processo	Induzida – Lubrificação inadequada	2	2	2	8
Não transporta o material	Redutor, rolamentos desgastados ou danificados	Temperatura do redutor ultrapassa os parâmetros de desenho	Impacto no processo/fonte de ignição	Induzida – Rolamentos incorretos ou montados incorretamente	3	2	2	12
Não transporta o material	Redutor, engrenamento incorreto das engrenagens	Temperatura do redutor ultrapassa os parâmetros de desenho	Impacto no processo/fonte de ignição	Induzida – Montagem incorreta	3	2	2	12
Não transporta o material	Redutor, dentes da engrenagem, danificados ou quebrados	Vibração ou barulho excessivo	Impacto no processo/fonte de ignição	Induzida – Impacto pela sobrecarga	3	3	2	18
Não transporta o material	Motor, armadura / Rotor Bloqueado	Sem rotação no eixo	Impacto no processo	Induzida – Falha do rolamento	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor, rolamento falha	Fornecer torque rotacional menor que "X"	Impacto no processo	Induzida – Lubrificação incorreta	2	2	3	12
Não transporta o material	Motor armadura, estator comprometido	Velocidade variando sem controle	Impacto no processo	Induzida – Sobrecarga no motor e/ou superaquecimento	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor, rolamento desgastado	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Induzida – Lubrificação incorreta	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor, rolamento desgastado	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Induzida – Alinhamento incorreto do eixo	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor, armadura, estator comprometido	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Induzida – Sobrecarga no motor e/ou superaquecimento	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor estator, falha de isolamento	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Intermitente – Isolamento defeituoso ou degradado	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor estator, corrente de fuga	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Intermitente – Isolamento do motor defeituoso ou	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor ventoinha, ventilação insuficiente	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Induzida – Falha de desenho ou mudança na condição	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor ventoinha, ventilação insuficiente	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Induzida – Acúmulo de poeira e sujeira	3	2	3	18
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Superaquecimento dos rolamentos Direito ou Esquerdo	Rolamento: aquecendo e/ou emitindo ruído incomum	Risco de Explosão	Induzida - Lubrificação inadequada	3	2	3	18
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Superaquecimento dos rolamentos Direito ou Esquerdo	Rolamento: aquecendo e/ou emitindo ruído incomum	Risco de Explosão	Induzida - Instalação incorreta	3	2	3	18
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Superaquecimento dos rolamentos Direito ou Esquerdo	Rolamento: aquecendo e/ou emitindo ruído incomum	Risco de Explosão	Desgaste - Desgaste normal	3	1	3	9
Temperatura acima da temperatura normal de processo	Desalinhamento do tambor/cinta	Aquecimento e fricção na estrutura	Risco de Explosão	Induzida - Desalinhamento da Cinta	3	2	2	12
Não transporta o material	Redutor, rolamentos desgastados ou danificados	Temperatura do redutor ultrapassa os parâmetros de desenho	Impacto no processo/fonte de ignição	Induzida – Rolamentos incorretos ou montados incorretamente	3	2	2	12
Não transporta o material	Redutor, engrenamento incorreto das engrenagens	Temperatura do redutor ultrapassa os parâmetros de desenho	Impacto no processo/fonte de ignição	Induzida – Montagem incorreta	3	2	2	12
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Superaquecimento dos rolamentos Direito ou Esquerdo	Rolamento: aquecendo e/ou emitindo ruído incomum	Risco de Explosão	Induzida - Instalação incorreta	3	1	2	9

Fonte – A autora, (2018)

processo e custo de manutenção. A matriz de consequência foi desenhada pela necessidade de relacionar consequências operacionais e de manutenção com as implicações entre a segurança do trabalho e ambiental (Tabela 15), ver Figura 18. Sua análise deve ser realizada para potencial de falha.

A matriz de risco, Figura 19, foi desenhada com o propósito de ser uma ferramenta de

Tabela 13 – Definição das medida de controle por potencial de falha

N	Modo de Falha	Medida de controle
1	Redutor, eixo travado	Análise de Vibração/Termografia/Análise de Óleo
2	Redutor, rolamentos desgastados ou danificados	Análise de Vibração/Termografia/Análise de Óleo
3	Redutor, engrenamento incorreto das engrenagens	Análise de Vibração/Termografia/Análise de Óleo
4	Redutor,dentes da engrenagem, danificados ou quebrados	Análise de Vibração/Termografia/Análise de Óleo
5	Motor, armadura / rotor bloqueado	Termografia
6	Motor, rolamento falha	Análise de Vibração/Termografia/Análise de Óleo
7	Motor armadura, estator comprometido	Termografia
8	Motor, rolamento desgastado	Análise de Vibração/Termografia/Análise de Óleo
9	Motor estator, falha de isolamento	Termografia
10	Motor estator, corrente de fuga	Termografia
11	Motor ventoinha, ventilação insuficiente	Termografia
12	Superaquecimento dos rolamentos Direito ou Esquerdo	Análise de Vibração/Termografia/Análise de Óleo
13	Desalinhamento do tambor/cinta	Termografia

Fonte – A autora, (2018)

Tabela 14 – Determinação do potencial de falha para cada medida de controle

Medida de Controle	Potencial de Falha	Descrição
Análise de Vibração	A	Velocidade >20 m/s; Aceleração >10 m/s <sup>2</sup> ; Global >8
	B	10 m/s <Velocidade =<20; 5 m/m <sup>2</sup> <Aceleração =<10 m/s <sup>2</sup> ; 5 <Global =<8
	C	Velocidade <10 m/s; Aceleração <5 m/s <sup>2</sup> ; Global <5
Termografia de Mancais	A	Acima de 80°C
	B	Entre 60°C e 80°C
	C	Entre 50°C e 60°C
Termografia de Motores	A	Acima de 70C
	B	Entre 60°C e 70°C
	C	Entre 50°C e 60°C
Termografia da Estrutura	A	Acima de 70C
	B	Entre 60°C e 70°C
	C	Entre 50°C e 60°C

Fonte – A autora, (2018)

Tabela 15 – Níveis de consequência referentes a segurança e meio ambiente

Segurança		Meio Ambiente	
Nível 1	Perdas Humanas/vida	E1	Impacto ambiental não controlado
Nível 2	Afastamento		
Nível 3	Atendimento externo	E2	Sem impacto e/ou controlado
Nível 4	Pronto Atendimento		

Fonte – A autora, (2018)

decisão por meio de priorização das atividades de manutenção a partir de uma estimativa do risco associado a cada modo de falha. Esta ferramenta deve ser de uso rotineiro na avaliação das ações de manutenções que serão despendidas e dos recursos disponíveis, priorizando a execução daquelas atividades que o risco seja inaceitável.

O eixo horizontal da matriz de risco compreende o grau de potencialidade da consequência que deve ser analisado conforme matriz de consequência mostrada na Figura 18. O eixo vertical trata-se do potencial de falha, que deve ser acompanhado por meio da execução de atividades de manutenção de inspeção. O resultado da Matriz de Consequência é a definição de um

Figura 18 – Matriz de consequência

		Segurança							
		Nível 1		Nível 2		Nível 3		Nível 4	
		Meio Ambiente		Meio Ambiente		Meio Ambiente		Meio Ambiente	
Custo de Manutenção	Processo	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
> R\$50.000	>24h	A	A	A	A	A	A	A	B
	entre 8h a 24h	A	A	A	A	A	B	B	B
	entre 2h a 8h	A	A	A	B	B	B	B	C
	< 2 h	A	A	B	B	B	C	B	C
< R\$50.000	>24h	A	A	A	B	A	B	A	B
	entre 8h a 24h	A	A	B	B	A	C	B	D
	entre 2h a 8h	A	A	B	C	B	C	B	D
	< 2 h	A	A	B	C	C	D	D	D

A	Crítico
B	Insatisfatório
C	Tolerável
D	Aceitável

Fonte – A autora, (2018)

grau de risco que servirá de definição de prioridade na execução das atividades de manutenção.

Figura 19 – Matriz de risco

		Potencial de Consequencia			
		A	B	C	D
Potencial de Falha por Modo de Falha	A	R1	R1	R1	R2
	B	R1	R2	R2	R3
	C	R2	R2	R3	R3

Grau de Risco	
R1	Alto
R2	Moderado
R3	Baixo

Fonte – A autora, (2018)

#### 4.6 DESENVOLVIMENTO DO PLANO DE MANUTENÇÃO BASEADO NO RISCO

A Tabela 16 retrata os componentes essenciais do plano de manutenção do equipamento crítico, cuja atividade de manutenção (O quê?) corresponde a medida de controle dos modos críticos de falha, a periodicidade (Quando?) é determinada de acordo com o nível de monitoramento necessário (neste caso o NPR do modo de falha pode ser utilizado como medida de criticidade para avaliação do intervalo de monitoramento mínimo de cada medida de controle), o responsável (Quem?) deve definir as qualificações necessárias do executante da atividade de manutenção.

De maneira genérica, a definição do plano de manutenção baseado no risco é o resultado proveniente do estudo categórico de identificação de perigo e avaliação do risco do equipamento crítico que está localizado em uma determinada área também crítica. O planejamento de manutenção aborda as atividades de rotina necessárias para tornar o risco dentro dos critérios de aceitabilidade. E possibilita uma avaliação de risco baseada no desempenho do equipamento a cada *feedback* recebido quanto a potencialidade da falha. Ou seja, o plano de rotina é apenas o

Tabela 16 – Planejamento das atividades de rotina para o elevador de canecas

O quê?	Quando?	Quem?
Análise de Vibração	Mensal	Técnico mecânico habilitado para execução da coleta e análise dos dados de vibração do equipamento
Termografia de Mancais	Quinzenal	Técnico mecânico treinado na execução de análise termográfica
Termografia de Motores	Quinzenal	Técnico elétrico treinado na execução de análise termográfica
Termografia da Estrutura	Quinzenal	Técnico mecânico treinado na execução de análise termográfica
Análise de óleo	Trimestral	Técnico mecânico treinado em coleta e óleo e análise realizada por laboratório certificado

Fonte – A autora, (2018)

início do planejamento, que durante sua execução será incrementado a partir do grau de risco do estado de desempenho do equipamento.

Tabela 17 – Planejamento de ação de manutenção baseado no desempenho

Grau de Prioridade	O quê?	Prazo de execução
R1	Corretiva emergencial e monitoramento diário até a estabilização do medida de controle	2 dias
R2	Corretiva programada e inspeção semanal até a estabilização do medida de controle	15 dias
R3	Inspeção de rotina e acompanhamento da evolução	30 dias

Fonte – A autora, (2018)

A Tabela 17 trás as ações necessárias, a partir do grau de prioridade do risco, baseada no desempenho do equipamento. Para o grau R1 uma ação de manutenção corretiva deve ser disparada em carácter emergencial e um acompanhamento da medida de controle deverá ser realizado diariamente até atestar a efetividade da correção e se manter em grau de risco aceitável, a corretiva emergencial é uma medida de grande interferência e um custo mais elevado de manutenção que se explica pelo carácter crítico do potencial de falha e consequência. Para o grau R2 o intervalo de monitoramento é reduzido e uma ação de manutenção corretiva é programado. A programação possibilita uma menor interrupção do processo, menores custos e assertividade de execução devido ao planejamento da atividade. Para o grau R3 nenhuma ação de manutenção é requerida, realiza-se o monitoramento de rotina e acompanha-se a evolução da medida de controle.

Quanto a ação de manutenção, esta deverá ser conduzida baseado no que foi identificado durante monitoramento para cada modo de falha. O tipo de ação de manutenção dependerá do modo de falha que o equipamento está exposto. A Tabela 18 descreve os tipos de ação de manutenção para cada modo de falha crítico do elevador de canecas. Estas ações deverão ser realizadas por profissionais treinados na execução destas atividades, o prazo é determinado de acordo com o grau de prioridade de risco abordado na Tabela 17.

Tabela 18 – Tipo de ação de manutenção por modo de falha para o elevador de canecas

N	Modo de Falha	Ação de manutenção
1	Redutor, eixo travado	Troca de óleo/ troca do rolamento/ limpeza
2	Redutor, rolamentos desgastados ou danificados	Troca do rolamento/ lubrificação
3	Redutor, engrenamento incorreto das engrenagens	Troca do conjunto de engrenagens do redutor/ lubrificação
4	Redutor, dentes da engrenagem, danificados ou quebrados	Troca do conjunto de engrenagens do redutor/ lubrificação
5	Motor, armadura / rotor bloqueado	Troca/reparo do motor
6	Motor, rolamento falha	Troca do rolamento/ lubrificação
7	Motor armadura, estator comprometido	Troca do motor
8	Motor, rolamento desgastado	Troca do rolamento/ lubrificação
9	Motor estator, falha de isolamento	Troca do motor
10	Motor estator, corrente de fuga	Troca do motor
11	Motor ventoinha, ventilação insuficiente	Reparo/ troca do sistema de resfriamento do motor
12	Superaquecimento dos rolamentos Direito ou Esquerdo	Troca de óleo/ troca do rolamento/ limpeza
13	Desalinhamento do tambor/cinta	Reparo: Alinhamento do tambor

Fonte – A autora, (2018)

#### 4.7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a execução deste trabalho foi observado algumas limitações que não foram contempladas dentro do objetivo deste trabalho, mas que ficarão como sugestão para trabalhos futuros, são eles:

- Do ponto de vista de identificação do problema quanto a explosão em poeira, um estudo mais detalhado sobre o mecanismo de explosão por poeira em suspensão traria maior respaldo técnico na execução do FEI.
- Considerar problemas de aterramento elétrico devido a falha de ignição por cargas estáticas.
- Para o FMEA, aumentar o range da pontuação do RPN a fim de permitir uma escalação mais criteriosa quanto à prioridade de risco.

## 5 CONCLUSÃO

À medida que a indústria foi crescendo em tamanho e complexidade, as relações entre manutenção e segurança foram aumentando. O planejamento de manutenção baseado no risco é uma resposta à necessidade de se ter um olhar direcionado à consequência da falha, tomando como critério de decisão o risco. Este método permite analisar as situações críticas e direcionar os esforços para os locais onde a consequência da falha é maior. O desenvolvimento deste trabalho proporcionou uma estrutura de tomada de decisão para o planejamento das atividades de manutenção de um equipamento crítico, dentro de condições críticas de contorno, associados a uma área de potencial risco de explosão em poeira.

O estudo de caso permitiu identificar as condições de contorno do objeto de estudo e proporcionou a identificação de perigos das áreas que compõe a planta industrial. A utilização do FEI na identificação dos perigos evidenciou a falta de percepção do risco de explosão em poeira, reforçando a justificativa deste trabalho. Além disto, foi possível identificar nas áreas críticas a influência de certos equipamentos quanto ao perigo de explosão, entendimento que permitiu uma melhor avaliação da criticidade dos equipamentos.

O FMEA permitiu um estudo detalhado dos modos de falhas, sendo possível um melhor entendimento da relação entre falha e consequência. Através do FMEA foi possível identificar várias causas para uma determinada falha, visão que permitiu uma melhor determinação das medidas de controle, base para o planejamento de manutenção. Os valores estimados através do RPN permitiram uma classificação de prioridade de risco, diminuindo o range de atuação para o planejamento de manutenção.

O seguimento da metodologia proposta permite que o planejamento das atividades de manutenção seja determinada de forma assertiva, visto que já se obtiveram as condições de falhas muito bem definidas. Desta forma, os recursos serão gastos com maior rigor de precisão, trazendo o resultado desejado. O método se mostra totalmente aplicável e resulta em ações muito bem definidas.

## REFERÊNCIAS

- ARUNRAJ, N.; MAITI, J. Risk-based maintenance—techniques and applications. *Journal of Hazardous Materials*, Elsevier BV, v. 142, n. 3, p. 653–661, apr 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade*. [S.l.], 1994. 37 p.
- BEN-DAYA, M.; DUFFUAA, S. O.; RAOUF, A.; KNEZEVIC, J.; AIT-KADI, D. (Ed.). *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. [S.l.]: Springer London, 2009.
- CAMPBELL, G.; WEBB, C.; OWENS, G.; SCANLON, M. 8 - milling and flour quality. In: CAUVAIN, S. P. (Ed.). *Breadmaking (Second edition)*. Second edition. [S.l.]: Woodhead Publishing, 2012, (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). p. 188 – 215. ISBN 978-0-85709-060-7.
- CARTER, D.; HIRST, I.; MADDISON, T.; PORTER, S. Appropriate risk assessment methods for major accident establishments. *Process Safety and Environmental Protection*, Elsevier BV, v. 81, n. 1, p. 12–18, jan 2003.
- CHEN, L.; TOYODA, J. Maintenance scheduling based on two level hierarchical structure to equalize incremental risk. In: *Conference Papers Power Industry Computer Application Conference*. [S.l.]: IEEE, 1990. v. 5, n. 4, p. 1510–1516.
- COMBUSTIBLE Dust Safety. U.S Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Washington DC, USA, 2016. Disponível em: <<https://www.csb.gov/recommendations/mostwanted/combustible-dust/>>. Acesso em: 05 dez. 2018.
- DEKKER, R. Applications of maintenance optimization models: a review and analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier BV, v. 51, n. 3, p. 229–240, mar 1996.
- DOW'S Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide. [S.l.]: American Institute of Chemical Engineers, 1994. ISBN 0816906238.
- ELEVADOR de Canecas de Corrente Centrifugo. Soluctec, 2014. Disponível em: <<http://www.soluctecindustrial.com.br/informacoes/elevador-de-canecas/>>. Acesso em: 25 nov. 2018.
- FUENTES, F. F. E. *Metodologia para Inovação da Gestão de Manutenção Industrial*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
- HALE, A. R.; HEMING, B. H.; SMIT, K.; LEEUWEN, N. D. V.; RODENBURG, F. G. Evaluating safety in the management of maintenance activities in the chemical process industry. Elsevier BV, v. 28, n. 1, p. 21–44, feb 1998. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753597000611>>. Acesso em: 26 jan. 2019.
- HU, H.; CHENG, G.; LI, Y.; TANG, Y. Risk-based maintenance strategy and its applications in a petrochemical reforming reaction system. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Elsevier BV, v. 22, n. 4, p. 392–397, jul 2009.

JOSEPH, G. Combustible dusts: A serious industrial hazard. *Journal of Hazardous Materials*, Elsevier BV, v. 142, n. 3, p. 589–591, apr 2007.

KHAN, F. I.; HADDARA, M. Risk-based maintenance (RBM): A new approach for process plant inspection and maintenance. *Process Safety Progress*, Wiley, v. 23, n. 4, p. 252–265, 2004a.

KHAN, F. I.; HADDARA, M. Risk-based maintenance of ethylene oxide production facilities. *Journal of Hazardous Materials*, Elsevier BV, v. 108, n. 3, p. 147–159, may 2004b.

KHAN, F. I.; HADDARA, M. M. Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Elsevier BV, v. 16, n. 6, p. 561–573, nov 2003.

KIRAN, S.; KUMAR, K. P.; SREEJITH, B.; MURALIDHARAN, M. Reliability evaluation and risk based maintenance in a process plant. *Procedia Technology*, Elsevier BV, v. 24, p. 576–583, 2016.

KRISHNASAMY, L.; KHAN, F.; HADDARA, M. Development of a risk-based maintenance (RBM) strategy for a power-generating plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Elsevier BV, v. 18, n. 2, p. 69–81, mar 2005.

LAYOUT of the Wheat Milling Process. Grupo Molinero, 2007. Disponível em: <<https://grupomolinero.com.ar/eng/harina-de-trigo/>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

LEES, F. *Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control*. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2005. ISBN 9780750675550.

MURTHY, M. B.-D. U. K. D. P. *Introduction to Maintenance Engineering: Modelling, optimization and management*. [S.l.]: Wiley, 2016. 688 p. ISBN 9781118926420.

NAKAJIMA, S. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance (Preventative Maintenance Series) (English and Japanese Edition)*. [S.l.]: Productivity Pr, 1988. ISBN 9780915299232.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. *NFPA 68: Standard on explosion protection by deflagration venting*. [S.l.], 2016.

PINTELON, L.; PARODI-HERZ, A. *Maintenance: An evolutionary perspective. In Complex System Maintenance Handbook*. [S.l.]: Springer-Verlag, 2008. Pp. 21–48.

POSNER, E. S. Wheat flour milling. In: \_\_\_\_\_. *Wheat: chemistry and technology*. American Association of Cereal Chemists, 1988. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Wheat-Chemistry-Technology-Peter-Shewry/dp/1891127551>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

RAOUF, A. Productivity enhancement using safety and maintenance integration. *Kybernetes*, Emerald, v. 33, n. 7, p. 1116–1126, aug 2004.

RAUSAND, M. Reliability centered maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, Elsevier, v. 60, n. 2, p. 121–132, may 1998.

SIQUEIRA, I. P. de. *Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de implementação*. [S.l.]: Qualitymark, 2005. 408 p. ISBN 9788573038804.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS CRÍTICOS

### CRITICIDADE

Assegurar que o foco da manutenção seja precisamente planejado para prover o máximo rendimento do orçamento, de recursos e do esforço na manutenção. Desta forma o Grau de Criticidade é definido por critérios que efetivamente avaliam o equipamento e a probabilidade dos impactos que sua falha causará nos âmbitos de meio ambiente, segurança, qualidade, manutenção e produção.

<b>Equipamento</b>	Elevador de canecas	<b>Área</b>	40A	Preparação de Trigo
--------------------	---------------------	-------------	-----	---------------------

CRITÉRIO	PERGUNTA	PARAMETRO PARA AVALIAÇÃO	PESO MAX	CONSEQ.	PESO	PTS
SEGURANÇA	Qual a possibilidade de uma pessoa se ferir se o equipamento falhar ou não funcionar corretamente durante a operação?	Considere caso não haja manutenção adequada	182	Grande chance de causar ferimento	1.00	182
SEGURANÇA	Se um ferimento ocorrer devido a falha ou mau funcionamento do equipamento durante a operação, qual é a gravidade do ferimento que tem maior probabilidade de ocorrer?	Sem parâmetro	725	Perda de um membro/vida	1.00	725
SEGURANÇA	Qual a possibilidade de uma pessoa se ferir durante a execução de atividades de manutenção no equipamento?	Sem parâmetro	137	Chance razoável de causar ferimento	0.67	91
SEGURANÇA	Existe alguma exigência para ajudar a prevenir ferimentos quando uma pessoa está realizando as atividades de manutenção no equipamento?	Nenhum = PS Médio = PTP Alto = PTP + algum dispositivo especial para evitar ferimentos	137	Equipamento Normal de Proteção Pessoal	0.50	69

SEGURANÇA	Qual o potencial de incêndio, explosão, etc. no caso de falha ou mau funcionamento de um equipamento, ou durante as atividades de manutenção desse equipamento?	Sem parâmetro	728	Sem controle e com danos graves	1.00	728
SEGURANÇA	O equipamento em si ou qualquer um de seus componentes é parte de um dispositivo crítico de segurança?	A pergunta já é a sugestão	91	Não	0.00	0
MEIO AMBIENTE	Qual o potencial de um vazamento, descarga, etc. em caso de falha ou mau funcionamento do equipamento em operação ou durante as atividades de manutenção no equipamento?		250	Sem potencial	0.00	0
MEIO AMBIENTE	O equipamento em si, ou qualquer um de seus componentes, é parte de um dispositivo de controle de poluição?	A poluição do moinho aumenta se o equipamento quebrar?	125	Não	0.00	0
MEIO AMBIENTE	Se ocorrer um vazamento, descarga, etc. devido a uma falha ou mau funcionamento do equipamento em operação ou durante as atividades de manutenção, qual é o impacto ambiental mais provável?	Controlado=quando existe um dispositivo para evitar impacto ambiental mais grave; não controlado=em caso de quebra, um impacto ambiental grave ocorrerá	500	Nenhum impacto ambiental	0.00	0
MEIO AMBIENTE	Se ocorrer um problema no equipamento, existe potencial de dano colateral à propriedade?	Algo acontecerá em outro equipamento, na infraestrutura?	125	Sim	1.00	125
MEIO AMBIENTE	Existe potencial de impacto nos bairros vizinhos ou na comunidade?		1000	Nenhum	0.00	0

CLIENTE/QUALIDADE	Existe potencial para um problema de qualidade em caso de falha ou mau funcionamento de um equipamento?	Considere a qualidade do produto acabado	250	Não	0.00	0
CLIENTE/QUALIDADE	Existe potencial de atraso na entrega para os clientes em caso de falha ou mau funcionamento de um equipamento?	Considere a linha contínua, ou seja, o que você produz deve ser entregue ao fim do processo de fabricação, no mesmo instante	250	Sim	1.00	250
CLIENTE/QUALIDADE	Se esse equipamento é um equipamento de segurança alimentar, qual o potencial de contaminação do produto?	Sem parâmetros	1250	Nenhuma relação com segurança alimentar	0.00	0
CLIENTE/QUALIDADE	Existe potencial de não despachar, ou de despachar quantidade menor devido a falha ou mau funcionamento do equipamento?	Considere qualquer produto acabado	250	Não	0.00	0
MANUTENÇÃO	Em média, com que frequência o equipamento necessita de reparos?	Considere apenas as manutenções corretivas de safra	308	Trimestralmente	0.40	123
MANUTENÇÃO	Em média, qual é o custo do reparo de um determinado equipamento?	Considere cada intervenção... Lembrem-se que é difícil afirmar um valor, portanto tente fazer uma escala dos equipamentos mais caros em manutenção	308	< \$8,000	0.33	103
MANUTENÇÃO	Em média, que recursos de manutenção são necessários para consertar um determinado equipamento?	Considere cada intervenção... Pense nas manutenções mais recorrentes... Não considere o executante que faz o bloqueio do equipamento como um recurso	154	2 - 5 Pessoas	0.67	103

MANUTENÇÃO	Existe um equipamento de reserva ou um sobressalente na linha?	Só considere reserva se houver um equipamento parado naquele momento que ao apertar um botão ele liga	62	Não	0.00	0
MANUTENÇÃO	Qual a probabilidade dos recursos necessários para realizar o reparo estarem disponíveis quando for descoberto um problema no equipamento?	Sem parâmetro	247	<4 hr para chegar ao local	0.50	124
MANUTENÇÃO	Qual a probabilidade das peças necessárias para realizar o reparo estarem disponíveis quando for descoberto um problema no equipamento?	Considere as manutenções mais recorrentes ou importantes	613	< 4 horas para entrega	0.25	153
MANUTENÇÃO	Em média, qual o tempo necessário para realizar o reparo?	Considere as manutenções mais recorrentes ou importantes	308	<8 horas	0.67	205
OPERAÇÃO	Em média, quanto de parada é gerado por uma falha ou mau funcionamento de um equipamento?	Considere as manutenções mais recorrentes ou importantes	632	< 8 horas	0.50	316
OPERAÇÃO	Quanto da planta é afetado por uma falha ou mau funcionamento de um equipamento?	Considere no momento da quebra do equipamento. Faça a seguinte pergunta: "quais equipamentos eu terei que parar"	632	Vários equipamentos	0.25	158
OPERAÇÃO	Quanto da eficiência da produção é diretamente afetada pelo mau funcionamento ou falha do equipamento?	Sem parâmetros	420	Não existe perda na capacidade de produção	0.00	0

OPERAÇÃO	Existe geração de resíduo como resultado direto de falha ou mau funcionamento do equipamento?	É necessário descarte diferenciado para os resíduos daquele equipamento (óleo não conta)	316	Não	0.00	0
					<b>Total</b>	<b>3454</b>

## APÊNDICE B – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO FEI

### Determinação do FIRE & EXPLOSION INDEX

<b>Material</b>	<b>Poeira de Trigo</b>	<b>AREA 50A: Limpeza de Trigo</b>
<b>(Kst= 112 bar.m/s)</b>	<b>St-1</b>	<b>NFPA 652</b>
<b>NR</b>	<b>3</b>	<b>Material explosivo em condições de confinamento e elevada temperatura de ignição</b>
<b>Fator do Material =</b>	<b>29</b>	<b>Tabela - Material Factor determination Guide</b>

Perigo Gerais do Processo	Intervalo do Fator de Penalidades	Penalidade Utilizada	Critério
Fator de Base	1,00	1	
A. Reações Exotérmicas	0,30 a 1,25	0.5	Critério (2) Oxidação
B. Reações Endotérmicas.	0,20 a 0,40	0	não se aplica
C. Manuseio e Transferência de Material	0,25 a 1,05	0.25	Critério 1 (transporte e manuseio) + falta de spriklers
D. Unidades de Processamento Confinadas ou Internas.	0,25 a 0,90	0.5	Critério (1) - Filtros e coletores internos
E. Acesso	0,20 a 0,35	0.2	Acesso restrito de áreas
F. Drenagem e Controle de Vazamento m <sup>3</sup>	0,25 a 0,50	0	não se aplica
<b>Fator de Perigos Gerais do Processo (F1)</b>		<b>2.45</b>	

<b>Perigo Especiais do Processo</b>	<b>Intervalo do Fator de Penalidades</b>	<b>Penalidade Utilizada</b>	<b>Critério</b>
Fator de Base	1,00	1	
A. Materiais Tóxicos	0,20 a 0,80	0.2	Compartimentação de cloro na área
B. Pressão Subatmosférica (<500mmHg)	0,50	0	não se aplica
C. Operação Próxima ou Dentro dos Limites de Flamabilidade	0,50 a 0,80	0	não se aplica
D. Explosão de Poeira	0,25 a 2,00	1.25	Tamanho da partícula 80 $\mu\text{m}$
E. Pressão		0	não se aplica
F. Temperatura Baixa	0,20 a 0,30	0	Sem possibilidade de temperaturas abaixo temperatura de transição
G. Quantidade de Material Flamável/Instável			Não quantificado
H. Corrosão e Erosão	0,10 a 0,75	0	não se aplica
I. Vazamento – Juntas e Vedações	0,10 a 1,50	0.1	Pequenos vazamentos regular
J. Utilização de Equipamento com Chama		0	não se aplica
K. Sistema de Troca de Calor com Óleo Quente	0,15 a 1,15	0	não se aplica
L. Equipamento Rotativo	0,5	0.5	não se aplica
<b>Fator de Perigos Gerais do Processo (F2)</b>		<b>3.05</b>	

<b>Fator de Perigo da Unidade de Processo (F1 x F2 = F3)</b>	<b>7.4725</b>
<b>Fire and Explosion Index (F3 x MF=F&amp;EI)</b>	<b>216.7</b>

### Crédito de Controle de Perdas

<b>Fator de Crédito do Controle do Processo (C1)</b>	<b>Intervalo do Fator de Crédito</b>	<b>Fator de Crédito Utilizado</b>	<b>Critério</b>
a. Energia de Emergência	0,98	1	
b. Resfriamento	0,97 a 0,99	1	
c. Controle de Explosão	0,84 a 0,98	1	
d. Parada de Emergência	0,96 a 0,99	0,98	Sensores que promovem paradas por excesso de rotação
e. Controle por Computador	0,93 a 0,99	0,93	Existe controle por computador e backup
f. Gás Inerte	0,94 a 0,96	1	
g. Instruções/Procedimento de Emergências	0,91 a 0,99	0,98	existe procedimentos mas não há revisão
h. Avaliação dos Produtos Químicos Reativos	0,91 a 0,98	0,98	Revisão ocasionalment e
i. Avaliação de Outros perigos do Processo	0,91 a 0,98	0,97	FMEA- APR
<b>Valor de C1 (Produto de todos os fatores utilizados)</b>		<b>0.85</b>	

<b>Fator de Crédito de Isolamento do Material (C2)</b>	<b>Intervalo do Fator de Crédito</b>	<b>Fator de Crédito Utilizado</b>	<b>Critério</b>
a. Válvula Controlada Remotamente	0,96 a 0,98	1	
b. Alívio/Purga	0,96 a 0,98	1	
c. Drenagem	0,91 a 0,97	1	

d. Intertravamento	0,98	1	
<b>Valor de C2 (Produto de todos os fatores utilizados)</b>		<b>1</b>	

<b>Fator de Crédito da Proteção Contra Incêndio (C3)</b>	<b>Intervalo do Fator de Crédito</b>	<b>Fator de Crédito Utilizado</b>	<b>Critério</b>
a. Detecção de Vazamento	0,94 a 0,98	1	
b. Aço Estrutural	0,95 a 0,98	1	
c. Abastecimento de Água para Incêndio	0,94 a 0,97	0,97	
d. Sistemas Especiais	0,91	1	
e. Sistema de Aspersão de Água	0,74 a 0,97	1	
f. Cortina de Água	0,97 a 0,98	1	
g. Espuma	0,92 a 0,97	1	
h. Extintores/Monitores Portáteis	0,93 a 0,98	0,98	Extintores Manuais
i. Proteção de Cabos	0,94 a 0,98	1	
<b>Valor de C3 (Produto de todos os fatores utilizados)</b>		<b>0.9506</b>	

## APÊNDICE C – FORMULÁRIO FMEA

Análise de Modos de Falha e seus Efeitos								
Equipamento	Elevador de Canecas	Unidade	IPO	Res p:	Geyse Maia da Silva			
Função	Mover material a granel de uma determinada altura 'X' a uma velocidade 'Y' dentro de uma faixa de temperatura de operação padrão 'Z', mantendo o material dentro de seus limites estruturais.	Área	40A - Recepção de Trigo	Data:	28/09/2018	Versão:	v0	
		Classe de Equipamento		Observação				
Falha Funcional	Modo de Falha	Efeito Local	Efeito Final	Causa	Sev.	Ocor.	Det.	NPR
Não transporta o material	Correia de sustentação da caneca rompida	Possível acúmulo de material	Impacto no processo, falha na alimentação do material	Desgaste - Desgaste normal da correia	2	1	2	4
Não transporta o material	Correia de sustentação da caneca rompida	Possível acúmulo de material	Impacto no processo, falha na alimentação do material	Induzida – Material estranho na vazão de alimentação	2	1	1	2
Não transporta o material	Correia de sustentação da caneca rompida	Possível acúmulo de material	Impacto no processo, falha na alimentação do material	Induzida - Desbalanceamento da correia	2	1	2	4
Não transporta o material	Correia de sustentação da caneca rompida	Possível acúmulo de material	Impacto no processo, falha na alimentação do material	Instalação Incorreta	2	1	1	2
Não transporta o material	Rolamentos dos mancais direito e esquerdo emperrados	Possível acúmulo de material	Impacto no processo, falha na alimentação do material	Induzida - Lubrificação incorreta	1	2	1	2
Não transporta o material	Rolamentos dos mancais direito e esquerdo emperrados	Possível acúmulo de material	Impacto no processo, falha na alimentação do material	Induzida - Instalação incorreta	1	2	2	4
Não transporta o material	Rolamentos dos mancais direito e esquerdo emperrados	Possível acúmulo de material	Impacto no processo, falha na alimentação do material	Desgaste - Desgaste normal	1	2	2	4

Não transporta o material	Redutor, eixo travado	Sem rotação no eixo	Impacto no processo	Induzida – Alinhamento inadequado do eixo	2	2	3	12
Não transporta o material	Redutor, eixo travado	Sem rotação no eixo	Impacto no processo	Induzida – Lubrificação inadequada	2	2	2	8
Não transporta o material	Redutor, eixo travado	Sem rotação no eixo	Impacto no processo	Desgaste – Desgaste normal	2	1	2	4
Não transporta o material	Redutor, vedação do óleo, vazamento	Sinais de óleo no redutor ou perto dele	Impacto no processo	Induzida – Contaminantes no óleo	1	1	2	2
Não transporta o material	Redutor, vedação do óleo, vazamento	Sinais de óleo no redutor ou perto dele	Impacto no processo	Desgaste – Desgaste normal	2	1	2	4
Não transporta o material	Redutor, vedação do óleo, vazamento	Sinais de óleo no redutor ou perto dele	Impacto no processo	Induzida - Falha na montagem	2	2	1	4
Não transporta o material	Redutor, rachadura na carcaça	Sinais de óleo no redutor ou perto dele	Impacto no processo	Induzida – Impacto externo ou sobrecarga	1	1	1	1
Não transporta o material	Redutor dreno, bujão de nível ou parafusos da tampa frouxos ou faltando	Sinais de óleo no redutor ou perto dele	Impacto no processo	Induzida – Encaixe incorreto dos bujões ou parafusos	1	2	1	2
Não transporta o material	Redutor, vedação da tampa desgastada, danificada ou faltando	Sinais de óleo no redutor ou perto dele	Impacto no processo	Induzida – Montagem incorreto dos reparos	1	2	1	2
Não transporta o material	Redutor, vedação da tampa desgastada, danificada ou faltando	Sinais de óleo no redutor ou perto dele	Impacto no processo	Desgaste – Desgaste ou deterioração normal	1	1	2	2
Não transporta o material	Redutor, carga ultrapassa os limites do desenho	Temperatura do redutor ultrapassa os parâmetros de desenho	Impacto no processo	Induzida – Sobrecarga do redutor	2	2	1	4
Não transporta o	Redutor, rolamentos	Temperatura do redutor ultrapassa	Impacto no processo/fonte de ignição	Induzida – Rolamentos incorretos ou	3	2	2	12

material	desgastados ou danificados	os parâmetros de desenho		montados incorretamente				
Não transporta o material	Redutor, rolamentos desgastados ou danificados	Temperatura do redutor ultrapassa os parâmetros de desenho	Impacto no processo	Desgaste – desgaste normal do rolamento	2	1	2	4
Não transporta o material	Redutor, engrenamento incorreto das engrenagens	Temperatura do redutor ultrapassa os parâmetros de desenho	Impacto no processo/fonte de ignição	Induzida – Montagem incorreta	3	2	2	12
Não transporta o material	Redutor, engrenamento incorreto das engrenagens	Temperatura do redutor ultrapassa os parâmetros de desenho	Impacto no processo	Desgaste – Desgaste normal do conjunto de engrenagens	2	1	2	4
Não transporta o material	Redutor, dentes da engrenagem, danificados ou quebrados	Vibração ou barulho excessivo	Impacto no processo/fonte de ignição	Induzida – Impacto pela sobrecarga	3	3	2	18
Não transporta o material	Redutor, falha elétrica de um componente	Nenhum	Impacto no processo	Intermitente – Falha de contato	2	2	1	4
Não transporta o material	Redutor, falha elétrica de um componente	Nenhum	Impacto no processo	Intermitente – Fiação ou conexão defeituosa	2	1	1	2
Não transporta o material	Redutor, falha elétrica de um componente	Nenhum	Impacto no processo	Intermitente – falha do monitor de potência	2	1	1	2
Não transporta o material	Redutor, instrumento fora da calibração	Nenhum	Impacto no processo	Induzida – Calibração incorreta do instrumento	1	1	3	3
Não transporta o material	Motor, Falha elétrica	Sem rotação no eixo	Impacto no Processo	Intermitente – Conexões ou fiação frouxa, ou falha em qualquer outro componente elétrico	2	2	1	4

Não transporta o material	Motor, Falha elétrica	Sem rotação no eixo	Impacto no Processo	Intermitente – Barra do rotor defeituosa, aterramento interno e/ou degradação do isolamento	2	1	1	2
Não transporta o material	Motor, rolamento em falha	Sem rotação no eixo	Impacto no Processo	Induzida – Lubrificação incorreta	2	1	1	2
Não transporta o material	Motor, rolamento em falha	Sem rotação no eixo	Impacto no Processo	Induzida – Instalação incorreta	2	1	2	4
Não transporta o material	Motor, rolamento em falha	Sem rotação no eixo	Impacto no Processo	Desgaste – Desgaste normal	2	1	2	4
Não transporta o material	Motor, rolamento em falha	Sem rotação no eixo	Impacto no Processo	Induzida – Alinhamento incorreto do eixo	2	2	1	4
Não transporta o material	Motor, armadura / Rotor Bloqueado	Sem rotação no eixo	Impacto no processo	Induzida – Alinhamento incorreto do eixo	2	1	2	4
Não transporta o material	Motor, armadura / Rotor Bloqueado	Sem rotação no eixo	Impacto no processo	Desgaste – Desgaste normal	2	1	2	4
Não transporta o material	Motor, armadura / Rotor Bloqueado	Sem rotação no eixo	Impacto no processo	Induzida – Falha do rolamento	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor, rolamento falha	Fornecer força rotacional menor que “X”	Impacto no processo	Induzida – Lubrificação incorreta	2	2	3	12
Não transporta o material	Motor, rolamento falha	Fornecer força rotacional menor que “X”	Impacto no processo	Induzida – Instalação incorreta	2	1	1	2
Não transporta o material	Motor, rolamento falha	Fornecer força rotacional menor que “X”	Impacto no processo	Induzida – Alinhamento incorreto do eixo	2	2	1	4

Não transporta o material	Motor, rolamento falha	Fornece força rotacional menor que "X"	Impacto no processo	Desgaste – Desgaste normal	2	2	1	4
Não transporta o material	Motor, Falta de fase	Fornece força rotacional menor que "X"	Impacto no processo	Intermitente – Fiação defeituosa e/ou degradação do isolamento	2	1	2	4
Não transporta o material	Motor, Falta de fase	Fornece força rotacional menor que "X"	Impacto no processo	Desgaste - Carbonização dos contatos do contator	2	1	2	4
Não transporta o material	Motor, Rotação invertida	Motor gira para trás	Impacto no processo	Induzida – Instalação incorreta	1	1	3	3
Não transporta o material	Motor, rolamento desgastados	Eixo gira devagar	Impacto no processo	Induzida – Lubrificação incorreta	1	2	1	2
Não transporta o material	Motor, rolamento desgastados	Eixo gira devagar	Impacto no processo	Induzida – Instalação incorreta	1	1	3	3
Não transporta o material	Motor, rolamento desgastados	Eixo gira devagar	Impacto no processo	Induzida – Alinhamento incorreto do eixo	1	1	3	3
Não transporta o material	Motor, rolamento desgastados	Eixo gira devagar	Impacto no processo	Desgaste – Desgaste normal	1	1	2	2
Não transporta o material	Motor, armadura e estator comprometido	Eixo gira devagar	Impacto no processo	Induzida – Sobrecarga no motor e/ou superaquecimento devido a atrito mecânico	3	2	1	6
Não transporta o material	Motor, rolamentos desgastados	Velocidade variando sem controle	Impacto no processo	Induzida – Lubrificação incorreta	1	1	3	3

Não transporta o material	Motor, rolamentos desgastados	Velocidade variando sem controle	Impacto no processo	Induzida – Instalação incorreta	1	1	3	3
Não transporta o material	Motor, rolamentos desgastados	Velocidade variando sem controle	Impacto no processo	Induzida – Alinhamento incorreto do eixo	1	2	3	6
Não transporta o material	Motor, rolamentos desgastados	Velocidade variando sem controle	Impacto no processo	Desgaste – Desgaste normal	1	1	2	2
Não transporta o material	Motor armadura, estator comprometido	Velocidade variando sem controle	Impacto no processo	Induzida – Sobrecarga no motor e/ou superaquecimento devido a atrito mecânico	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor, rolamento desgastado	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Induzida – Lubrificação incorreta	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor, rolamento desgastado	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Induzida – Instalação incorreta	1	1	3	3
Não transporta o material	Motor, rolamento desgastado	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Induzida – Alinhamento incorreto do eixo	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor, rolamento desgastado	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Desgaste – Desgaste normal	3	1	2	6
Não transporta o material	Motor, armadura, estator comprometido	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Induzida – Sobrecarga no motor e/ou superaquecimento devido a atrito mecânico	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor estator, falha de isolamento	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Intermitente – Isolamento defeituoso ou degradado	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor estator, corrente de fuga	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Intermitente – Isolamento do motor defeituoso ou degradado	3	2	2	12
Não transporta o material	Motor ventoinha, ventilação insuficiente	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Induzida – Falha de desenho ou mudança na condição	3	2	2	12

Não transporta o material	Motor ventoinha, ventilação insuficiente	Temperatura do motor supera a especificada	Impacto no processo	Induzida – Acúmulo de poeira e sujeira	3	2	3	18
Não transporta o material	Motor estrutura, parafusos soltos	Motor se move sobre o suporte	Impacto no processo ou dano mecânico	Desgaste – Falha devida a ciclo de vibração e calor	2	1	2	4
Não transporta o material	Motor estrutura, parafusos soltos	Motor se move sobre o suporte	Impacto no processo ou dano mecânico	Induzida – Instalação incorreta	2	1	1	2
Não transporta o material	Motor estrutura, base comprometida	Motor se move sobre o suporte	Impacto no processo ou dano mecânico	Induzida – Dano mecânico devido a impacto	3	1	1	3
Não transporta o material	Motor estrutura, base comprometida	Motor se move sobre o suporte	Impacto no processo ou dano mecânico	Desgaste – Desgaste normal devido a fadiga do metal	3	1	1	3
Não transporta o material	Motor estrutura, calços ausentes ou soltos	Motor se move sobre o suporte	Impacto no processo ou dano mecânico	Induzida – Instalação incorreta	2	1	3	6
Não transporta o material	Motor estrutura, calços ausentes ou soltos	Motor se move sobre o suporte	Impacto no processo ou dano mecânico	Desgaste – Desgaste normal devido a vibração	2	1	2	4
Não transporta o material	Motor estrutura, concreto quebrado	Motor se move sobre o suporte	Impacto no processo ou dano mecânico	Desgaste – Desgaste normal devido a vibração	2	1	2	4
Não transporta o material	Alimentação do elevador	Acúmulo excessivo de material na moega de alimentação, ruído operacional anormal	Impacto no processo, falha na alimentação do material	Vazão de alimentação excessiva na moega de alimentação da Esteira	3	2	1	6
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Velocidade abaixo do nominal do elevador	Acúmulo excessivo de material na moega de alimentação, frequência reduzida de ruído operacional normal	Impacto no processo, vazão de alimentação do material lenta	Ajuste incorreto da velocidade do motor	1	2	2	4

Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Velocidade abaixo do nominal do elevador	Acúmulo excessivo de material na moega de alimentação, frequência reduzida de ruído operacional normal	Impacto no processo, vazão de alimentação do material lenta	Canecas ou correia em atrito com o eixo	1	2	2	4
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Rolamentos muito desgastados ou danificados	Acúmulo excessivo de material na moega de alimentação, ruído operacional anormal	Impacto no processo, vazão de alimentação do material abaixo do nominal	Induzida - Lubrificação inadequada	3	2	1	6
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Rolamentos muito desgastados ou danificados	Acúmulo excessivo de material na moega de alimentação, ruído operacional anormal	Impacto no processo, vazão de alimentação do material abaixo do nominal	Induzida - Instalação incorreta	1	1	1	1
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Rolamentos muito desgastados ou danificados	Acúmulo excessivo de material na moega de alimentação, ruído operacional anormal	Impacto no processo, vazão de alimentação do material abaixo do nominal	Desgaste - Desgaste normal	3	1	1	3
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Canecas quebradas ou soltas	Acúmulo excessivo de material na moega de alimentação, ruído operacional anormal	Impacto no processo, vazão de alimentação do material abaixo do nominal	Canecas ou suportes desgastados ou fatigados	1	2	2	4
Não transporta o material a uma determinada vazão de	Canecas quebradas ou soltas	Acúmulo excessivo de material na moega de alimentação, ruído	Impacto no processo, vazão de alimentação do material abaixo do nominal	Material estranho na esteira	1	2	2	4

'Y'		operacional anormal							
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Superaquecimento dos rolamentos Direito ou Esquerdo	Rolamentos aquecendo e/ou emitindo ruído incomum	Risco de Explosão	Induzida - Lubrificação inadequada	3	2	3	18	
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Superaquecimento dos rolamentos Direito ou Esquerdo	Rolamentos aquecendo e/ou emitindo ruído incomum	Risco de Explosão	Induzida - Instalação incorreta	3	2	3	18	
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Superaquecimento dos rolamentos Direito ou Esquerdo	Rolamentos aquecendo e/ou emitindo ruído incomum	Risco de Explosão	Desgaste - Desgaste normal	3	1	3	9	
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Eixo de contenção ou painel da moega quebrados ou soltos	Material espalhado fora do eixo de contenção	Sem efeito imediato	Desgaste - Desgaste normal	1	1	2	2	
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Eixo de contenção ou painel da moega quebrados ou soltos	Material espalhado fora do eixo de contenção	Sem efeito imediato	Induzida - Dano por impacto externo	1	1	3	3	
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Eixo de contenção ou painel da moega quebrados ou soltos	Material espalhado fora do eixo de contenção	Sem efeito imediato	Induzida – Dano grave causado pelo clima	1	2	2	4	
Temperatura acima da temperatura normal de processo	Desalinhamento do tambor/cinta	Aquecimento e fricção na estrutura	Risco de Explosão	Induzida - Desalinhamento da Cinta	3	2	2	12	
Não transporta o material	Redutor, rolamentos desgastados ou danificados	Temperatura do redutor ultrapassados	Impacto no processo/fonte de ignição	Induzida – Rolamentos incorretos ou montados incorretamente	3	2	2	12	

		parâmetros de desenho						
Não transporta o material	Redutor, engrenamento incorreto das engrenagens	Temperatura do redutor ultrapassa os parâmetros de desenho	Impacto no processo/fonte de ignição	Induzida – Montagem incorreta	3	2	2	12
Não transporta o material a uma determinada vazão de 'Y'	Superaquecimento dos rolamentos Direito ou Esquerdo	Rolamentos aquecendo e/ou emitindo ruído incomum	Risco de Explosão	Induzida - Instalação incorreta	3	1	2	9